МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ МЕТРОЛОГИИ

ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2014

Материалы
7-й Международной научно-технической конференции

19–21 ноября 2014 года
Минск, Республика Беларусь

Минск
БНТУ
2014

УДК 681.2(063)
ББК 34.9я431
П75

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор О.К. Гусев (председатель);
д-р экон. наук, профессор Ю.И. Енин; д-р техн. наук, доцент Н.А. Жагора;
д-р физ.-мат. наук, профессор И.Е. Зуйков; д-р техн. наук, профессор М.Г. Киселёв;
д-р физ.-мат. наук, доцент М.А. Князев; д-р физ.-мат. наук, профессор Н.В. Кулешов;
д-р физ.-мат. наук, профессор А.М. Маляревич; д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Машко;
чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор Ю.М. Плескачевский;
д-р техн. наук, доцент П.С. Серенков; д-р техн. наук, профессор В.Л. Соломахо;
чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор С.А. Чижик; д-р физ.-мат. наук,
профессор К.В. Юмашев; канд. техн. наук, доцент Р.И. Воробей (отв. секретарь)

Рецензенты:

чл.-кор. НАН Беларуси, д-р техн. наук, проф. А.В. Белый;
д-р тех. наук, проф. Л.М. Лыньков

Издание включает материалы 7-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2014» по направлениям: измерительные системы и приборы, технические средства безопасности; методы исследований и метрологическое обеспечение измерений; физические, физико-математические, материаловедческие и технологические основы приборостроения; управление производством и подготовка специалистов для приборостроительной отрасли.

Материалы конференции могут представлять интерес для научных работников, преподавателей вузов, аспирантов и магистрантов, специалистов реального сектора экономики, занимающихся исследованиями, разработкой и производством приборов и измерительных систем.

ISBN 978-985-550-647-9

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ 7-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2014»

Уважаемые участники конференции!

В этом году Белорусский национальный технический университет вновь принимает Международную научно-техническую конференцию «Приборостроение». Приборостроение, как одна из самых наукоёмких отраслей, характеризуется исключительно мощным инновационным вектором развития, непрерывным научным поиском, постоянным появлением и внедрением новых идей. Каждый год для их апробации, представления своих достижений, обмена мнениями в стенах БНТУ собираются ведущие специалисты, исследователи, учёные, инженеры, аспиранты из различных организаций и стран. Уже с первых лет своего существования МНТК «Приборостроение» завоевала высокий авторитет не только на национальном, но и на международном уровне. В этот раз в конференции участвуют представители Беларуси, Великобритании, Германии, Ирана, Испании, Китая, Польши, России, Украины. Как организаторы конференции, мы с удовольствием констатируем рост количества участников извне БНТУ – других научных центров страны и из-за рубежа. Это является наглядным подтверждением, что БНТУ был и остаётся ведущим высшим научно-техническим учебным заведением в области инженерной подготовки, и в частности, приборостроении. Кроме того, расширение географии участников (в этом году мы впервые услышим о результатах совместных работ с исследователями из Испании) позволяет утверждать, что на конференциях «Приборостроение» отечественными и иностранными участниками делаются актуальные, интересные, качественные доклады, что и привлекает сюда всех Вас из десятков научных центров разных стран.

МНТК «Приборостроение» проводится в 7-й раз. За эти годы она стала традиционной и приобрела системный характер, органично вписалась в структуру многоуровневой подготовки научных кадров высшей квалификации БНТУ – от студента, через магистратуру, аспирантуру и докторантуру, до профессора. Стабильность развития МНТК «Приборостроение» опирается, на наш взгляд, не только на то, что международная научная общественность поддержала БНТУ и активно участвует в этой конференции, но и на то, что и многие авторские коллективы имеют в своём составе аспирантов, магистрантов, молодых учёных. Для многих из них вход в большую науку состоялся во время ежегодных Международных студенческих научно-технических конференций «Новые направления развития приборостроения», проводимых на базе приборостроительного факультета БНТУ. Пройдя эту школу, они логично продолжают представлять свои научные результаты в рамках конференции «Приборостроение», повышая свой уровень и в целом научный потенциал своих организаций.

Молодёжь – наше будущее, и эффективная система по воспроизводству научно-технических кадров является необходимым условием для успешного развития общества. С этой точки зрения сегодня считаю необходимым поблагодарить Международный Алфёровский фонд поддержки образования и науки за вклад в подготовку научных кадров высшей квалификации. Фонд ежегодно награждает дипломами нескольких молодых учёных – участников МНТК «Приборостроение» за лучшие доклады, представленные на заседаниях её секций, и тем самым заметно повышает престиж конференции. Со своей стороны БНТУ предоставляет возможность публиковать результаты молодых учёных, прошедшие апробацию на международных конференциях приборостроительного профиля, в научно-техническом журнале «Приборы и методы измерений», включенном в перечень ВАК Беларуси для публикации результатов диссертационных исследований. На приборостроительном факультете действуют два докторских совета по защите диссертаций, что позволяет осуществлять весь цикл подготовки научных кадров приборостроительного профиля до самого высокого уровня.

Наше сотрудничество в рамках данной конференции и в повседневной жизни способствует развитию одной из самых наукоёмких областей промышленности – приборостроению, содействует расширению научных связей БНТУ с другими научными центрами, нашему взаимному обогащению и процветанию.

От имени всего 40-тысячного коллектива сотрудников, преподавателей, студентов, магистрантов и аспирантов Белорусского национального технического университета хочу выразить свою уверенность в том, что нынешняя конференция пройдёт в атмосфере плодотворного и творческого сотрудничества, послужит дальнейшему развитию научных связей, даст толчок рождению новых идей и проектов.

Поздравляю всех участников Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2014» с её открытием, желаю успешной работы и новых свершений на благо науки, технического прогресса и общественного благосостояния!

Ректор Белорусского национального технического университета,
академик НАН Беларуси
Борис Михайлович Хрусталёв

ПРИВЕТСТВИЕ
УЧАСТНИКАМ 7-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2014»

Уважаемые коллеги, участники, гости!

Конференция «Приборостроение» проводится в седьмой раз и с каждым годом приобретает все большую уверенность, значимость и масштабность.

Для метрологической службы Беларуси 2014 год – юбилейный. В феврале мы отметили ее 90-летие.

Метрология в стране развивается в соответствии с интересами повышения конкурентоспособности национальной экономики, расширением ее экспортного потенциала, необходимостью участия в интеграционных процессах на региональном и международном уровнях.

Повышение точности и достоверности измерений является одной из важнейших государственных задач, и оно тесно связано с развитием приборостроения.

Сегодня в рамках Таможенного союза идет формирование единой системы технического регулирования, направленной на создание условий для безбарьерной торговли, развития экспортных возможностей промышленности.

В рамках Таможенного союза и Единого экономического пространства принимается ряд документов, направленных на совершенствование метрологии и приборостроения в нашей стране. Так, Договором о ЕАЭС предусматривается проведение согласованной политики в области обеспечения единства измерений посредством гармонизации законодательств государств-членов и проведение согласованных действий в данной сфере. В частности, обеспечение сопоставимости результатов измерений, в том числе в сфере оценки соответствия, а также измерений количественных показателей продукции.

Сегодня совершенствование метрологической базы республики тесно связано с развитием таких приоритетных направлений экономики, как инновационная деятельность, наукоемкие и высокотехнологичные производства, ресурсо- и энергосбережение, экологическая безопасность, повышение качества жизни.

В рамках очередного этапа Государственной научно-технической программы «Эталоны Беларуси» на 2011 – 2015 годы уже реализовано 10 проектов по созданию и модернизации эталонов, эталонных комплексов и установок, востребованных в области энергосбережения, экономии ресурсов, машиностроения, строительства, медицины, связи, охраны труда и здоровья

На сегодняшний день эталонная база республики включает 46 эталонов. Завершаются работы по созданию еще 7 эталонов, востребованных в микроэлектронике, приборостроении, точном машиностроении, информационных технологиях, телекоммуникации. Они пополнят эталонную базу республики в нынешнем и следующем годах.

Интенсивно ведется работа по формированию программы «Эталоны Беларуси» на период 2016 – 2020 гг. К разработке предлагается 26 проектов по созданию эталонов, эталонных комплексов и установок, а также их модернизации. Формирование новой программы ведется с учетом решения задач инновационного развития страны, приоритетов научно-технической деятельности.

Выполнение программы «Эталоны Беларуси» оправдывает себя и позволяет развивать не только национальную метрологию, но и поддерживать создание инновационных технологий в различных отраслях промышленности, и в первую очередь в приборостроении.

При выборе приоритетов и очередности задач по созданию и внедрению эталонов учитываются структура промышленного производства республики, наличие материальных ресурсов и кадров, направления исследований, проводимых в научных учреждениях и вузах, а также происходящие интеграционные процессы.

Сегодня можно с уверенностью отметить, что конференция «Приборостроение» утвердилась в статусе международного научного форума, объединяющего научно-техническую общественность в данной успешно развивающейся в республике отрасли. И это свидетельствует о духе корпоративной солидарности среди широких кругов метрологов и приборостроителей.

Желаю всем участникам и гостям успешной работы, и уверен, что в рамках конструктивного диалога и обмена полезным опытом, появятся совместные инновационные инициативы и проекты.

От души приветствуем наших коллег из разных стран, которые принимают участие в конференции!

Председатель Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь
Виктор Владимирович Назаренко

УДК 620.179.14

РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНИКИ БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ. 20 ЛЕТ В СИСТЕМЕ АККРЕДИТАЦИИ

Жагора Н.А., Коломиец Т.А., Найдёнова В.И.
Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Беларусь

Научно-исследовательский центр испытаний средств измерений и техники БелГИМ создан на базе отдела испытаний в начале 1990-х годов. В сентябре 1994 года Центр был аккредитован в системе аккредитации Республики Беларусь Госстандартом Республики Беларусь и проводил испытания средств измерений и бытовой техники.

В этом году 25 сентября Центр отмечает 20-тилетие своей аккредитации.

В течение 20 лет Центр активно осваивал новые методы испытаний, установленные в международных стандартах, развивал испытательную базу для обеспечения потребностей страны.

С 2000 года в Центре создана лаборатория по испытаниям на сетевые помехи, электростатические разряды и по настоящее время продолжается освоение современных методов испытаний и развитие испытательной базы по ЭМС.

НИЦИСИиТ первым в Республике Беларусь был аккредитован по испытаниям на электромагнитную совместимость в соответствии с требованиями международных стандартов.

В 2004 году создана лаборатория по контролю фасованных товаров и введены в действие около 30 методик выполнения измерений, прошедших валидацию и метрологическое подтверждение пригодности.

В связи с развитием испытательной деятельности БелГИМ с 2008 года изменилась структура Центра и выделена в отдельный сектор деятельность по испытаниям медицинской техники и сертификационных испытаний. С этого же года освоены методы испытаний игрушек и упаковки. С 2009 года освоены методы контроля качества в строительстве.

В настоящее время основными видами деятельности Центра являются государственные испытания средств измерений для утверждения типа и внесения в Государственный Реестр средств измерений Республики Беларусь, и периодическое подтверждение их соответствия требованиям законодательства Республики Беларусь. Также Центр является одним из ведущих центров страны для испытаний изделий медицинской техники для целей государственной регистрации и последующего периодического контроля за выпускаемыми изделиями.

Важную роль Центр занимает в системе подтверждения (оценки) соответствия продукции требованиям технических регламентов Таможенного союза. С 2012 года Центр аккредитован по методам испытаний, обеспечивающим выполнения требований технических регламентов Таможенного союза: Электромагнитная совместимость технических средств (ТР ТС 020/2011), О безопасности машин и оборудования (ТР ТС 010/2011), О безопасности игрушек (ТР ТС 008/2011), О безопасности упаковки (ТР ТС 005/2011), О безопасности низковольтного оборудования (ТР ТС 004/2011).

Центр соответствует требованиям Положения о порядке включения органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) в Единый реестр органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) таможенного союза, а также его формирования и ведения, утвержденного Решением Комиссии таможенного союза от 18.06.2010 г. № 319, и включен в национальную часть Единого Реестра органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров) Таможенного союза, осуществляющих оценку соответствия продукции требованиям технических регламентов Таможенного союза.

Ежегодно Центр проводит более 5000 испытаний продукции по области аккредитации. На рисунке 1 приведена информация по количеству работ по видам испытаний за последние 10 лет.

Кроме проведения испытаний Центр активно участвует в поисковых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по проблемам обеспечения единства измерений и испытаниям средств измерений по заказам Госстандарта, республиканским научно-техническим программам и проектам. Информация об участии Центра в Государственных научно-технических программах за последние 10 лет приведена в таблице 1.

Таблица 1 – участие в ГНТП

Год	Кол-во ГНТП	Кол-во изделий
2005	5	21
2006	6	15
2007	5	5
2008	10	11
2009	8	14
2010	10	14
2011	8	12
2012	10	18
2013	10	25
Iп/г 2014	8	7

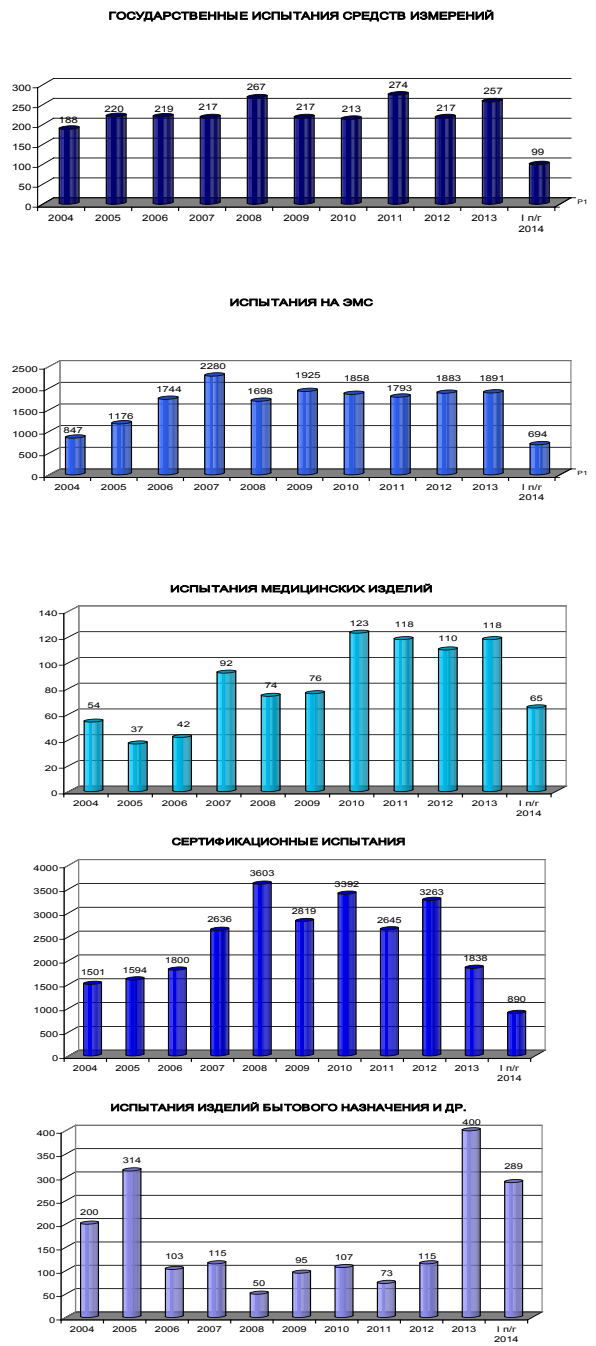


Рисунок 1 — количество испытаний за период с 2004 по 2014 гг

Особое внимание Центр уделяет развитию технической оснащенности для проведения испытаний импортируемой продукции с целью защиты белорусского рынка от недоброкачественной продукции.

Развитие технической базы Центра для целей расширения испытательных и измерительных возможностей и созданию рабочих мест за период аккредитации осуществлялось планомерно с учетом потребностей экономики страны.

Уникальным в развитии Центра за 20 лет аккредитации является создание лаборатории по ЭМС, по испытаниям игрушек, по контролю качества фасованных товаров.

Последними достижениями в развитии лаборатории по ЭМС является создание камеры экранированная полубезэховая SAC-3PLUS и приобретение испытательного комплекса (системы) на базе генератора TRA3000 фирмы «EMC Partner», Швейцария, позволяющего расширить возможности в части испытаний по помехоустойчивости изделий по переменному току до 32 А и создает возможности испытаний изделий с питанием от сети постоянного тока. В составе комплекса были приобретены расширения: #PHV 661-L Пассивный высоковольтный пробник, 6кВ в импульсе, 380 МГц, #VERI1K EFT Нагрузочный элемент 1 кОм с высоковольтным коннектором BNC и делителем для верификации EFT; #VERI50 EFT Нагрузочный элемент 50 Ом с высоковольтным коннектором BNC и делителем для верификации EFT.

Лаборатория по испытаниям игрушек является уникальной лабораторией Республики Беларусь, испытательные возможности которой позволяют провести испытания на соответствие техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 008/2011, международным стандартам и имеет лицензию МЧС РБ на право осуществления испытаний на пожарную опасность и огнестойкость.

Лаборатория по контролю качества фасованных товаров оснащена оборудованием, позволяющим проводить испытания для целей контроля и государственного надзора за качеством фасованных товаров.

В Центре внедрена система менеджмента, соответствующая единому международному стандарту, устанавливающему требования к компетентности лабораторий — ISO/IEC 17025. Согласно требованиям этого международного стандарта Центр является лабораторией третьей стороны и посредством внедрения системы менеджмента подтверждает беспристрастность и независимость деятельности по испытаниям.

Центр дважды награждался за высокий уровень компетентности по результатам Конкурса «Компетентность — 2012» и «Компетентность — 2013» в номинации «Наилучшая лабораторная практика в области радиоэлектроники, связи, низковольтного оборудования, информационных технологий».

УДК 681.2

ЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В НАНОДИАГНОСТИКЕ

Чижик С.А.
Президиум НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Разработки в области нанотехнологий в значительной степени обеспечиваются широким внедрением в практику методов нанодиагностики, в первую очередь основанных на методе сканирующей зондовой микроскопии (далее - СЗМ), которую называют «глазами и руками нанотехнологий».

Сканирующая зондовая микроскопия объединяет достаточно большой класс методов исследования поверхности и отдельных нанообъектов с помощью сканирующего механического острия (зонда). Эффективно дополняя современные подходы тонкого анализа материалов, СЗМ открывает возможности визуализацию рельефа, материаловедческих структур, а также оценивать физико-механические свойства материалов с высокой степенью локализации измерений, вплоть до нескольких нанометров. Практически каждая материаловедческая лаборатория в настоящее время оснащена многомодовыми сканирующими зондовыми микроскопами. Такая востребуемость СЗМ метода обусловлена следующими факторами:

высоким, вплоть до атомарного, пространственным разрешением поверхности;

комплексностью и доступностью интерпретации получаемой информации;

возможностями использования микрозонда СЗМ в качестве инструмента создания нанообъектов и манипуляции ими;

удобством компьютерной визуализации и широкими возможностями компьютерного анализа результатов.

Максимальный эффект от использования СЗМ обеспечивается при сочетании подходов формирования мультиизображений (топография и изображения контрастов и силовой спектроскопии.

Наряду с первичными для СЗМ изображениями топографии практически все современные модели сканирующих зондовых микроскопов позволяют получить дополнительно изображения контрастов на том же исследуемом участке. В зависимости от используемого режима сканирования это различные информационные карты характеризующие поверхность. Например, изображение латеральных сил для контактного режима, изображение сдвига фазы для полуконтактного динамического режима, изображение магнитных сил в магнитно-силовом микроскопе и др. Разнообразие получаемых изображений контраста велико и, по-видимому, далеко не исчерпано. Изображения контраста дают информацию о неоднородности физико-механических свойств изучаемого объекта.

Оцифровка изображений, отражающих микромеханическую неоднородность поверхности возможна с помощью дополнительных измерений, которые позволяют выполнить количественные оценки для различных свойств. Традиционно, такими являются измерения зависимости силы взаимодействия острия зонда с поверхностью образца от расстояния между ними (статическая силовая микроскопия). Актуальным является развитие методик силовой спектроскопии для слоистых систем, что связано с анизотропией механических свойств приповерхностных слоев, а также с развитием тонкопленочных технологий. Важнейшим условием достоверности оценок является точная калибровка измерительной системы.

Более информативной является динамическая силовая спектроскопия, когда с поверхностью образца сближается осциллирующий зонд, и в качестве информативной зависимости регистрируются изменения динамических параметров зонда (амплитуда, частота, фаза) от расстояния между острием и поверхностью образца. Данные зависимости могут характеризовать упругие, вязкоупругие и адгезионные свойства материала.

В работе анализируется современный уровень развития экспериментальных методов, базирующихся на сканирующей зондовой микроскопии, в том числе достижения ученых Беларуси по разработке приборов и методик СЗМ. Обсуждаются также задачи механики, направленные на расширение возможностей приборной техники СЗМ и методов нанодиагностики на ее основе. В работе представляются традиционные функции сканирующих зондовых микроскопов (контактный, динамический режимы сканирования и силовая спектроскопия), а также оригинальные (нанотомография, наноизнашивание, наносверление и осциллирующая трибометрия). Продемонстрировано новое отечественное оборудование, созданное на базе метода СЗМ: метрологический СЗМ, измерительные комплексы для измерения элементов субмикроэлектроники и биологических клеток.

Несмотря на интенсивное развитие СЗМ, возможности метода еще далеко не исчерпаны. Во многих задачах наноматериаловедения метод СЗМ не имеет равноценных альтернатив, хотя его метрологическое обеспечение пока имеет ограничения, в особенности применительно к нанокомпозитам.

УДК 681.78

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СТАНЦИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Шкадаревич А.П.[1], Горбаченя Н.К.[1], Татур М.М.[2]
[1]*Унитарное предприятие «Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО», Минск, Республика Беларусь*
[2]*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники Минск, Республика Беларусь*

В структуре современной противовоздушной обороны (ПВО) основными и практически единственными источниками информации о воздушной обстановке являются радиолокационные станции (РЛС). Они первыми вступают в контакт с воздушным противником и в первую очередь подвергаются огневому поражению и радиоэлектронному подавлению. Многочисленные исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что обеспечить живучесть радиоэлектронных средств (РЭС), работающих по принципу активной локации, проблематично. Используя одиночные и групповые пуски противорадиолокационных ракет, противник полностью подавляет средства ПВО [1 - 3].

Низкоэффективной, а зачастую и невозможной является работа РЛС при использовании противником беспилотных летательных аппаратов, крылатых ракет, вертолётов огневой поддержки, самолётов армейской авиации применяемых на малых и предельно малых высотах.

В свете вышесказанного все возрастающая роль в противодействии современным маловысотным СВН и высокоточным средствам поражения отводится оптико-электронным станциям (ОЭС). Несмотря на зависимость от погодных условий, пассивные ОЭС неподвержены влиянию радиоэлектронных помех, позволяют обнаруживать летательные аппараты с малой эффективной отражающей поверхностью, обладают скрытностью от радиотехнической разведки противника и обладают высокой точностью определения дальностей и угловых координат целей. Кроме того, ОЭС могут комбинироваться с РЛС и лазерными системами наведения ракет «земля – воздух» и «земля – земля» с целью эффективного уничтожения СВН.

Примерами ОЭС, которые применяются как вспомогательное средство разведки на предельно малых высотах, а также для обеспечения обстрела целей в условиях радиоэлектронного подавления, являются изделия линейки «Телевизионный оптический визир» (ТОВ) производства Российской Федерации. ОЭС различных модификаций 9Ш33 (9Ш38, 9Ш311) используется в ЗРК С-75, С-125, «Оса», «Тор-М2Э», «Бук», рис.1. Основным недостатком таких систем является ограничение каналов видимым диапазоном волн. Такая телевизионная система обнаружения и сопровождения целей не позволяет обстреливать цели в темное время суток и в плохих метеоусловиях (туман, облака, дождь, снег, пыль, направление на Солнце и т.д.), а также в условиях применения противником радиопомех средней и большой интенсивности в сочетании с плохими метеоусловиями.

Рисунок 1-Телевизионный оптический визир (ТОВ)

В настоящее время Унитарное предприятие «Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО» разработало и производит линейку оптико-электронных станций «База» («База1», «База 2», «База 3») (рис. 2) для различных типов ЗРК, обеспечивающих работу в темное время суток, в плохих метеоусловиях (туман, облака, дождь, снег, пыль, направление на Солнце и т.д.), а также в условиях применения противником радиопомех средней и большой интенсивности в сочетании с плохими метеоусловиями.

В состав станций «База» входят телевизионные каналы с широким и узким полями зрения, тепловизионный канал и лазерный дальномер.

Станция «База» выполняет следующие функции:

- получение видеоинформации в реальном масштабе времени об СВН на различных фонах по трем оптическим каналам;
- измерение дальности до СВН;
- получение информации, поступающей от подсистем ЗРК;
- прием и обработку команд от оператора

с пульта управления;

- вычисление параметров движения СВН;
- формирование и вывод на экран монитора кадра, содержащего видеоинформацию, полученную с одного из каналов, и служебную информацию, отражающую состояние ЗРК и режима работы, заданные оператором;
- вычисление на основании полученной с каналов видеоинформации дальности до объекта и определение положения указанного объекта в зоне работы ЗРК.

В качестве аппаратной платформы в ОЭС «База» использован промышленный компьютер ARK-3420 под управлением операционной системы Windows XP Professional с установленными драйверами для внешнего оборудования.

Программное обеспечение (ПО) ОЭС «База» разработано с использованием языков C/C++ в среде разработки Microsoft Visual Studio 2008. Основой разработки стал набор базовых функций Windows API. ПО стартует автоматически при загрузке операционной системы.

Для осуществления работы с платами видеозахвата использована функциональная библиотека DVP7010B в формате dll.

Разработанные ОЭС освоены в серийном производстве и поставляются на экспорт для модернизации ЗРК ближнего и среднего радиусов действия (ЗРК «Стрела-10», «Печора», «Куб»).

Рисунок 2 – Оптико-электронная станция «База»

Основные технические характеристики ОЭС «База» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики ОЭС «База»

Наименование параметра	Значение параметра
Поля зрения каналов, град, не менее:	
- телевизионный канал широкого поля зрения (канал ТВ-Ш);	14,8 x 10,9
- телевизионный канал узкого поля зрения (канал ТВ-У);	1,2 x 0,9
- тепловизионный канал (канал ТПВ).	2,9 x 2,2
Рабочий спектральный диапазон каналов, мкм:	
- канал ТВ-Ш;	0,49 – 0,98
- канал ТВ-У;	0,6 – 1,0
- канал ТПВ	8 - 12
Разрешающая способность телевизионных каналов, ТВЛ, не менее:	
- канал ТВ-Ш;	480
- канал ТВ-У.	480
Разрешающая способность ТПВ канала- разность температур эквивалентная шуму, мК, не более.	50
Длина волны лазерного излучения, мкм.	1,064
Диапазон измерения дальности, м.	100..20000
Точность измерения дальности, м, не хуже.	3

1. Новый облик радиолокации ПВО // Борис Рябов / Воздушно-космическая оборона. №1. 2001 год.
2. Перунов Ю.М., Фомичёв К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под. ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.
3. .Шершнев, Н.А. Боевое применение зенитного ракетного вооружения и военной техники: учеб. пособие / Н.А. Шершнев; ВИРТА ПВО. – Харьков, 1989. – 134 с.

УДК 620.179.1+534.1

НОВЫЕ МЕТОДЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СО СЛОИСТОЙ И НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В.
ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Ответственные изделия машиностроительной, станкостроительной, авиационной промышленности, транспорта и др. с целью упрочнения их поверхности, а также защиты от воздействий внешней среды подвергаются различным видам обработки, включая химико-термическую обработку поверхности, нанесение защитных покрытий, вплавление в основу изделия упрочняющих конструктивных элементов. Такие изделия представляют собой объекты со слоистой и неоднородной структурой, неразрушающий контроль (НК) качества которых является актуальной научно-производственной задачей. Для этого в ИПФ НАН Беларуси разрабатываются методы и средства ультразвукового контроля, в основу которых положены новые принципы, конструкции первичных преобразователей и сервисных устройств, обеспечивающие высокую надежность и производительность НК. Можно выделить несколько основных направлений разработок Института в области ультразвукового НК: I – структуроскопия чугунов; II – определение глубины упрочненных поверхностных слоев (УПС) металлоизделий, выполненных закалкой ТВЧ, химико-термической обработкой (цементация, борирование и др.), лазерным упрочнением, наклепом, накаткой и др.; III – выявление дефектов сцепления материалов, обладающих малой отражающей способностью.

Первая и вторая группа задач решаются преимущественно на базе разработанного нами прибора типа ИЧ, модификации которого внедрены на предприятиях стран СНГ и Беларуси и работают на принципах наличия корреляции между скоростью ультразвуковых волн (объемных, поверхностных) и структурой металла в поверхностном слое или в объеме изделия. Так, например, наличие корреляции между скоростью объемных волн и содержанием шаровидного графита позволяет производить отбраковку высокопрочного чугуна от серого и чугуна с “промежуточной фазой“ в условиях литейного производства. При этом в программу обработки сигналов заложены принципы нивелирования влияния качества акустического контакта (зависящего от шероховатости поверхности, ее геометрии) на точность и надежность измерений. Одна из последних внедренных разработок направлена на выявление кромочного отбела чугунов, вызывающего поломку и износ инструмента, основана на измерении изменения скорости поверхностной волны при наличии цементита в зоне отбела. Чувствительность метода определяется рабочей частотой зондирующего сигнала и достигает ~0,1 мм.

Масштабная задача по определению глубины УПС стальных изделий, выполненных химико-термической, механической обработкой и др., решается на основе использования установленной зависимости между скоростью поверхностной (подповерхностной поперечной) волны и параметрами УПС – его глубиной и твердостью. В этом случае максимальное изменение скорости поверхностной волны при наличии УПС не превышает 2-3%. Поэтому для повышения точностных характеристик и надежности измерений глубины УПС в качестве приемников ультразвуковых колебаний мегагерцового диапазона используются специально разработанные малоапертурные преобразователи с площадью контакта ~0,1 мм^2. В основу работы измерительной системы заложен компенсационный метод, позволяющий устранить влияние нестабильности акустического контакта ультразвуковых преобразователей. В качестве дополнительного информативного параметра используется спектральная характеристика принимаемого сигнала, что позволяет исключить влияние обезуглероженного слоя и ряда случайных факторов, обусловленных контактными явлениями, на измерительный процесс. Как показали результаты испытаний и внедренческой работы, применение настоящей разработки позволяет определять глубину упрочненного закалкой ТВЧ и цементированием поверхностного слоя среднеуглеродистых сталей с погрешностью не хуже 0,10-015 мм в диапазоне измеряемых толщин слоя до 6 мм.

Разработанное оборудование для контроля УПС состоит из специализированного электронного блока и набора первичных электроакустических преобразователей (рис.1).

Рисунок 1 – Оборудование для контроля глубины УПС

Выбор преобразователей определяется геометрией поверхности изделия, на которой производятся измерения. Разработаны преобразователи для ультразвукового контроля объектов с плоской и цилиндрической, а также сложной поверхностью (галтельные переходы валов, зубчатые колеса и др.).

Методики и оборудование для высокоточного измерения скорости распространения различных мод упругих волн позволяют на основании данных корреляционных измерений контролировать такие параметры как глубина наклепа, накатки, степень микроповрежденности металла. В ряде случаев (например, прокатные валки) при глубине упрочненного слоя более 4-5 мм прозвучивание объекта производится поперечными волнами, что позволяет существенно снизить шумовой фон, создаваемый сопутствующими модами. Для оценки глубины УПС может быть применен упрощенный (но менее точный) метод по величине сдвига максимума амплитудно-угловой зависимости, а также метод, основанный на проявлении рефракции поперечной волны в неоднородном слое и определении изменения амплитуды сигнала на заданной акустической базе.

В основу создаваемых в Институте методов и средств контроля дефектов неразъемных соединений (направление III) положены выявленные закономерности формирования акустических полей, рассеянных неоднородной границей, а также полей поперечных подповерхностных волн, возбуждаемых под вторым критическим углом. В частности, впервые показана принципиальная возможность на порядок и более повысить чувствительность обнаружения дефектов сцепления материалов с помощью предложенного метода оптимизации фаз и апертур мнимых когерентных источников упругих волн (объемных, поверхностных, сдвиговых, пластинчатых), отраженных от неоднородной границы. При этом выбор пространственного расположения источника и приемника ультразвуковых колебаний производят таким образом, чтобы фазовый сдвиг между опорным и отраженным от дефектной поверхности лучом был максимальным. Именно с помощью этого метода представляется возможным определить эффективную площадь дефектов, сравнимых или меньших площади сечения падающего акустического луча. В отличие от известных разработок, созданные конструкции ультразвуковых преобразователей позволяют в несколько раз повысить производительность и надежность контроля качества сплавления наплавленного баббита толщиной до 0,3-0,5 мм с основным металлом не только стальных, но латунных и чугунных корпусов подшипников скольжения с внутренним диаметром до 4 см. При этом ввод-прием УЗК производится через локальную иммерсионную ванну и создается опорный сигнал, что в совокупности с другими конструктивными особенностями устройства позволяет существенно снизить шумовой фон, обеспечить стабильность измерительного тракта, а также автоматизировать процесс контроля. Подобная конструкция также внедрена для контроля сварки взрывом цилиндрических изделий. Развитие указанного выше подхода позволило разработать метод и средства ультразвукового контроля качества сварки газовых полиэтиленовых труб среднего давления, позволяющий впервые обнаруживать наиболее опасные дефекты типа "kissing bonds", образующиеся без взаимной диффузии материала даже при плотном контакте в процессе сварки.

Разработанный в Институте метод контроля поршней двигателей внутреннего сгорания реализован в целом ряде полуавтоматических установок, внедренных на моторостроительных предприятиях. В основу метода положен принцип зондирования границы сцепления нирезистовой вставки с телом поршня подповерхностной вертикально поляризованной поперечной волной. Это обеспечивает выявляемость дефектов при контроле на различных технологических этапах изготовления поршня.

Высокую эффективность использования подповерхностных поперечных волн подтверждают результаты внедренной на ОАО “ГродноАзот“ методики контроля основного металла фланцевого разъема трубчатого конвертора. При этом обеспечивалось выявление потенциально опасных вертикально ориентированных трещин в окрестности галтельного перехода и на расстоянии ~80 мм за ним, что позволяет производить постоянный мониторинг состояния объекта и существенно сократить временные и материальные затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Использование разработанных малоапертурных ПЭП с рабочей поверхностью типа "длинная полоса" позволяет решить ряд задач контроля двухслойных тонкостенных изделий путем их прозвучивания пластинчатой симметричной модой, имеющей наибольшую скорость распространения. При этом возможно определять толщину защитного покрытия (оловянно-свинцового припоя на латунном основании, меди на полимерной основе и др.) от нескольких мкм до десятков мкм с погрешностью ~10% и оценивать площадь расслоения материалов. Чувствительность же метода к изменению толщины покрытия достигает ~0,3 мкм. В основу предложенного метода толщинометрии защитных покрытий заложена предложенная аддитивная модель формирования упругих свойств двухслойного волновода.

Разработанные в ИПФ НАН Беларуси новые методы и средства ультразвукового контроля

объектов со слоистой и неоднородной структурой являются основой для решения широкого спектра задач в машиностроении, станкостроении, теплоэнергетике и др. отраслях промышленности Республики Беларусь и за рубежом.

УДК 537.58

ЗОНДОВЫЕ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Гусев О.К.[1], Жарин А.Л.[1], Петлицкий А.Н.[2], Пилипенко В.А.[2], Турцевич А.С.[2], Тявловский А.К.[1]

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь*

Развитие микроэлектроники связано с постоянным уменьшением размеров элементов интегральных схем, вследствие чего требования к дефектности исходных полупроводниковых пластин и методам контроля однородности распределения их параметров постоянно ужесточаются. Так, согласно *The International Technology Roadmap for Semiconductors* [1] при производстве ИМС технологического уровня «22/20 нм», требуемая чувствительность средств контроля и визуализации дефектов пластин достигает $5 \cdot 10^9$ атомов/см^2. Данные требования многократно превосходят возможности оптической микроскопии и близки к пределу для электронной микроскопии. Особой проблемой является задача исследования свойств границ раздела кремний-диэлектрик, не решаемая традиционными методами.

Зондовые зарядочувствительные методы основаны на регистрации электрического потенциала поверхности с помощью бесконтактного емкостного зонда (например, зонда Кельвина). Размеры зонда могут составлять от единиц сантиметров до долей нанометра [2] (в частности, возможна реализация режима зонда Кельвина в атомно-силовом микроскопе), вследствие чего для зондовых методов практически отсутствуют ограничения по пространственной разрешающей способности. Кроме того, они чувствительны к различным отклонениям электрофизических параметров полупроводниковых пластин, обеспечивают бесконтактные измерения и возможность выполнения контроля полупроводника под диэлектрическим покрытием (подзатворным диэлектриком). Это обеспечивает интерес к ним с точки зрения контроля полупроводниковых пластин.

Поверхностный электростатический потенциал является универсальным параметром, содержащим информацию о химических, структурных, механических, электронных свойствах поверхностей материалов, а также о границах раздела материалов с диэлектрическими и проводящими покрытиями. В случае полупроводников основной вклад в формирование потенциального рельефа поверхности вносит такая фундаментальная величина, как работа выхода электрона. Применение методов визуализации электрического потенциала поверхности при использовании сканирующего режима электрометрического зонда делает возможным обнаружение отклонений химического состава поверхности, дефектной структуры, и т.п. В то же время, высокая чувствительность существующих средств измерений поверхностного потенциала к любым изменениям состояния поверхности образца и самого электрометрического зонда, в том числе и не вызванным влиянием контролируемого фактора, затрудняет интерпретацию результатов измерений [3]. Для повышения информативности методов визуализации потенциального рельефа поверхностей возможно использование оптического излучения различных длин волн, изменяющего структуру энергетических уровней приповерхностных слоев образца, и коронного разряда, с помощью которого на диэлектрической пленке осаждается электрический заряд. Пространственное распределение заряда, анализ динамики его стекания, нейтрализации и миграции позволяют контролировать распределение свойств не только диэлектрика, но и скрытых границ раздела, а также области пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике, что недоступно другим неразрушающим методам контроля.

В НИЛ полупроводниковой техники БНТУ совместно с НПО «Интеграл» проводятся исследования и разработка приборов и методов визуализации электрофизических параметров полупроводниковых пластин на основе зондовых зарядочувствительных методов, в том числе с использованием дополнительных воздействий оптическим излучением и/или коронным разрядом для выявления и анализа конкретных типов дефектов полупроводниковых пластин (подвижного заряда в диэлектрике, загрязнений тяжелыми металлами, плазменных повреждений, нарушений целостности диэлектрика и др.).

На рисунке 1 представлена схема созданной установки. В основе установки лежит устройство 3-х координатного перемещения, позволяющее позиционировать источник заряда, зарядочув-

ствительный преобразователь и источники оптического излучения для измерения фотоЭДС на требуемой точке поверхности пластины.

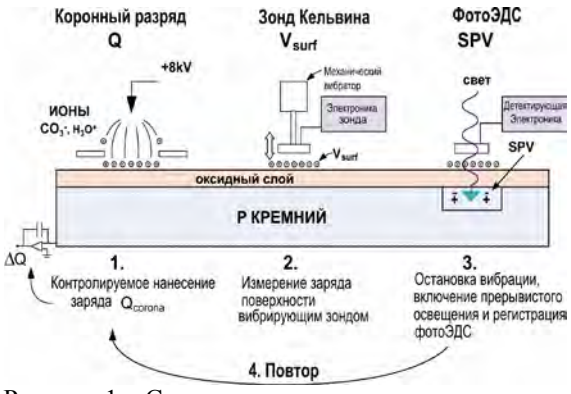


Рисунок 1 – Схема контроля полупроводниковых пластин с использованием методов зондовой электрометрии и воздействия коронным разрядом и светом

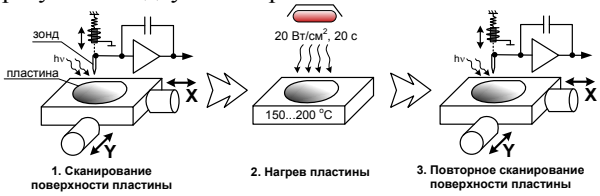
Генератор коронного разряда переносит дозированное количество заряда на поверхность подзатворного диэлектрика, формируя таким образом «виртуальный электрод» МОП-конденсатора. Ионы коронного разряда имеют практически нулевую кинетическую энергию при контакте с поверхностью, что исключает повреждение диэлектрика и внедрение ионов в поверхностные слои. Далее заряженный участок поверхности перемещается под зонд Кельвина.

Заряжение поверхности коронным разрядом производится с контролем величины осажденного заряда, что позволяет исследовать зависимость потенциала МОП-структуры от заряда на затворе (*Q-V* характеристику) без формирования реального металлического затвора. Результаты такого исследования позволяют выявлять дефекты, формирующие ловушечные уровни на границе раздела, и анализировать их энергетический спектр без разрушающих воздействий на образец.

При остановке колебаний зонда Кельвина и модуляцией сигнала монохроматическим оптическим излучением с различной длиной волны регистрируется фотоЭДС. Это позволяет определять такие параметры полупроводника, как время жизни и длина диффузии неравновесных носителей заряда на границе раздела.

В стадии разработки находится также установка для контроля следов железа и других металлов на поверхности пластин, которые существенно влияют на стабильность полупроводниковой технологии. В основе контроля лежит использование зависимости времени жизни неравновесных носителей заряда от состояния примеси в кристаллической решетке полупроводника. В частности, железо в кремнии *p*-типа может находиться в одной из двух форм: в составе пар Fe-B либо в форме интерстициальных атомов в междоузлиях кристаллической решетки. При комнатной температуре практически все железо в полупроводниковой пластине находится в первой форме, а при температуре порядка 150…200 °C за время ~ 20 секунд переходит во вторую, причем обратный процесс повторного формирования пар Fe-B занимает несколько часов. Это позволяет, на основании соответствующих математических моделей, рассчитать концентрацию примеси железа в выбранной точке образца по изменению времени жизни неравновесных носителей заряда до и после нагрева.

Схема разрабатываемой установки рисунке 2. Контроль осуществляется в три этапа и включает сканирование зондом Кельвина поверхности полупроводниковой пластины, нагрев пластины инфракрасным излучением и повторное сканирование. Распределение следов железа по пластине рассчитывается на основе сопоставления результатов двух сканирований.



$$N_{Fe} = 1{,}05 \cdot 10^{16} \left(\frac{1}{L_{nf}^2} - \frac{1}{L_{ni}^2} \right) см^{-3}$$

Рисунок 2 – Схема контроля примеси железа в кремнии

Помимо железа, возможно выявление следов никеля, меди и некоторых других металлов. Важно отметить, что примеси легких щелочных металлов, таких как Na и K, являющиеся источником подвижного заряда в структуре кремний-диэлектрик, могут быть определены непосредственно по изменению потенциала поверхности полупроводниковой пластины без использования дополнительных воздействий.

В данной работе для визуализации пространственного распределения потенциала использовался зонд Кельвина. Следует отметить, что возможна также реализация предложенного авторами невибрирующего конденсатора, что позволит значительно сократить время сканирования полупроводниковой пластины при повышенной разрешающей способности.

1. The International Technology Roadmap for Semiconductors: 2013 Edition. Metrology: [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.itrs.net/Links/2013ITRS/2013Chapters/2013Metrology.pdf. – Дата доступа: 13.10.2014 г.
2. Cooper, D. Field Mapping with Nanometer-Scale Resolution for the Next Generation of Electronic

Devices / D. Cooper [et al.] // Nano Lett. – 2011. – V. 11. – P. 4585-4590.
3. Zharin, A.L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping // Applied Scanning Probe Methods. – 2010. – V. 14. – P. 687-720.

УДК 612.76

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АДАПТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРЕНАЖЕРОВ К ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ОСОБЕННОСТЯМ СПОРТСМЕНОВ

Сотский Н.Б.
Белорусский государственный университет физической культуры
Минск, Республика Беларусь

Биомеханика движений человека предполагает логичным представление двигательного действия, как совокупность трех характеристик или программ. Это – программы места, ориентации и позы. Первая описывает перемещение общего центра масс тела человека, вторая – его ориентацию, как целого в пространстве, а третья - пространственную конфигурацию звеньев тела [1]. Именно эффективное выполнение последней программы обеспечивает выполнение первых двух и, соответственно, всего многообразия двигательных действий человека. Поэтому исследование и контроль позы человека является одной из важнейших задач биомеханики движений человека.

Выделение позы, человека, как самостоятельного объекта исследования, было предложено в работах по механике управляемого тела Г.В. Коренева и известного специалиста по спортивной биомеханике В.Т. Назарова [2,3]. В последующих работах была предложена и успешно адаптирована методика записи и исследования позы и ее изменений в процессе выполнения двигательных действий [1]. Предложенные способы были удобны при практическом исследовании плоскостных движений человека, в которых было задействовано минимальное количество степеней свободы опорно-двигательного аппарата. Анализ изменения позы при выполнении более сложных пространственных движений наталкивался на ряд проблем, связанных с учетом двух или трех анатомических движений, одновременно выполняемых в одном и том же суставе.

В недавно вышедшей нашей работе [4] было предложено и проиллюстрировано решение данной проблемы. Его суть в установлении соответствия суставных углов анатомических движений (сгибательно-разгибательных, ротаций и циркумдукций) углам Эйлера, образованным системами координат, жестко связанными с каждым из сочлененных в суставе звеньев тела. При таком подходе стало возможным анализировать практически любые изменения позы человека вообще и в частности, при выполнении спортивных движений.

В дальнейшем нами было проведено исследование изменения позы при выполнении силовых упражнений с использованием стационарных тренажеров с целью адаптации тренировки к реальным анатомическим и физиологическим режимам работы мышц человека [5]. В ходе анализа были рассмотрены упражнения на стационарных тренажерах известной фирмы PRESSOR [6]. Поза и ее изменения определялись, для идеального варианта упражнения, рекомендованного производителем.

Пример исследования изменения позы при выполнении силового упражнения приведен на рисунке 1

Рисунок 1 – Пример изменения позы во время выполнении упражнения

Закон изменения позы при выполнении данного упражнения, в соответствии с разработанной методикой, может быть представлен в матричном виде, где строки обозначают биокинематические цепи (ноги, руки, позвоночник), столбцы – суставы, индексы 1,2 и 3 соответствуют анатомическому типу суставного движения, а в ячейках записаны суставные углы:

Φij1 =	0	180	0	0
	0	180	0	0
	180	0	0	0
	180	0	0	0
	0	0	0	0

Φij2 =	110-90t	110-90t	-30t	0
	110-90t	110-90t	-30t	0
	0	100	0	0
	0	100	0	0
	0	0	0	0
Φij3 =	0	0	0	0
	0	0	0	0
	-45	0	0	0
	45	0	0	0
	0	0	0	0

В приведенных матрицах серым цветом выделены суставы, в которых происходит движение. Анализ изменения позы при выполнении данного упражнения показал, что динамической нагрузке подвергается только один тип суставного движения – сгибательно-разгибательный. Остальные находятся в статике и зафиксированы не естественными действиями мышц, а благодаря жесткой конструкции тренажера. Аналогичная ситуация наблюдается практически для всех исследованных тренажеров, использование которых характеризуется чрезмерной искусственностью условий для активизации адаптационных механизмов, что ограничивает результаты, если иметь в виду проявление развиваемых качеств в естественных двигательных действиях человека. Кроме этого в ходе тренировки отрицательно сказывается инерционность нагрузочных элементов и необходимость рассеивания энергии при повторных движениях.

Таким образом, использование метода определения позы человека при исследовании силовых упражнений позволило выявить системную проблему применения традиционных силовых тренажеров - невозможность одновременного обеспечения эффективной нагрузкой одновременно нескольких анатомических степеней свободы каждого сустава, что в значительной мере снижает эффект силовой тренировки при подготовке к сложным пространственным движениям.

Решение данной проблемы видится в разработке тренажерных систем со многими степенями свободы, использующих для обеспечения нагрузки диссипативные силы с минимальной инерционностью конструкции. Оптимальным, на наш взгляд, подходом здесь представляется использование шарнирно-рычажных конструкций, сочленения которых обладают несколькими степенями свободы с возможностью регулировки опротивления изменению конфигурации шарниров за счет использования сил трения.

1. Сотский, Н.Б. Биомеханика: учебник для студентов специальности спорт.-пед. деятельность / Н.Б. Сотский ; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2005. – 192 с.
2. Назаров, В.Т. Движения спортсмена / В.Т.Назаров. – Минск: Полымя, 1984. – 176 с
3. Коренев, Г.В. Введение в механику человека / Г.В.Коренев. – М.: Наука, 1977. – 264 с.
4. Сотский, Н.Б. Поза спортсмена: Определение и измерение / Н.Б. Сотский // Метрология и приборостроение. – 2014. – № 2. – С. 37–40.
5. Сотский, Н.Б. Кинематика и динамика выполнения упражнений на стационарных силовых тренажерах / Н.Б. Сотский // Наука и техника. – 2014. – № 4. – С 87-94.
6. Pressor [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа http://www.precor.com/intl/commercial/products/strength/discovery-strength/selectorized

Секция 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 621-391

PARALLEL IPRIALIST COMPETITIVE ALGORITHM: A METHOD FOR GLOBAL OPTIMIZATION

Alavi Seyed Enayatallah, Naderan-Tahan Marjan, Aminian Mohamad
Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract. *A novel parallel imperialist competitive algorithm (PICA) is presented for global optimization. The ICA is a new meta-heuristic optimization developed based on a socio-politically motivated strategy and contains two main steps: the movement of the colonies and the imperialistic competition. Here different parallel approach is utilized to improve the movement step of the algorithm. Comparing the new algorithm with the other ICA-based methods demonstrates the superiority of the PICA for the benchmark functions.*

Introduction — The imperialist competitive algorithm (ICA) is one of the recent meta-heuristic optimization techniques. This novel optimization method developed based on a socio-politically motivated strategy. The ICA is a multi-agent algorithm in which each agent is a country and can be either a colony or an imperialist. These countries form some empires in the search space. Movement of the colonies toward their related imperialist and imperialistic competition among the empires forms the basis of the ICA. During these movements, the powerful imperialists are reinforced and the weak ones are weakened and gradually collapsed, directing the algorithm towards optimum points [1]. Figur.1 illustrate the basic movement in ICA algorithm.

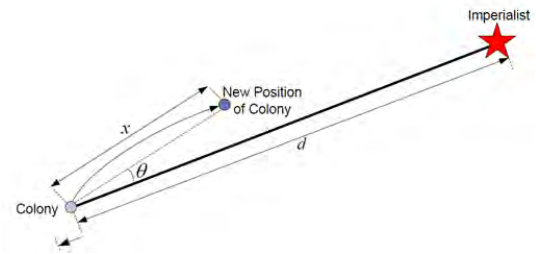


Figure1 – Movement of a colony to imprialist

Imperialistic competition is the main part of the ICA and hopefully causes the colonies to converge to the global minimum of the cost function. This algorithm is proposed by Atashpaz-Gargari and co-workers [2,3]. Kaveh and Talatahari improved the ICA by defining two new movement steps and investigated the performance of this algorithm to optimize the design of skeletal structures and engineering optimization problems [1].

Due to the several weaknesses of all evolutionary algorithm such as converge speed and reliability [4] which are very important factors in industrial applications, we try to propose and experimental model based on the idea of breaking a task to the several smaller tasks in order to solve it faster. Also, in order to increase reliability we use the idea of division the search space into several sub spaces and starting each algorithm with different start point in such environment. This paper adds such positive benefits of parallel structure to the ICA algorithm. In this way, generating different systems substitute random numbers for different start points of the ICA.

In order to evaluate these algorithms, some mathematical benchmark examples are utilized. The results reveal the improvement of the new algorithm.

The rest of the paper is designed as follow: in section two we proposed our new method, in section three we discuss over simulation's results and finally in section four we conclude our work and suggest future works.

II. Parallel Imperialist Competitive Algorithm

Imperialist competitive algorithm based on Atashpaz-Gargari algorithm [1] is used as our main optimization algorithm. Considering what we said before, one of the major problems of all evolutionary algorithms is the computation time. ICA is also suffer from this problem. In this paper we are going to introduce new architecture for to handle this situation.

The new architecture is a mixture of four ICA algorithms that are works parallel together each ICA has same optimization parameter to the other algorithms but the only difference is the starting points.

The idea behind this method is to divide the search space of a big complex ICA to four little ICAs in order to increase variety and decrease converge speed. The psudo code of the method can be seen in Table (1).

The number of countries and imperialist is set, using try and error. After the first phase of new algorithm (three parallel ICAs) we capture first two best results (countries) of each ICA and use it as starting point of 4^{th} ICA. Note that, the 4^{th} ICA also has 80 countries and 8 imperialists but 6 countries from these 80 countries are best outputs of first 3 ICAs. The other parameters of basic ICA are set as bellow:

- β parameter set as 0.7

- θ is not constant and change in [0.1 1.2]
- Maximum iteration is set on 300

Table(1) : Pesudo code of proposed method

Step 1: set the maximum iteration of each ICA to 300
Step 2: set the number of countries to 80
Step 3: set the number of imperialists to 8
Step 4: start three ICAs simultaneously
Step 5: capture the first two best results of ICAs and set it as starting point of 4th ICA
Step 6: Start 4th ICA
Step 7: return final results

III. Simulation and results

In order to test our work, we use two different benchmark functions (Griewank and Rastring both with 10 parameter to be optimized) [5]. Also we use ICA with 1500 iterations, GA with 1500 iterations and SA with starting temperature of 2000 as other optimization techniques. We run algorithms for each function for 100 times. The results are illustrated in Table (2) and Table (3).

Table(2) : Grienwank function results

	Min answer (mean)	SD	Time (seconds)	Global min
ICA	0.0288	0.0329	234.98	0
GA	2.751	2.541	564	0
SA	4.293	3.783	634	0
PICA	0.0021	0.0435	77.16	0

Table(3) : Grienwank function results

	Min answer (mean)	SD	Time	Global min
ICA	2.21	3.26	316	0
GA	9.37	5.4	652	0
SA	12.67	4.7	721	0
PICA	0.029	0.159	72.4	0

The results shows that our proposed method beside the fastest converge to the global minimum, has great performance in subject of the min answer and standard division (SD) of answers which is make the method a precise, fast and reliable method for global optimization tasks.

In this context, the reliable method is defined as method which can search the whole search space and find the best local optimum with low range of differentiation. Hence, we can see, our proposed method show noticeable results in compression with basic optimization methods.

IV conclusion

In this work we demonstrate an architecture for optimization based on imperialist competitive algorithm. We show that our proposed method can work on complex problems properly. PICA also shows that it is better than most of the individual evolutionary methods in subject of converge speed, accuracy and reliability. In future, this family of methods can easily combine with other evolutionary algorithms in order to cover their weaknesses. Also, the introduced method can be applied in real word applications to measure its real performance.

Furthermore, we suggest to researchers to improve the basic methods using new random paradigms in order to add more diversity then using evolutionary methods in new architectures such as the architecture we propose.

1. Atashpaz-Gargari E, Lucas C. Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. IEE Cong Evol Comput 2007:4661–7.
2. Alatas B, Akin E, Ozer A. Chaos embedded particle swarm optimization algorithms. Chaos Soliton Fract 2009;40:1715–34.
3. Kaveh A, Talatahari S. Optimum design of skeletal structures using imperialist competitive algorithm. Comput Struct 2010;88:1220–9.
4. Atashpaz-Gargari, Esmaeil, and Caro Lucas. "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition." Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on. IEEE, 2007.
5. Talatahari, S., et al. "Imperialist competitive algorithm combined with chaos for global optimization." Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation 17.3 (2012): 1312-1319.

УДК 681.2

STABILITY CONDITIONS IN THE QUASI-STATIC MODE OF A DIFFERENTIAL-CAPACITIVE INSTRUMENT

Gilavdary I.[1], Mekid S.[2], Riznookaya N.[1]
[1]Belorussian National Technical University, Minsk, Belarus,
[2]King Fahd University of Petroleum & Minerals, Mechanical Engineering Department, Dhahran, Saudi Arabia

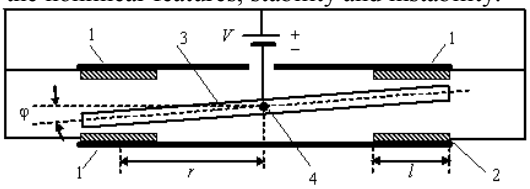
Capacitive sensing has advantages compared to other types of sensors. Its attractive properties are: little power consumption, very low sensitivity to temperature, and less complex shielding stray electric fields than shielding inductive sensors from magnetic disturbances [1]. The capacitive sensors have low noise floor, low fabrication cost, low cross-coupling sensitivity. It has also compatibility with Very Large-Scale Integration (VLSI) technology scaling, all of which make it commercially im-

plementable in recent years [2, 3]. Capacitive sensors have different usages in MEMS and micro sensors [4-6].

There are different techniques for making capacitive sensors and also different interface circuits that supply sensors with energy. Sensors with one variable capacitor are nonlinear to an output signal in most cases. By employing the structure of differential capacitors instead of one variable capacitor it is possible to have simpler circuit and also to reduce the nonlinear effects of sensors [7-9]. Additional method may be used to enhance the linearity of a differential capacitive sensor [10].

It is difficult to keep these influences and parasitic capacitors under control. Also, the electrical excitation circuit adds additional floor noises in output signals of the sensor.

Electrostatic differential capacitive force and torque sensor. The electro-mechanical model of a simple and sensitive resonant electrostatic differential capacitive force and torque sensor represent in figure 1 where AC generator is substituted for an electrostatic generator. Many features of this actuator have been investigated before [11, 12], particularly, the nonlinear features, stability and instability.



1 – fixed non-conductive plate, 2 – conductive substrate, 3 –conductive plate, 4 – elastic suspender.

Figure 1 – The sensor's model

The moveable plate 3, e.g. sensitive plate (SP) performs angular movements under the action of external torque $M(t)$ of force which have to be measured. This torque is considered as harmonic with frequency $\omega=2\pi f$, so that

$$M(t) = M_0 \cdot \cos(\omega t). \qquad (1)$$

The sense of M_0 has to be defined in a concrete problem. For example, in a linear accelerometer $M_0 = m\,a\,s$, where m – is mass of SP, a is a linear acceleration, and s – is a static unbalance. In an angular accelerometer $M_0 = I_z\varepsilon$, where I_z – moment of inertia of a SP relative to a rotation axis z, ε – is an angular acceleration.

Physical model of the sensor. The sensor's computational model is shown fig. 2. The angular displacements of a SP in this model are represented as the translations of an intermediate plate. This is possible because the rotations of SP are very small. In this model it is supposed that all details are in vacuum, squeezed-film damping is absent, electric capacitors are ideal, fringing effects are ignored, and spring stiffness k is constant. The damper in figure 2 describes the mechanical energy dissipation in the sensor.

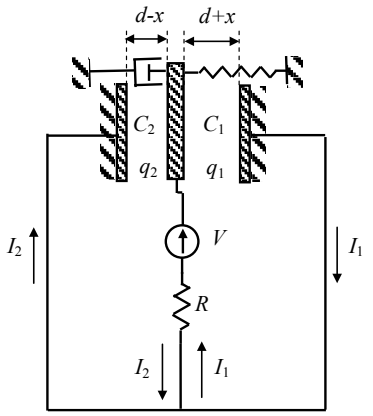


Figure 2 – The electro-mechanical model of the sensor under study

The voltage V in figure 2 is a voltage source. Capacitance for ideal capacitors with flat plates are expressed in Eq.(2).

$$C_1 = \frac{C_{01}}{1 + x/d},\ C_2 = \frac{C_{02}}{1 - x/d}. \qquad (2)$$

Because rotations φ of a SP are small, a displacement $x \approx \varphi \cdot r << d$ (see figure 2), hence

$$C_1 = \frac{C_{01}}{1 + \varphi/\varphi_m},\ C_2 = \frac{C_{02}}{1 - \varphi/\varphi_m}, \qquad (3)$$

where $\varphi_m \approx \frac{d}{r}$.

It is obvious that the initial capacitances C_{01} and C_{02} are different in real capacitive sensors. Let us assume a relationship as:

$$C_{02} = (1 + \gamma)C_{01}. \qquad (4)$$

The equation of oscillations of SP is given by Eqs. (5) and (6):

$$I_z\ddot{\varphi} + D\dot{\varphi} + k\varphi = M(t) - M_{el}, \qquad (5)$$

$$M_{el} = 2F_{el}r\cos\varphi, \qquad (6)$$

where $F_{el} = F_{el2} - F_{el1}$, and F_{el1} – is the force acting on SP in capacitor C_1 [2, 23]:

$$F_{el1} = \frac{1}{2}\frac{q_1^2}{\varepsilon_0 S}, \qquad (7)$$

where ε_0 – electric constant, q_1 – electric charge in capacitor C_1, S – area of one of substrates 2 (figure 1), F_{el2} – is the force acting on a SP in capacitor C_2:

$$F_{el2} = \frac{1}{2}\frac{q_2^2}{\varepsilon_0 S}. \qquad (8)$$

The factor 2 appearing in Eq. (6) is due to two pairs of differential capacitors in the sensor (fig.1). Eq. (6) and below it is supposed that $\cos\varphi \approx 1$.

From Eqs. (6) and (8), the following is obtained.

$$M_{el} = \frac{q_2^2 - q_1^2}{\varepsilon_0 S} r. \qquad (9)$$

Eq.(5) can be rewritten, if to take into account equations (6) – (9), as:

$$I_z\ddot{\varphi}+D\dot{\varphi}+\left(k\varphi-\frac{q_2^2-q_1^2}{\varepsilon_0 S}r\right)=M_0\cos(\omega t). \quad (10)$$

The analysis of a quasi-static stability of the sensor. The energy dissipation and external forces are assumed to be absent at this stage of the investigation. If the resistor R is too small to affect SP movement and currents I_1 and I_2, the free movement equation of SP follows Eq. (11):

$$I_z\ddot{\varphi}+\left(k\varphi-\frac{q_2^2-q_1^2}{\varepsilon_0 S}r\right)=0. \quad (11)$$

It can be seen from figure 3 and from Kirchhoff's law that,

$$\frac{q_1}{C_1}+\frac{q_2}{C_2}=0,\quad q_1=C_1V. \quad (12)$$

The capacitors C_1 and C_2 are given by Eq.(3). In this case Eq. (11) may be defined as

$$I_z\ddot{\psi}+M(\psi)=0, \quad (13)$$

where

$$M(\psi)=k\left[\psi-B\frac{\gamma_1^2(\psi+1)^2-(\psi-1)^2}{\left(1-\psi^2\right)^2}\right] \quad (14)$$

is a resulting moment acting on SP in electric field,

$$B=\frac{4C_{01}V^2}{k\varphi_m^2},\ \psi=\frac{\varphi}{\varphi_m},\ \gamma_1=\gamma+1. \quad (15)$$

If $\psi<<1$, it will be shown lower the parameter B may be defined as the following relationship:

$$B=1-\frac{\Omega_0^2}{\omega_0^2}, \quad (16)$$

where $\omega_0=\sqrt{\frac{k}{I_z}}$ is SP resonance frequency when electrostatic field is switch off; and Ω_0 is SP resonance frequency when electrostatic field is switched on (see Eq. (34) lower).

The SP oscillations are stable if a derivative $\frac{dM(\psi)}{d\psi}\le 0$. The derivative is given in Eq. (17):

$$\frac{dM(\psi)}{k\,d\psi}=\frac{2\psi^6-6\psi^4+B\left(\gamma_1^2-1\right)\psi^3}{2\left(1-\psi^2\right)^3}+ \\ +\frac{3\left(B\gamma_1^2+B+2\right)\psi^2+3B\left(\gamma_1^2-1\right)+B\left(\gamma_1^2+1\right)-2}{2\left(1-\psi^2\right)^3} \quad (17)$$

and is shown in Fig. 4. The values $\gamma<<1$ and B is close to 1 are most interesting. Then values $\psi<<1$, and the first two members in the numerator might be omit. The one has

$$\frac{dM(\psi)}{k\,d\psi}\approx\frac{B\left(\gamma_1^2-1\right)\psi^3+3\left(B\gamma_1^2+B+2\right)\psi^2}{2\left(1-\psi^2\right)^3}+ \\ +\frac{3B\left(\gamma_1^2-1\right)+B\left(\gamma_1^2+1\right)-2}{2\left(1-\psi^2\right)^3}. \quad (18)$$

The fig. 3 shows this derivative also.

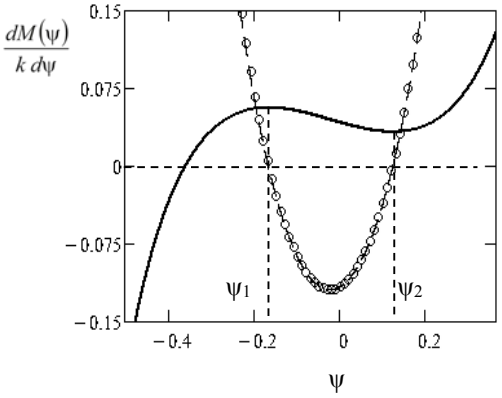


Figure 3 – The dependences of moment $\frac{M(\psi)}{k\varphi_m}$ and its derivatives on a parameter ψ, if B =0.8 and γ=0.1. The continuous line corresponds to Eq. (14); the dashed line corresponds to Eq. (17); the dotted line corresponds to Eq. (18).

The angles $\psi_1$and ψ_2 can are calculated from an equality $\frac{dM(\psi)}{d\psi}=0$. It follows from Eq. (18)

$$\psi_1=-\frac{\sqrt{3}\sqrt{16-14B^2\gamma_1^2-B^2\left(\gamma_1^4+1\right)}+3B\left(\gamma_1^2-1\right)}{6\left(B\gamma_1^2+B+2\right)}, \quad (19)$$

$$\psi_2=\frac{\sqrt{3}\sqrt{16-14B^2\gamma_1^2-B^2\left(\gamma_1^4+1\right)}-3B\left(\gamma_1^2-1\right)}{6\left(B\gamma_1^2+B+2\right)}. \quad (20)$$

The expression which is under square roots in Eqs. (19) and (20) has to be positive. It follows from this that $B\le B_{max}$, where

$$B_{\max}=\frac{4}{\sqrt{1+14\gamma_1^2+\gamma_1^4}}.$$

If γ=1 (i.e. γ_1=2), error of this equality is about 0.003 in comparison with exact one, and it quickly decreases when γ is decreasing.

The SP irrepressibly rushes to one of static plates if ψ is out of interval ψ_1-ψ_2. This phenomenon is called pull-in (or "snap-down") in actuators [11].

The main conclusion which issues from formulas (16), (19) - (21) is that the parameter γ limits a parameter B_{max}, i.e. limits minimum of a frequency Ω_0 which is 0.3 ω_0. The SP stable oscillations angle interval becomes very narrow if $B\to B_{max}$. These constitute disadvantages for this sensor as fabricating an ideal symmetric sensor is rather complicated. But an asymmetry in the sensor can be compensated as discussed next.

Conclusion. The most challenging issue in designing instruments with high sensitivity measurement of inertial and gravitational forces constitutes a dilemma in securing robustness and sensitivity of the elastic suspension of the mobile element. In the usual approach, the robustness can be sacrificed to

the benefit of the sensitivity, and as result the suspensions are insecure. This paper has considered differential-capacitive electrostatic sensors where robustness has been considered. This sensor is intended to measure harmonic signals, such as linear and angular accelerations and second derivatives of gravity potentials. The sensor's construction combines a dual function of an electrostatic capacitive differential sensor and electrostatic capacitive actuator without any additional elements. The actuator permits to decrease the resonance frequency of the sensor and by-turn this actuator permits to use a harder elastic suspension for sensing plate.

1. Ali Heidary. A Low-Cost Universal Integrated Interface for Capacitive Sensors. Thesis, 2010. – P. 160
2. Changhoug Guan. Development of a Closed-loop MEMS Capacitive Force Sensor. A thesis of Master of Science for the Degree Mechanical Engineering. Raleigh. North Carolina, 2009. – P. 90
3. Sergio Rescia. Precise Measurements of Small Linear and Angular Displacements with Capacitance Methods (http://www.bnl.gov/edm/papers/Sergio_Rescia_020118.pdf).
4. Huikai Xiea, Gary K. Fedder. Vertical comb-finger capacitive actuation and sensing for CMOS-MEMS. Sensors and Actuators A 95 (2002) – P. 212-221.
5. Smart sensor systems. Edited by Gerard C.M. Meijer, A John Wiley and Sons, Ltd, Publication. 2008 John Wiley & Sons, Ltd. – 411 p.
6. Sensor Technology Handbook. Editor-in-Chief Jon S. Wilson. 2005, Elsevier Inc., 2005. 702 P.
7. Ghasem Shahrivar, Islamic Azad, Hamidreza Dalili, Ayat Akbari. Current-Mode Interface Circuit for Differential Capacitive Sensor. International Journal of Computer Applications (0975 — 8887) Volume 36, No 5, December 2011. – P. 4
8. Babak Vakili Amini and Farrokh Ayazi. Micro-gravity capacitive silicon-on-insulator accelerometers. Journal of micromechanics and microengineering, 15 (2005) 2113–2120. (http://www.ece.gatech.edu/research/integrated-mems/documents/amini_jmicromechanical_102005.pdf).
9. R.D. Peters. Linear rotary differential capacitance transducer. US Patent No. 5028875. Filed 27.04.1989.
10. T.J.Denison. Linearity enhancement for capacitive sensors. US Patent No. 7078916. Filed 06.04.2004.
11. S.I. Senturia. Microsystem Design. Massachusetts Institute of Technology. Kluwer Academic Publishers. 2001. – 716 p.
12. J. M. Edwards. Modeling and feedback control of a MEMS electrostatic actuator. Cleveland State University. December, 2008, 200 p.

УДК 681.785; 615.47

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМИ СБРОСАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В КОНТЕКСТЕ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КРУПНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Трудно переоценить роль воды в нашей жизни. К сожалению, в реальности вода в большинстве случаев загрязнена множеством соединений, концентрации которых часто превышают нормы. Контроль качества воды затрагивает очень многие стороны жизни человеческого общества. В настоящее время из-за обострившихся угроз загрязнения воды контроль ее качества становится проблемой социальной, политической, медицинской, географической, а также инженерной и экономической.

Существенный вклад в загрязнение воды вносят сточные воды промышленных предприятий. Постоянно возрастающие объёмы сточных вод, увеличивающееся количество видов и степени загрязнений существенно осложняют решение вопросов минимизации экологических рисков и управления экологической обстановкой в крупных городах [1].

Вопросы совершенствования структуры системы управления сточными водами, ее функционирование в городской среде в условиях наличия крупных предприятий, рационализация межотраслевых взаимодействий в указанной сфере требуют дальнейшего изучения и обобщения. Первостепенное значение имеет разработка теоретических и методических основ управления сточными водами с учетом социально-экологического и экономического потенциала крупных предприятий [2].

Существующие методы анализа сточных вод, как правило, требуют применения сложной аппаратуры и значительного времени для проведения анализа, что не всегда возможно в производственных условиях. Это не позволяет в режиме

реального времени фиксировать и устранять попадание аварийного выброса в систему фильтрации.

Существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами, характеризующими содержание и виды загрязнений, является предпосылкой построения аппаратуры для контроля загрязнения сточных вод [3, 4]. Для больших станций очистки крупных предприятий предлагаемый метод достаточно перспективен. В этом случае оптическая плотность будет пропорционально связана с видом и содержанием загрязнений.

Как следует из спектральных характеристик возможных загрязнений, измеряя величину оптической плотности сточной воды на определенной длине волны и сопоставляя эту величину со значениями нормируемых показателей, характерных для конкретного загрязнения, можно установить уровни оптической плотности, соответствующие наличию загрязнений в сточной воде и, таким образом, по величине этого показателя оперативно контролировать содержание и виды загрязнений в сбрасываемых стоках.

Для повышения достоверности, объективности и оперативности анализа сточных вод разработаны «Методика тестирования неоднородных жидких оптических сред» [5] и «Методика формирования базы данных кривых измерения оптической плотности неоднородных жидких сред».

На основании обобщенной вероятностной математической модели поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах [6] разработана лабораторная установка контроля изменений оптической плотности жидких сред [7], позволяющая идентифицировать аварийные выбросы в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности [8].

Структурная схема установки контроля изменений оптической плотности жидких сред представлена на рисунке.

Установка включает:

1. Микроконтроллер.
2. Генератор тока, управляемый напряжением.
3. Излучатель лазерный.
4. Фотоприемник.
5. Преобразователь ток-напряжение.
6. Усилитель-делитель переменного напряжения.
7. Синхронный детектор.
8. Фильтр нижних частот.
9. Инвертирующий усилитель с компенсацией входного напряжения.
10. Устройство управления и регулировки.
11. Исполнительное устройство.

Микроконтроллер (1) ATMega 48 включает:

a. АЛУ–арифметическо-логическое устройство.

b. Устройство формирования тактовых сигналов.

c. 10-ти разрядный аналогово-цифровой преобразователь.

d. Интерфейс управления и обмена данными с внешними устройствами.

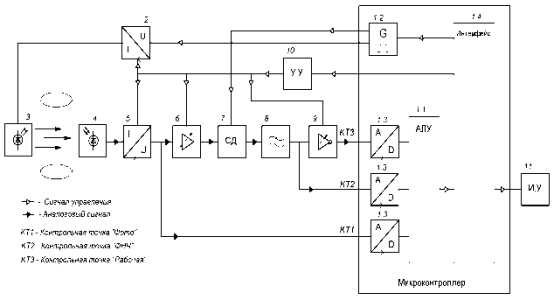


Рисунок 1 – Структурная схема установки

Результаты мониторинга сточных вод отображаются на виртуальной панели управления лабораторной установки.

Лабораторная установка протестирована загрязнениями водной среды примесями подсолнечных масел и нефти. При прохождении через оптическую систему границы сред вода-масло и вода-нефть значения сигнала на выходе фотоприемника скачкообразно повышаются до максимального уровня и легко идентифицируются.

Функционирование установки для контроля аварийных выбросов промышленного предприятия осуществляется следующим образом. Если оптические свойства контролируемой водной среды находятся в допустимом интервале (изменения загрязнений сточных вод незначительны), водная среда через открытую заслонку на трубопроводе поступает в очистительные фильтры, которые справляются с такой концентрацией загрязнений. В случае возникновения выброса на предприятии оптические параметры водной среды резко меняются, и микроконтроллер 1 вырабатывает сигнал на исполнительное устройство 11, управляющее клапаном отвода, который направляет загрязненную воду в отстойник для утилизации, что увеличивает срок службы фильтров очистки.

Проведенные исследования показали, что при проектировании систем управления аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод крупного предприятия для успешного выявления и устранения аварийных ситуаций необходимо с помощью разработанных теоретических и методических основ учитывать вероятность появления аварийных сгустков и существование корреляционных связей между оптической плотностью и другими параметрами,

характеризующими содержание и виды загрязнений.

1. Габричидзе Т.Г. Основы комплексной системы безопасности критически важных (потенциально опасных) объектов муниципального и регионального уровней: монография. – Самара: Изд-во Самар. НЦ РАН, 2011. – 391 с.
2. Горшков М.В. Экологический мониторинг. Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с.
3. Патент № 113845 на полезную модель, МПК7: G01N 21/00. – Устройство устранения аварийного выброса / Алексеев В.А., Козаченко Е.М., Юран С.И., Перминов А.С. (Заявка на полезную модель №2011144701/28 (067035) от 03.11.2011). Опубл. 27.02.2012. Бюл. №16.
4. Алексеев В.А., Козаченко Е.М., Юран С.И. Управление аварийными сбросами в технологическом процессе очистки сточных вод предприятия // Приборостроение-2012: материалы пятой междунар.науч.-техн.конф. (21-23 ноября 2012 г.) - Минск: Изд-во Бел.Нац.Техн.Ун-та, 2012. –С. 5-6.
5. Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И. Методика тестирования неоднородных жидких оптических сред//«Приборостроение в XXI веке – 2013. Интеграция науки, образования и производства: Сборник материалов 1X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (Ижевск, 13 – 15 ноября 2013 г.), – Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2014. – С 349 – 353.
6. Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И. Обобщенная вероятностная математическая модель поступления сточных вод на очистные сооружения при залповых сбросах // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 1(23) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2014. – С.108-113.
7. Алексеев В.А., Козаченко Е.М., Юран С.И. Установка мониторинга загрязнения сточных вод / Измерения в современном мире - 2011: сборник научных трудов Третьей Междунар. науч.-практ. конф. (С.-Петербург, 17-20 мая 2011). СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С.72-74.
8. Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И. Идентификация аварийных выбросов в системах фильтрации сточных вод в явно выраженных условиях многомерности и неопределенности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22) – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013. – С.173-177.

УДК 681.785; 615.47

ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФ С ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Алексеев В.А., Юран С.И., Перминов А.С.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Одним из методов, позволяющим объективно оценить состояние сосудистой системы, является метод фотоплетизмографии [1], основанный на регистрации пульсовых кривых, параметры которых связаны с гемодинамическими показателями организма.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема фотоплетизмографа с планарным оптоэлектронным датчиком, размещенном на биологическом объекте БО, где БП – блок питания источника излучения – ИИ, фотоэлектрический преобразователь – ФЭП, усилитель сигнала фотоприемника – УСФ и регистратор сигнала от ФЭП – Рег. Необходимые параметры оптического излучения (светодиода, лазера) оптоэлектронного датчика фотоплетизмографа обеспечивает источник питания источника излучения.

Для снижения уровня помех различной природы (оптические, промышленной сети и др.) применяется модуляция и синхронное детектирование сигнала, что требует импульсного питания источников излучения. Так в разработанном авторами автоматизированном фотоплетизмографе [2] импульсный режим работы ИК светодиода обеспечивается следующим образом. С блока управления подается напряжение на буферный усилитель-формирователь, задавая выходной ток источника излучения, на который поступает и тактовый сигнал частотой 10 кГц, модулирующий выходной ток источника излучения.

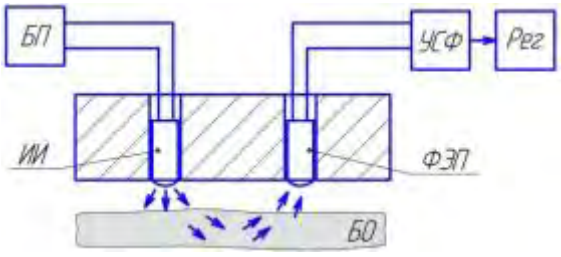


Рисунок 1 – Упрощенная схема фотоплетизмографа

Для повышения достоверности ряда гемодинамических показателей, связанных с информативными параметрами регистрируемой пульсо-

вой кривой, необходимо обеспечить достаточно высокий уровень амплитудных параметров данной кривой, значительно превышающий возможные шумы. Это можно обеспечить за счет увеличения амплитуды питающих источник излучения импульсов. При этом для ограничения поступающей в биоткань энергии оптического излучения, которое может исказить реальное кровоснабжение биоткани в области установки датчика, следует ограничить длительность импульсов. Кроме этого для автономной диагностической аппаратуры необходим экономичный импульсный источник питания излучателя.

Указанные требования особенно актуальны при исследовании сосудистой системы животных, у которых многие интересующие исследователя области биотканей имеют достаточно низкий уровень кровоснабжения, а состояние кожных покровов существенно отличается от человека. В результате оптическое излучение, поступающее от биоткани на фотоприемник датчика, имеет очень малый уровень, сравнимый часто с уровнем шумов, поэтому информативные параметры регистрируемой пульсовой кривой имеют низкую диагностическую ценность.

Нами предложен экономичный источник импульсного лазерного излучения [3, 4], позволяющий создать необходимые по амплитуде импульсы оптического излучения в требуемом для метода фотоплетизмографии спектральном диапазоне.

На рисунке 2 приведена структурная схема источника импульсного лазерного излучения, которая содержит задающий генератор 1, импульсный лазер 2, оптический коммутатор 3, устройство согласования с блоком оптической задержки 4, блок оптической задержки 5, выполненный, например, из отрезков оптического волокна, и имеющий дискретное время задержек оптического импульса. Источник излучения содержит оптический сумматор излучения 6, и фокусирующую систему 7 для формирования заданной диаграммы направленности пучка на выходе оптического сумматора излучения 6.

Рассмотрим принцип действия источника импульсного лазерного излучения.

Импульсный сигнал с задающего генератора 1 поступает на вход импульсного лазера 2 и управляет его работой.

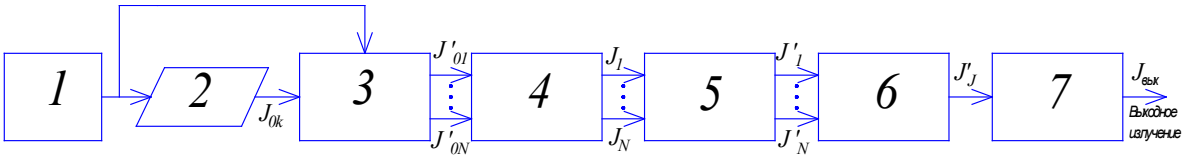


Рисунок 2 – Структурная схема источника импульсного лазерного излучения

Импульсы оптического излучения с лазера 2 поступают на вход оптического коммутатора 3. При этом на управляющий вход оптического коммутатора 3 поступают электрические импульсы с выхода задающего генератора 1 с частотой (1/T), равной частоте излучаемых лазером 2 импульсов оптического излучения. При поступлении первого управляющего импульса с задающего генератора 1 оптический коммутатор 3 направляет импульс оптического излучения через устройство согласования со средством оптической задержки 4 на первый элемент блока оптической задержки 5. По второму импульсу с задающего генератора 1 оптический коммутатор 3 направляет оптическое излучение на второй элемент блока оптической задержки 5 и т.д. Блок оптической задержки содержит N-1 элемент. N-ый импульс лазера 2 проходит на вход оптического сумматора излучения 6 без задержки. Выходы блока оптической задержки 5 соединены с N-1 входами оптического сумматора излучения 6. N-ый импульс лазерного излучения поступает на N-ый вход оптического сумматора излучения напрямую. Элементы блока оптической задержки 5 выполнены таким образом, что все задержанные импульсы лазерного излучения поступают на входы оптического сумматора излучения 6 одновременно с N-ым импульсом. На выходе оптического сумматора излучения 6 формируется импульс J'_J, равный сумме интенсивностей импульсов лазерного излучения.

Далее полученный лазерный пучок фокусируется фокусирующей системой 7. В результате на выходе источника излучения образуется импульсное лазерное излучение $J_{вых.}$, значительно превосходящее по интенсивности импульсы исходного лазерного излучения лазера 2. При этом частота следования импульсов на выходе устройства будет в N раз ниже частоты (1/T) излучаемых лазером импульсов.

Таким образом, по сравнению с указанными выше источниками лазерного излучения при одних и тех же источниках энергии в рассматриваемом устройстве достигается существенное увеличение выходной импульсной интенсивности лазерного излучения за счет возможности накопления энергии. При этом для получения импульсов большой интенсивности оптического излучения требуются маломощные лазер и источник питания, что особенно важно для автономной аппаратуры.

За счет возможности накопления энергии можно получить на выходе примерно в N раз большую мощность импульсов лазерного излучения за исключением потерь оптического излучения, по сравнению с мощностью импульсного излучения одного источника.

Авторами предложен более совершенный источник импульсного лазерного излучения с интерференцией когерентных импульсов, позволяющий еще на порядок увеличить интенсивность оптического излучения [5].

Применение рассмотренного импульсного источника лазерного излучения в автоматизированном фотоплетизмографе позволит увеличить точность регистрации пульсовых кривых, и, следовательно, повысить уровень диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека и животных.

1. Алексеев В.А., Юран С.И. Проектирование устройств регистрации гемодинамических показателей животных на основе метода фотоплетизмографии: монография. – Ижевск: ИжГТУ, ИжГСХА, 2006. – 248 с.
2. Алексеев В.А., Ардашев С.А., Юран С.И. Автоматизированный фотоплетизмограф // Приборы и методы измерений. – Минск: БНТУ, 2013, №1 (6). – С.46-51.
3. Патент РФ № 2477553 на изобретение, МПК[7]: H01S3/10. – Источник импульсного лазерного излучения / Алексеев В.А., Юран С.И., Перминов А.С., Стерхова М.А. (Заявка на изобретение №2011137390/28 от 09.09.2011). Опубл. 10.03.2013. Бюл.№7.
4. Алексеев В.А., Юран С.И., Перминов А.С. Источник импульсного лазерного излучения / Лазеры. Измерения. Информация. 2013 : сб. докладов 23-й Междунар. конф. – Т.1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – С.155-163.
5. Алексеев В.А., Юран С.И., Перминов А.С. Источник импульсного лазерного излучения с интерференцией когерентных импульсов / Лазеры. Измерения. Информация: труды конференции (9-11 июня 2014 года, Санкт-Петербург). СПб.: СПбГПУ, 2014. – С.78-79.

УДК 621/793.14

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР»

Анищик В.М.[1], Углов В.В.[1], Русальский Д.П.[1], Сыщенко А.Ф.[2]
[1]Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
[2] ЗАО «БМЦ», Минск, Республика Беларусь

В настоящее время широкое распространение получили различные методы нанесения покрытий, а наиболее важным для практического применения является такое свойство покрытий, как прочность их сцепления с матрицей – адгезия. В связи с этим необходимо производство приборов, которые могли бы контролирования это свойство. В настоящее время такое оборудование (скретч-тестеры) уже получило достаточно широкое применение в крупных исследовательских центрах ряда стран мира, однако в СНГ отсутствует производство подобного оборудования.

Принцип работы скретч-тестеров основан на методе склерометрии (испытание царапанием). Этот метод основан на контролируемом царапании алмазным индентором на выбранном участке образца. Наконечник индентора (обычно алмаз или карбид вольфрама) перемещается по поверхности образца с возрастающей нагрузкой. При определенной критической нагрузке покрытие начинает разрушаться. Критическая нагрузка регистрируются датчиком акустическим эмиссии, но также могут быть зарегистрирована при помощи оптического микроскопа по оставшейся на образце царапине. Также существует возможность фиксации момента отрыва покрытия по изменению силы трения, однако наилучший результат дает совмещение всех трех методов [1].

В лаборатории «Физика ионно- плазменной модификации твердых тел» Белорусского Государственного Университета и ЗАО «БМЦ» в рамках подпрограммы «Научно-учебное оборудование» ГНТП “Эталоны и научные приборы” был изготовлен скретч-тестер для изучения адгезионной прочности покрытий, представленный на рис. 1.

Установка состоит из следующих блоков и узлов:

– столик с держателем образца и датчиком акустической эмиссии;

– блок перемещения столика с датчиком перемещения и датчиком измерения силы трения;

– индентор;

– блок нагружения с датчиком измерения нагрузки;

– блок оптической регистрации с микроскопом и видеокамерой;

– блок управления, обработки и передачи данных на ПЭВМ.

Рисунок 1 – Скретч-тестер для изучения адгезионной прочности покрытий.

В прибор заложен следующий принцип работы. На столике держателя образца закрепляется исследуемый образец с покрытием и на его поверхность устанавливается индентор. По команде блока управления шаговый двигатель нагружения начинает по заданному алгоритму увеличивать давление на датчик силы и через него на индентор. Одновременно второй шаговый двигатель начинает с заданной скоростью перемещать столик держателя образца через второй датчик силы, который регистрирует возникающую силу трения. Также со столиком держателя образцов связан датчик перемещения. В процессе теста управляющий блок осуществляет прием данных от датчиков силы, датчика перемещения и от акустического датчика, прикрепленного к держателю образца. По окончанию теста существует возможность изучить царапину на покрытии при помощи микроскопа с видеокамерой.

Скретч-тестер обладает следующими основными характеристиками:

– нагружение индентора до нагрузки 200 Н с разрешением 5 мН;

– регистрация силы трения при царапании с разрешением 5 мН;

– измерение перемещения образца с разрешением 0,5 мкм;

– скорость царапания от 0.4 до 100 мм/мин;

– регистрация сигнала акустического датчика;

– анализ изображения царапины при помощи микроскопа с видеокамерой

Фотографии царапин, выполненных при помощи скретч-тестера на образцах с различными покрытиями представлены на рис. 2.

Рисунок 2 – Фотографии царапин, выполненных при помощи скретч-тестера

Для управления скретч-тестером при помощи ПЭВМ было разработано программное обеспечение (ПО). На рис. 3 представлена главная форма ПО.

Рисунок 3 – Главная форма ПО управления скретч-тестером

ПО прибора выполняет следующие основные функции:

– производит обмен данными и управление шаговыми двигателями перемещения образца и нагружения;

– осуществляет получение данных от датчиков силы, перемещения и акустического датчика;

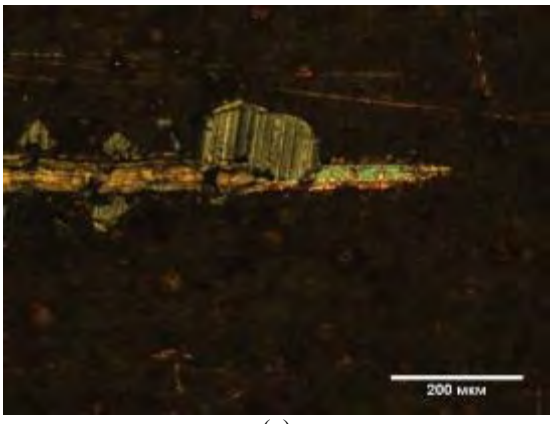
– отображает полученные данные на графике в реальном времени и сохраняет данные в файлах;

– осуществляет получение и отображение видеоизображения поверхности образца,

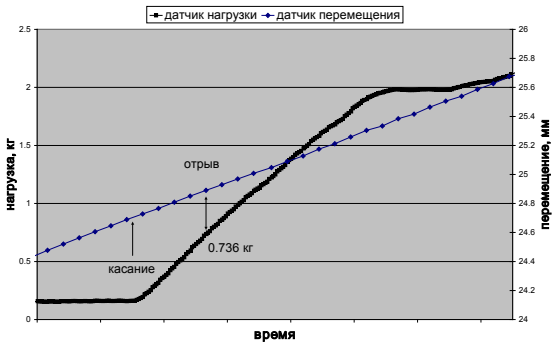
– позволяет проводить выбор режимов опыта, калибровку датчиков и отладку работы прибора.

На рис. 4 представлены результаты теста, проведенного скретч-тестером на образце ножа из твердого сплава с покрытием ZrN/Cu.

Установлено, что адгезионная прочность такой системы составляет около 7,2 Н.



(а)



(б)

(а) – фотография царапины, (б) – графики нагружения и перемещения.

Рисунок 4 – Результаты теста образца ножа из твердого сплава с покрытием ZrN/Cu 3 мкм

1. Valli, J. TiN coating adhesion studies using the scratch test method / J. Valli // Journal of Vacuum Science and Technology, A3. – 1985. – № 6. – P.2411-2414.

УДК 628.74

ПРИНЦИП РАБОТЫ МУЛЬТИКРИТЕРИАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА

Антошин А.А., Василевский А.Г., Олефир Г.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Пожары можно классифицировать по разным признакам. Принято говорить о двух признаках классификации: в зависимости от агрегатного состояния и природы веществ и материалов и в зависимости от условий массообмена (теплообмена) с окружающей средой.

Приведенная классификация пожаров позволяет правильно определить способы и приемы тушения пожаров, вид огнетушащего средства, правильно организовать боевые действия при тушении пожаров.

Таким образом, в приведенном примере выбор признаков классификации пожаров соответствует существующим средствам и тактике тушения пожара. Т.е. каждый класс пожара должен тушиться с применением определенных средств и тактики. Разработка технических средств и тактики тушения пожара ведется для каждого класса пожара по отдельности. В случае технических средств обнаружения пожара такого подхода нет. Пожарная сигнализация разрабатывается только с учетом значения измеряемых факторов пожара, но класс пожара во внимание не принимается.

Выбор технических средств обнаружения пожара должен осуществляться с учетом их способности обеспечить достижение требуемого уровня пожарной безопасности в условиях возникновения пожара определенного класса или классов.

Таким образом, для построения эффективной системы противопожарной защиты необходимо иметь классификацию пожаров по степени их пожарной опасности для объекта противопожарной защиты. В качестве признака классификации пожаров по степени их опасности можно использовать критическую продолжительность пожара. Это время, в течение которого достигается предельно допустимое значение опасного фактора пожара в установленном режиме его изменения.

Авторы работы [1] приводят классификацию в зависимости от величины пространства, на которое распространяется действие пожаров. Пожары они делят на следующие две категории: пожар ограниченный первичной пожарной нагрузкой, или распространившийся за пределы первичной пожарной нагрузки, но ограниченный помещением, в котором возник пожар и пожар, распространившийся за пределы помещения, в котором возник пожар.

В работе [2] авторы определили критерии, в соответствии с которыми можно классифицировать типы пожаров и условия, в которых не происходит немедленной гибели людей, а происходит лишь снижение их жизнеспособности в результате действия дыма. Они предложили использовать критерии по степени сублетального воздействия дыма на человека. Рассматривалась продолжительность воздействия дыма от 1/3 летального уровня до 1% от летального уровня.

Считается, что 1/3 летального уровня выводит из строя чувствительных к такому воздействию людей, а один процент от летального уровня - наиболее консервативное значение безвредного воздействия дыма.

Ущерб от теплового воздействия не принимался во внимание до тех пор, пока не накапливалось опасная концентрация токсичных веществ.

Более широко распространенной классификацией пожаров является классификация по скорости роста тепловыделения. В этом случае пожары делятся в зависимости от времени достижения тепловыделением величины 1 МВт. Высота пламени при таком пожаре составляет 7…10 м.

Обычно говорят о четырех категориях пожаров по значению характеристического времени, т.е. времени необходимого для достижения величины тепловыделения 1 МВт:

– сверхбыстрый <75с,
– быстрый от 75с до 150с,
– средний от 150с до 400с,
– медленный >400с.

Все рассмотренные выше типы пожаров сопровождаются пламенным горением. Пламенное горение является одним из восьми разновидностей процесса горения, которые вводит СТБ 11.0.02-95: пламенное горение, самостоятельное горение, взрыв, свечение, тление, обугливание, сжигание, пожар.

Исходя из статистических данных, наиболее часто на начальной стадии пожара, которая предшествует полному охвату помещения пламенем, происходит две разновидности процесса горения, пламенное горение и тление как разновидность беспламенного горения. Показано, в том числе и авторами [3], что к полному охвату помещения пламенем может привести только пламенной пожар. Время, за которое это может произойти зависит в первую очередь от характеристик помещения и тепловыделения.

По характеру воздействия на окружающую среду приведенные разновидности горения можно разделить на три разновидности. Пламенное горение – сопровождается большим по сравнению с беспламенным горением выделением тепла; электромагнитным излучением пламени в оптическом диапазоне; изменением давления в помещении. Взрыв – сопровождается быстрым выделением тепла и резким повышением давления газов, которое может привести к разрушениям. Беспламенное горение: тление – сопровождается выделением продуктов горения (дым и газы); свечение – сопровождается электромагнитным излучением и выделением газообразных продуктов горения (угарный газ); обугливание – сопровождается выделением дыма и газообразных продуктов горения.

Анализ экспериментальных результатов по изучению динамики изменения физических характеристик среды, таких как температура, оптическая плотность, удельная оптическая плотность среды, интенсивность рассеянного дымом оптического излучения позволил разработать алгоритм распознавания опасного пожара и пожара, развивающегося до опасных размеров в течение часа и более. При разработке алгоритма использованы значения требований к скорости изменения температуры газовоздушной среды под потолком помещения в условиях пожара [3]. Скорость изменения температуры изменялась от одного до тридцати градусов в минуту. При скорости роста температуры десять градусов в минуту полный охват помещения пламенем может произойти через тридцать минут развития пожара. При определении критического значения скорости роста интенсивности рассеянного излучения принималось во внимание значение скорости роста оптической плотности среды под потолком помещения в условиях тестовых пожаров ТП-1…ТП-5. Для проверки разработанного алгоритма работы мультикритериального пожарного извещателя разработан и изготовлен макет технического средства обнаружения пожара общий вид, которого показан на рисунке 1.

Разработанное техническое средство позволяет проверять алгоритмы обнаружения пожаров разного типа, пламенных и беспламенных (тление), которые учитывают при принятии решения о пожарной опасности значения нескольких факторов до того как они достигнут критических величин.

Рисунок 1 - Вид макета технического средства обнаружения пожара мультикритериального типа

Таким образом, в работе выполнен анализ характеристик пожаров разного типа и предложено классифицировать пожары, для обнаружения которых разрабатываются технические средства по степени их опасности и скорости достижения критических значений опасных факторов на за-

щищаемых объектах. Разработан и изготовлен макет технического средства проверки алгоритмов работы мультикритериальных пожарных извещателей.

1. Peacock, R.D. Characteristics of Fire Scenarios in Which Sublethal Effects of Smoke are Important. Fire Technology / R.D. Peacock, J.D. Averill, P.A. Reneke, and W.W. Jones – 40, 127–147, 2004.
2. J.R. Hall, Jr. “How Many People Are Exposed To Sublethal Fire Smoke?” Fire Technology, vol. 40, 2004, pp. 109–124.
3. СТБ 2218-2011 Система стандартов пожарной безопасности. Системы пожарной сигнализации. Извещатели пожарные тепловые. Общие технические требования. Методы контроля.

УДК 519.248:681.51

АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Артемьев В.М., Наумов А.О., Кохан Л.Л.
Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Одним из способов повышения точности измерений является комплексирование (совмещение) результатов измерений одних и тех же параметров от нескольких датчиков. Датчики могут быть построены на различных физических принципах, однако должны обеспечивать получение информации об одних и тех же измеряемых данных. Как правило, измерения осуществляются в условиях помех, что приводит к необходимости фильтрации измерений. Для получения наиболее точных результатов необходимо решать задачу оптимальной фильтрации комплексирования, важную для ряда технических систем, например навигации [1], управления подвижными объектами [2] и ряда других. Комплексирование может осуществляться посредством двух схем обработки: централизованной и децентрализованной. В первом случае производится объединение измеренных данных, а затем осуществляется их фильтрация. Во втором первоначально осуществляется фильтрация каждой из составляющих измерений, а затем результаты объединяются. Каждая из этих схем имеет свои преимущества и недостатки [3]. Классические методы комплексирования требуют априорного знания спектральных либо статистических характеристик воздействий, что сужает область их применения. Поэтому сохраняется необходимость разработки методов синтеза комплексных фильтров в условиях априорной статистической неопределенности характеристик воздействий.

Одним из подходов к решению такой задачи может быть использование рекуррентного метода наименьших квадратов (РМНК) [3], требующий минимального объема априорной информации в виде предположения о гладкости изменения измеряемого параметра [4], что соответствует физической природе технических систем. Под гладкостью понимается допустимость аппроксимации процесса изменения измеряемого параметра полиномиальной функцией на ограниченном интервале наблюдения. Предлагается метод синтеза структуры и параметров централизованного комплексного фильтра на основе РМНК для воздействий в виде случайных последовательностей при их неизвестных статистических характеристиках, но в предположении гладкости изменения огибающей измеряемого параметра.

Предположим, что имеются M датчиков, измеряющих одну и ту же случайную последовательность x_k, где $k = 0,1,2\ldots$ – дискретное время с периодом $T_0 = 1$. Скорость изменения этой величины $\vartheta_k = x_k - x_{k-1}$, а ускорение равно разности скоростей $\vartheta_k - \vartheta_{k-1}$. Совокупность входных сигналов датчиков можно представить в виде вектора $x_k \cdot \boldsymbol{1}$, где $\boldsymbol{1} = [\overbrace{1,1,\ldots,1}^{M}]^T$ есть единичный вектор размерности M. Характеристики линейных безинерционных датчиков и связи между ними задаются матрицей $\boldsymbol{H}$ размерности $M \times N$, где N – число выходов. Элементы матрицы $\boldsymbol{H}$ обозначим символами h_{ij} ($i = \overline{1,N}$, $j = \overline{1,M}$). Ошибки измерений полагаются аддитивным вектором шумов $\boldsymbol{v}_k = [v_1, v_2, \ldots, v_N]^T$, в результате чего вектор измерений $\boldsymbol{z}_k = [z_1, z_2, \ldots, z_N]^T$ имеет вид

$$\boldsymbol{z}_k = x_k \cdot \boldsymbol{H} \cdot \boldsymbol{1} + \boldsymbol{v}_k .$$

Результаты измерений обрабатываются комплексным фильтром, выходом которого будет оценка $\hat{x}_k$ значений входной последовательности.

Синтез линейного фильтра основан на введении квадратичного функционала потерь и его минимизации. Один из возможных вариантов функционала имеет следующий вид:

$$Q_k(x_k, \vartheta_k) = (1-\alpha)(\boldsymbol{z}_k - x_k \boldsymbol{H} \cdot \boldsymbol{1})^T \times$$

$$\times(\boldsymbol{z}_k - x_k \boldsymbol{H} \cdot \boldsymbol{1}) + \alpha\left[\vartheta_k^2 + (\vartheta_k - \vartheta_{k-1})^2\right];\ \ 0 \le \alpha \le 1.$$

Коэффициент регуляризации α задает степень сглаживания и имеет эмпирический харак-

тер [4]. Для нахождения оптимальных оценок $\hat{x}_k$ и $\hat{\vartheta}_k$ используются уравнения достаточных условий оптимальности $\partial Q_k\left(x_k,\vartheta_k\right)/\partial x_k = 0$ и $\partial Q_k\left(x_k,\vartheta_k\right)/\partial \vartheta_k = 0$ [3], решение которых приводит к следующему алгоритму комплексного фильтра:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + k_1\hat{\vartheta}_{k-1} + k_2\left(z_{0k} - h_0^2\hat{x}_{k-1}\right);$$

$$\hat{\vartheta}_k = \hat{x}_k - \hat{x}_{k-1}.$$

с обозначениями

$$h_0^2 = \boldsymbol{1}^T\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{H}\cdot\boldsymbol{1} = \sum_{i=1}^{N}\left(\sum_{j=1}^{M}h_{ij}\right)^2;$$

$$k_1 = \frac{\alpha}{2\alpha + (1-\alpha)h_0^2};$$

$$k_2 = \frac{(1-\alpha)}{2\alpha + (1-\alpha)h_0^2};$$

$$z_{0k} = \boldsymbol{1}^T\boldsymbol{H}^T\boldsymbol{z}_k = \sum_{i=1}^{N}z_{ik}\sum_{j=1}^{M}h_{ij}.$$

Структурная схема синтезированного фильтра приведена на рис. 1, где символом $-T_0$ обозначена операция задержки на период T_0.

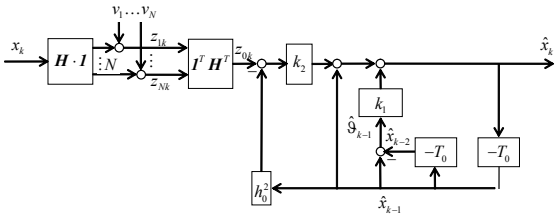


Рисунок 1 – Структурная схема комплексного фильтра

Проведена оценка точностных характеристик разработанного фильтра. Поскольку фильтр линейный, то ошибки от измеряемого параметра x_k и от шумов v_k могут рассматриваться по отдельности. Первоначально рассматривалась ошибка при постоянном входном воздействии $x_k = x_0$ и отсутствии шумов ($v_k = 0$). В этом случае ошибка определяется величиной ψ, являющейся относительной ошибкой по скорости изменения параметра. Зависимость этой ошибки от величины α при заданных значениях h_0^2 приведена на рис. 2.

Ошибку фильтрации за счет шумов $\boldsymbol{v}_k$ можно оценить по зависимости относительной величины дисперсии шума φ от коэффициента α. График этой зависимости приведен при фиксированных значениях h_0^2 приведен на рис. 3.

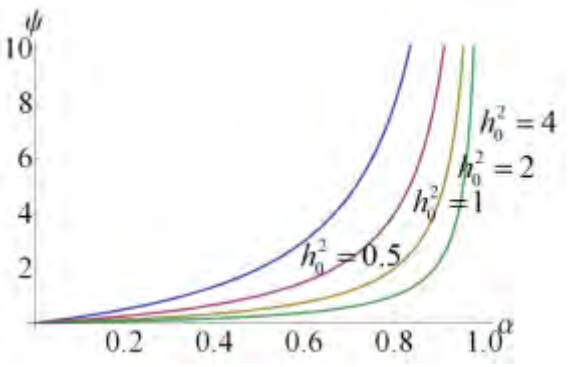


Рисунок 2 – Зависимость относительной ошибки по скорости ψ от коэффициента α

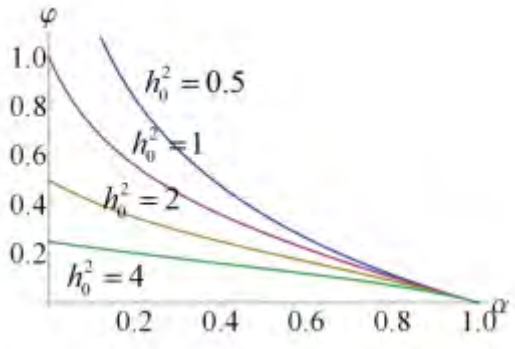


Рисунок 3 – Зависимость относительной величины дисперсии шума φ от коэффициента α

Графики на рис. 2 и 3 можно использовать для нахождения величины регуляризирующего коэффициента α. Для заданных значений h_0^2 можно выбирать величину регуляризирующего коэффициента α исходя из компромисса между допустимыми значениями ошибок по скорости ψ и дисперсии ошибок от шумов измерений φ.

1. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах.– М: Машиностроение, 1991.– 512 с.
2. Алешин Б.С. Ориентация и навигация подвижных объектов / Б.С. Алешин, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморский. – М.: Физматлит,2006. – 424 с.
3. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч.1. Введение в теорию оценивания. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор".– 2009.– 496 с.
4. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений.– СПб.: Политехника, 2001.– 230 с.

УДК 681.7.015.2+535.317

МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО БЛОКА ДЛЯ АЭРОДРОМНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ

Артюхина Н.К.[1], Костусев А.В.[1], Нарчук А.Е.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

Аэродромная метеостанция (АМС) предназначена для измерения основных метеорологических величин, необходимых для обеспечения взлетов и посадок воздушных судов, обработки результатов автоматических измерений и автоматического формирования сообщений. АМС обеспечивает автоматические измерения метеовеличин для обеспечения полетов с одной взлетно-посадочной полосы ВПП). В состав АМС входят: датчик метеорологической оптической дальности (МОД), датчик высоты облаков, датчик параметров ветра, датчик температуры и влажности, датчик атмосферного давления. В настоящее время для точного определения МОД в состав аэродромной метеостанции включается также датчик яркости фона [1]. Использование АМС позволяет значительно усовершенствовать всю технологию метеообеспечения на аэродроме по сравнению с применением автономных метеорологических приборов и устройств представления данных.

Остается актуальным обеспечение безопасности на ВПП, которое требует непрерывного контроля и регулирования ряда параметров. Измерение метеорологических параметров на аэродромах является одним из важнейших элементов системы метеообеспечения взлета и посадки воздушных судов. При отклонении этих параметров от оптимальных значений могут возникнуть чрезвычайные ситуации при контроле над полётами авиатехники.

Типовые схемы оснащения аэродромов метеорологическим оборудованием в значительной степени определяются требованиями к составу и размещению на аэродроме первичных измерительных преобразователей (датчиков) в определенных местах вблизи ВПП, а также дистанционных пультов и АМС, устанавливаемых в рабочих помещениях наблюдателей.

В настоящее время наблюдается общий подход к построению АМС для метеообеспечения авиации на аэродромах, базирующийся на рациональном выборе отечественных и зарубежных датчиков.

Основными направлениями работ в Беларуси и за рубежом является создание нового поколения «интеллектуальных» датчиков, входящих в конфигурацию аэродромных измерительно-информационных систем и обеспечивающих обработку исходной информации, повышение информационных и эксплуатационных характеристик приборов на базе новых технологий.

Общей тенденцией при разработке и внедрении на аэродромах АМС является расширение возможностей оптических систем (ОС) и круга решаемых задач, т. е. повышение уровня автоматизации метеобеспечения на аэродроме. В связи с этим, существует необходимость в разработке новых и модернизации существующих аэродромных метеостанций.

Измеритель яркости фона является одним из главных модулей, входящих в АМС. Он предназначен для измерения яркости фона вдоль ВВП. Измеряемые им величины яркости передаются на АМС и используются для вычисления дальности видимости вдоль ВВП.

Датчик имеет следующие технические характеристики: диапазон измерений яркости фона должен быть не менее от 10 до 20000 кд/м^2, дискретность показаний 1 кд/м^2. Пределы допускаемой относительной погрешности порядка ±15 %.

В настоящей работе приведены результаты исследования и расчета оптической системы (ОС) датчика в виде базовых модулей.

Проведена модернизация оптики датчика на основе одиночной линзы и фокусирующего конуса (фокона), представленного на рисунке 1.

Лучистый поток измеряемого фона проходит через защитное стекло блока оптического, собирается линзой объектива и направляется с помощью фокусирующего конуса (фокона) в виде равномерно освещенного пятна на фотодиод платы предварительного преобразования, где преобразуется в фототок.

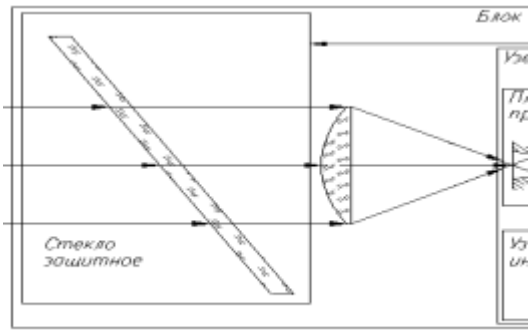


Рисунок 1 – Оптическая схема датчика яркости фона с однокомпонентным объективом и фокусирующим конусом

Недостатком оптической схемы является использование фокона в качестве собирающего элемента. Представилось возможным заменить

фокон собирающей линзой (положительным мениском), при этом уменьшились продольные габариты (рисунок 2). Линзы изготовлены из одинаковой марки стекла ТК21. Фокусное расстояние объектива f'=43,2 мм.

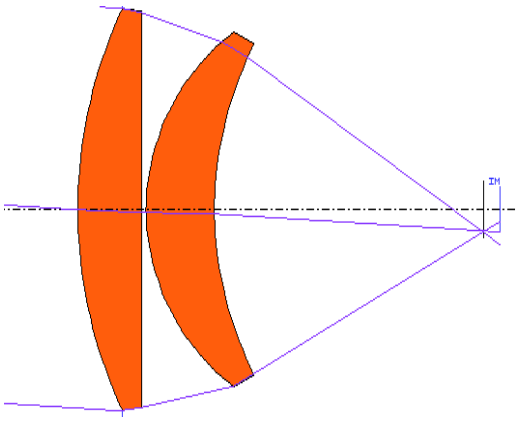


Рисунок 2 – Оптическая схема датчика яркости фона с двухкомпонентным объективом

Объектив предназначен для фокусировки излучения на фотодиод, поэтому были рассчитаны концентрации кружка рассеяния на площадке фотоприемника и точечные диаграммы (ТД) кружков рассеяния для осевого и внеосевого пучков (см. рисунок 3).

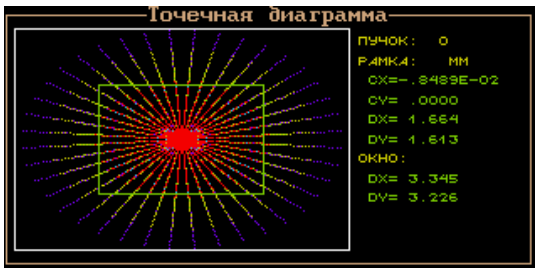


Рисунок 3 – Точечная диаграмма в осевом пучке

Спектральный рабочий интервал Δλ=0,420–0,750 мкм; размер приемной площадки фотодиода 5,8 × 5,8 мм.

Замена фокона одиночной линзой в виде положительного мениска удовлетворяет требованиям к качеству изображения и энергетическим характеристикам.

В ходе исследования был найден наилучший вариант ОС, обеспечивающий требуемую функцию концентрации энергии. Им явилась одиночная линза, имеющая асферическую поверхность (меридиональная кривая в виде гиперболы). Схема представлена на рисунке 4. Были намечены перспективы исследования

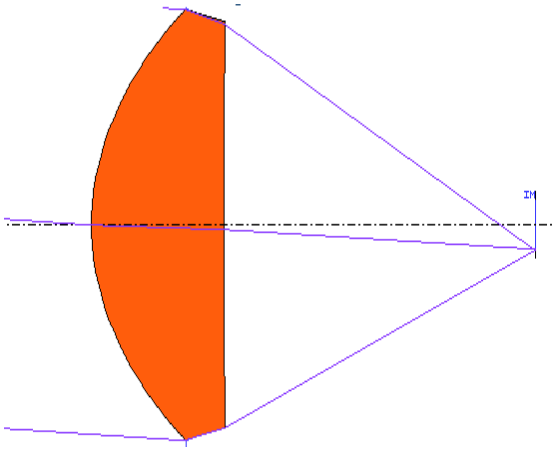


Рисунок 4 – Оптическая схема датчика яркости фона с асферической линзой

Датчик яркости фона может быть использован в национальных и международных аэропортах, на аэродромах местных авиалиний и посадочных площадках, на АМС гидрометеорологической службы. Измерение могут быть проведены в любое время суток при любых метеорологических условиях (осадки, туман, иней, роса, песчаная буря, гололед, ветер при скорости до 55 м/с) как в составе метеорологической системы, так и автономно.

1. Требования к составлению климатического описания аэродрома. Руководящий документ. РД52.27….-2007, 35 с.
2. Бочарников Н.В., Брылев Г.Б. Метеорологическое оборудование аэродромов. – Спб., «Ирам», 2003 г. – 592 с.

УДК 621.8-1/-9

БОРТОВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Беляев Б.И., Голубев Ю.В., Казак А.А., Пасенюк А.А., Сосенко В.А.
Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь

Система ориентации видеоспектральной аппаратуры «СОВА», предназначена для обеспечения установки на иллюминаторах служебного модуля (СМ) Российского сегмента (РС) Международной космической станции (МКС) и многоцелевого лабораторного модуля (МЛМ) МКС различной научной аппаратуры (НА) видео-, фото- и спектральной съемки, наведения НА и

съемки по заданной программе оператором или без участия оператора.

Система «СОВА» разработана и создана с целью автоматизации процесса измерений на МКС оптических характеристик подстилающих поверхностей при выполнении мониторинга земной поверхности в ходе проведения научно-прикладных исследований в космическом эксперименте «Ураган».

Система «СОВА» представляет собой платформу наведения (ПН), устанавливаемую на иллюминатор, на которой фиксируется съемочная аппаратура, и управляющий ноутбук – блок электроники (БЭ), расположенный рядом в 1,5 – 3 м от иллюминатора. Система «СОВА» должна обеспечивать возможность наведения полей зрения НА и отслеживания объекта по изображению на экране монитора БЭ.

ПН «СОВА» 228 устанавливается на иллюминатор диаметром 228 мм СМ РС МКС и обеспечивает возможность поворота установленной на ней съемочной аппаратуры на ± 180° вокруг оси визирования и наведения с углом отклонения не менее 20° в одной плоскости от оптической оси иллюминатора.

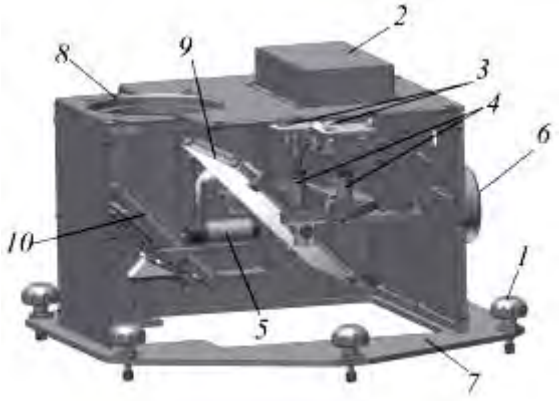
ПН «СОВА» 420 устанавливается на иллюминатор диаметром 420 мм как СМ РС МКС, так и МЛМ МКС и обеспечивает возможность наведения съемочной аппаратуры по двум взаимно перпендикулярным осям с углами отклонения не менее ± 30°.

В ходе проектирования были рассмотрены два варианта конструктивного построения ПН «СОВА».

Вариант ПН «СОВА-1» (рис. 1) выполнен по несколько необычной схеме – съемочная НА закрепляется на ПН неподвижно, а сканирование поверхности Земли осуществляется при помощи зеркала, установленного на подвесе, поворачивающемся при помощи электроприводов.

ПН «СОВА-1» представляет собой связанный с опорой *7* для закрепления на иллюминаторе светонепроницаемый со стороны отсека МКС жесткий кожух с посадочным кольцом *8* для установки НА. Внутри кожуха находятся два зеркала: подвижное *9*, закрепленное на карданном подвесе с возможностью поворота в двух плоскостях при помощи электроприводов (шаговые двигатели *3* с микрометрическими винтами *4*), и неподвижное *10* («зеркало 45°»), направляющее световой поток на приемную аппаратуру. Подвижное зеркало имеет возможность поворота по каждой из осей ± 15°, что приводит к сканированию поверхности Земли по углам ± 30°.

Основания для такого конструктивного решения, т.е. организации сканирования при помощи зеркал, следующие: 1) значительная масса и габариты некоторой НА приводят к возникновению значительных моментов инерции относительно осей поворота, пропорциональных произведению массы на квадрат расстояния; 2) высокие коэффициенты отражения современных оптических зеркал (90 – 98 %), причем, как для напыленных на стекле, так и для полированных металлических (например, из алюминиевых сплавов).



1 – винт крепления ПН к иллюминатору; *2* – крышка электродвигателей; *3* – электродвигатели; *4* – винты микрометрические; *5* – съемочная камера; *6* – энкодер; *7* – опора; *8* – посадочное кольцо для съемочной аппаратуры; *9* – зеркало подвижное; *10* – зеркало неподвижное.

Рисунок 1 – Вариант конструктивного построения ПН «СОВА-1»

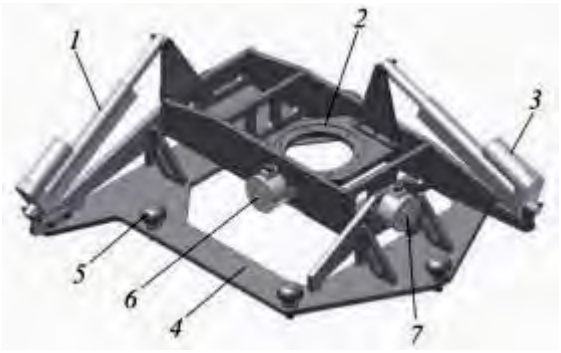
ПН «СОВА-1» дополнена системой визирования наблюдаемой цели. Для этого на кронштейне установлена веб-камера *5* соосно оси визирования. Изображение с этой веб-камеры выводится на экран БЭ в реальном времени. На экране также предусмотрен джойстик наведения. В таком варианте построения системы оператор может наводить и управлять НА, установленной за светозащитным экраном, не подходя к иллюминатору. Это актуально, например, для фотосъемки, поскольку сейчас оператор должен непосредственно через видоискатель фотоаппарата наводиться на объект.

Вариант ПН «СОВА-2» (рис. 2) построен по «классической» для нас схеме на основе ранее разработанных систем наведения с ручным управлением.

В качестве электроприводов, обеспечивающих поворот установленной аппаратуры, использованы линейные актуаторы.

Конструкция ПН «СОВА-2» представляет собой опору *4* для крепления к иллюминатору, на которой установлены расположенные в плоскости, параллельной окну иллюминатора, и закрепленные в подшипниках качения узлы подвеса, обеспечивающие поворот кольца *2* для съемочной аппаратуры по двум взаимно перпендику-

лярным осям. Поворот кольца *2* осуществляется через рычаги при помощи шарнирно установленных линейных актуаторов *1* и *3*. Угол поворота считывается при помощи энкодеров, установленных на одних осях с соответствующими рычагами. Ход штока актуатора и плечо рычага рассчитаны таким образом, чтобы обеспечить углы прокачки ± 30°.



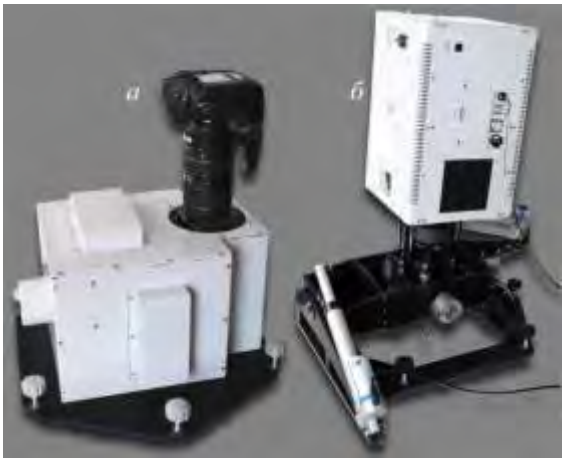
1, *3* – актуатор; *2* – посадочное кольцо для съемочной аппаратуры; *4* – опора; *5* – винт крепления ПН к иллюминатору; *6*, *7* – энкодер.

Рисунок 2 – Вариант конструктивного построения ПН «СОВА-2»

На рис. 3 представлены варианты установки НА на макеты ПН «СОВА».

БЭ предназначен для управление работой «СОВА» с помощью специального программного обеспечения (СПО) и обеспечивает включение/выключение аппаратуры, установленной на ПН, подачей команды по интерфейсу USB 2.0 по заданному временному алгоритму и отработку приводами углов наведения по командам оператора или по заранее установленной программе наведения.

БЭ включает в себя: планшетный компьютер (нетбук); контроллер управления системами наведения ПН; контроллер датчиков положения углов отклонения ПН; блок питания двигателей систем сканирования ПН; блок питания контроллеров; блок питания планшетного компьютера.



а – фотоаппарат Nikon 3D, установленный на макет ПН «СОВА-1»; *б* – система «ВСС», установленная на макет ПН «СОВА-2».

Рисунок 3 – Варианты установки НА на макеты ПН СОВА»

СПО обеспечивает функционирование, контроль и управление системой «СОВА» в составе СМ РС МКС. Программа контроля и управления «СОВА» выполняет расчет времени пролета над объектом (с учетом допустимых углов съемки) и параметров наведения на объект в реальном времени; учитывает нахождение станции над дневной/ночной стороной; обеспечивает: одновременную работу с несколькими объектами, ручной ввод географических координат объекта, автоматическое включение и наведение НА, сохранение/загрузку объектов на жесткий диск.

При запуске программы производится загрузка ранее сохраненных объектов (при необходимости добавляются новые или удаляются ранее сохраненные объекты съемки) и расчет времени пролета над каждым из объектов списка. При пролете над объектом запускается автоматический расчет углов для наведения ПН «СОВА» и далее запускается съемка объекта.

УДК 621.383.52

КРЕМНИЕВЫЙ ФОТОДИОД С ПРОФИЛИРОВАННЫМ N-I-P ПЕРЕХОДОМ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Блынский В.И.[1], Лемешевская А.М.,[2] Голуб Е.С.[2]
[1]ГНУ «Институт физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь.
[2]Филиал НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

В системах диагностики медицины используются сцинтилляционные устройства, преобразующие рентгеновское излучение в свет, интенсивность которого определяется величиной фототока фотодиода, расположенного за ним. Основные требования к фотодиоду, используемому в CsJ сцинтилляторах: высокая чувствительность в сине-зеленой области спектра, малые темновой ток и емкость [1].

Общим недостатком кремниевых фотодиодов, сформированных диффузией бора в кремний *n*-типа, является наличие в приповерхностном слое кремния под оксидом барьерного слоя, препятствующего попаданию в *p*-*n*-переход электронов, генерируемых светом в *p*-области кремния [2] . Фотодиоды на *n*-*p*-переходах, сформированные диффузией фосфора или мышьяка, более стабильны в коротковолновой области спектра [3,4]. Их чувствительность при л < 500 нм выше чувствительности фотодиодов, сформированных легированием бора в кремниевую подложку n- типа [5].

В работе рассматривается конструкция и спектральная характеристика кремниевого фотодиода с профилированным n-i-p переходом. Его особенностью является высокая чувствительность в видимой области спектра при относительно низкой чувствительности к инфракрасному (ИК) излучению.

Конструкция фотодиода представлена на рис.1 [6].

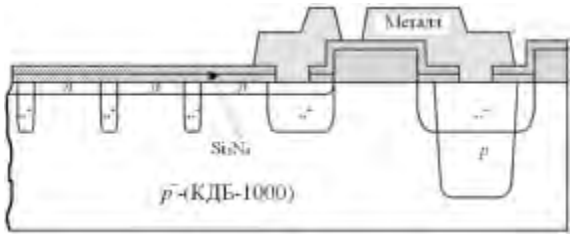


Рисунок 1 – Фрагмент конструкции фотодиода

Фотодиод изготовлен в высокоомной подложке *p*-типа с удельным сопротивлением 1 кОм · см. Область кремния с ‘электронной проводимостью состоит из двух совмещенных областей. Вначале имплантацией фосфора с последующим отжигом на поверхности кремния создавалась сетка из локальных областей кремния n^+-типа глубиной 1.2 мкм. Локальные n+ - области увеличивают собирание переходом электронов, генерируемых квантами коротковолнового света у поверхности кремния. Затем имплантацией мышьяка в поверхность кремния формируется сплошная приповерхностная область кремния *n*-типа. Ее размеры определяют размеры фоточувствительной области фотодиода - 5×5 мм

Вследствие того, что коэффициент сегрегации фосфора и мышьяка в кремнии > 1, глубина нефотоактивной зоны у поверхности кремния минимальна. Использование мышьяка обусловлено малым коэффициентом диффузии атомов мышьяка, что позволило сформировать мелкий переход глубиной 0,2 мкм. Близость ионных радиусов кремния и мышьяка позволила снизить механические напряжения в приповерхностной области кремния и таким образом уменьшить количество дефектов возникающих в процессе термообработок при формировании p-n перехода.

По периферии фоточувствительного перехода расположено охранное кольцо, совмещенное с омическим контактом к подложке.

Спектральная характеристика фотодиода представлена на рисунке 2.

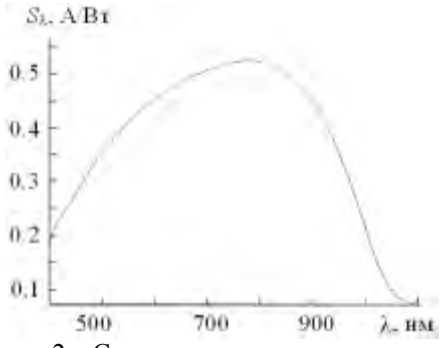


Рисунок 2 – Спектральная характеристика фотодиода

В отличие от традиционных p-i-n фотодиодов (для которых характерно положение максимума спектральной чувствительности в районе 900 нм) в фотодиоде рассматриваемой конструкции максимум спектральной чувствительности смещен в коротковолновую область спектра и расположен у границы видимой и инфракрасной ()ИК) области спектра.

Последнее обусловлено как малой диффузионной длиной электронов, генерируемых излучением в подложке, так и высокой чувствительностью в видимой области спектра. В спектральном диапазоне 530-700 нм квантовая эффективность превышает 90 %.

Глубина поглощения фиолетового света с длиной волны л = 400 нм в кремнии составляет менее 0.1 мкм [7]. Соответственно, он в основном поглощается в приповерхностном слое кремния, легированном мышьяком. Его дефектность, профиль распределения и влияние поверхностной рекомбинации на границе Si-SiO_2 обуславливают спектральную чувствительности фотодиода у коротковолновой границы видимого диапазона спектра

Глубина поглощения света с л = 560 нм в кремнии составляет 1.61 мкм [7], что незначительно превышает глубину легированных фосфором - областей. Можно полагать, что коротковолновая граница диапазона высокой квантовой эффективности (530 нм) соответствует свету, глубина поглощения которого не превышает глубины n^+- области, легированной фосфором, но больше глубины *n*-области, легированной мышьяком.

Зависимость емкости фотодиода от напряжения смещения представлена на рис.3. Из него видно, что емкость фотодиода в фотогальваническом режиме не превышает 75 пФ.

Темновой ток фотодиода не превышал 0.1 нА (при U = 10 мВ). Максимальная спектральная

чувствительность в коротковолновой области наблюдалась при имплантации As дозой 1 – 10 мкКл/см.^{2} Эксперимент показал, что, уменьшение дозы As < 1 мкКл/см^2 приводит к увеличению темнового тока

Увеличение дозы As > 10 мкКл/см^2 приводит к увеличению дефектности *n*-слоя, в котором поглощается значительная доля квантов коротковолнового света, и уменьшению чувст вительности.

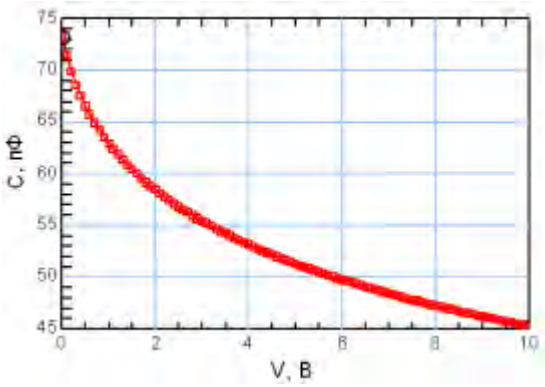


Рисунок 3 – Вольт-фарадная характеристика фотодиода, (f = 1 МГц)

Планарная структура фотодиода позволяет реализовать на его основе гибридные линейки и матрицы фотодиодов.

Высокая спектральная чувствительность для зеленого света, малый темновой ток и емкость при большой фоточувствительной площади фотодиода позволяют использовать его в CsI-сцинтилляционных детекторах ионизирующего излучения.

1. Tull C. R.,. Iwanczyk J.S., Patt B.E., Vilkelis G., Eremin V., Verbitskaya E., Strokan N., Ilyashenko I., Ivanov **A.**, Sidorov A., Egorov N., Golubkov S., Konkov K. New high sensitivity silicon photodetectors for medical imaging applications // **I**EEE Transactions on Nucliar Science. - 2003. - Vol.50, N4. Part 1, - P.1225-1228.
2. Добровольский Ю.Г., Рюхтин В.В., Шиманов-ский А.Б. Кремниевые m-i-p фотодиоды для ближней ультрафиолетовой области спектра // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2001 . - № 4-5. – С. 44-46.
3. Korde R.**, Geist J.** Quantum efficuency stability of silicon photodiodes // Applied Optics. - 1987. - Vol.26, N24. – P.5284-5288.
4. Canfield L.R., Kerner J., Korde R. Stability and quantum efficiency performance of silicon photodiode detectors in the far ultraviolet // Applied Optics. -1989. - Vol.28, N 18. - P. 3940 - 3943.
5. Thungstrom G., Dubaric E., Svensson B. G. Processing of silicon UV-photodetector // Nuclear Instruments and methods in Physics research. - 2001. – A460**, N 1 -** P. 165—184.
6. Патент РБ № 7483. Фотодиод / Блынский В И., Лемешевская А. М., Голуб Е. С., Цимбал В. С. - 2011.
7. Бузанова Л. В., Глиберман А. **Я.** Полупроводниковые фотоприемники, М., Энергия, 1976. – 64 с.

УДК 004.056:061.68

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СКРЕМБЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛЬНЫХ ОХРАННО-ПОЖАРНЫХ СИСТЕМ

Бокуть Л.В[1]., Деев Н.А.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В высотных зданиях, зданиях с массовым пребыванием людей возникающие пожары создают условия, представляющие опасность для их жизни. К зданиям с массовым пребыванием людей относятся следующие: театры, дворцы культуры, кинотеатры, клубы, концертные залы, учебные заведения, общежития, торговые учреждения, административные здания, больницы, выставки, музеи.

Важным элементом технических средств противопожарной защиты являются системы пожарной автоматики, оповещения и управления эвакуацией. Ранее в задачи систем пожарной сигнализации входило только обнаружение первичного очага возгорания, после чего предполагалась практически мгновенная эвакуация. Подходы к построению систем пожарной сигнализации меняются. Так, адресные системы пожарной сигнализации позволяют определить не только зону, но и точный адрес сработавшего пожарного извещателя. К недостаткам адресных систем следует отнести отсутствие контроля работоспособности пожарного извещателя.

Адресные системы пожарной сигнализации, использующие аналоговые пожарные извещатели, способны обеспечить контроль за наличием опасных факторов пожара на путях эвакуации, анализ состояния объекта и оперативной выдачи информации о пожаре или о наличии опасных факторов пожара. Аналоговые пожарные извещатели информируют оператора о значениях контролируемых факторов пожара не только до момента формирования сигнала «пожар», но и после этого. Наличие совокупности результатов

измерений позволяет интегрировать одиночные выбросы или идентифицировать их как недостоверные, что существенно повышает помехоустойчивость адресно-аналоговых систем.

Обмен данными между различными элементами средств охранно-пожарной сигнализации в последнее время все чаще осуществляется с использованием радиоканала, так как в обслуживании радиоканальные системы дешевле, чем проводные.

В настоящее время на белорусский рынок внедряется радиоканальная система пожарной сигнализации и оповещения «Стрелец». Важнейшими техническими элементами этой системы являются микросотовая топология, алгоритмы борьбы с помехами, двусторонний протокол обмена данными между всеми устройствами, входящими в ее состав.

Беспроводные адресно-аналоговые системы с двусторонним протоколом обмена по надежности и живучести превосходят проводные системы. Основными особенностями функционирования таких систем являются следующие:

- воздействие на систему непреднамеренных электромагнитных помех, что приводит к ложным срабатываниям;

- среда передачи данных является открытым каналом и доступна для сторонних наблюдателей, которые могут воспользоваться ею для несанкционированного доступа.

В нормативных требованиях указано, что достоверность передачи информации по радиолиниям связи должна быть обеспечена техническими решениями, определяемыми производителями систем. В качестве данных технических решений могут быть предусмотрены возможности перехода на резервные частотные каналы, использование специальных протоколов обмена и иные способы повышения достоверности и надежности системы связи. Чем больше использовано способов повышения достоверности и надежности, тем больше она соответствует основному принципу Технического регламента – максимальное повышение живучести и надежности беспроводных охранно-пожарных систем.

Предлагается повышение помехозащищенности передаваемой информации на основе скремблирования частотно - модулированного сигнала произведением двоичных последовательностей, одна из которых – псевдослучайная с известным законом формирования, другая - случайная, формируемая с помощью источника физического шума и компаратора. На рис.1 приведена структурная схема формирования и обработки скремблированного ЧМ – сигнала псевдослучайной и шумовой последовательностями, где приняты следующие обозначения: ГПСП – генератор псевдослучайной последовательности, ПС – перемножитель сигналов, ГШ генератор гауссовского шума, ИС- источник сообщения, ЧМ - частотный модулятор, + - сумматор сигналов и шума, БС – блок синхронизации, ПФ – полосовой фильтр, КВ – квадратор, ЧД – частотный детектор.

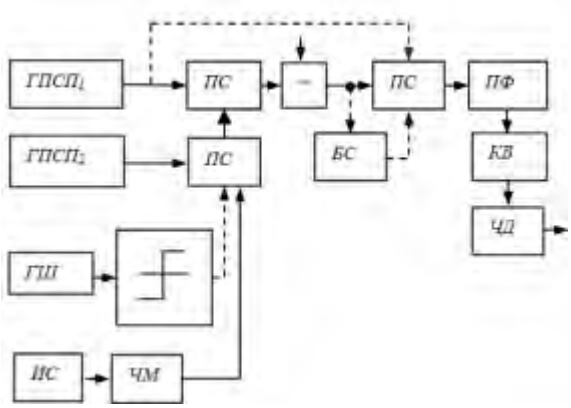


Рисунок 1 – Моделирование маскирования информации, структурная схема формирования и обработки скремблированного сигнала

При обработке скремблированного частотно – модулированного сигнала на вход приемника поступает смесь сигнала и помехи. Задачей приемника является выделение первичного сигнала с минимальной ошибкой. Показателем количественной оценки качества скремблирования и дескремблирования речевого сигнала предлагается использовать «обобщенный выигрыш» в помехоустойчивости, зависящий от отношения мощности сигнала к мощности шума на выходе приемника и ширины спектра скремблированного частотно - модулированного сигнала.

Соотношение мощности скремблированного частотно - модулированного сигнала *S(t)* и мощности шума на входе приемника, в полосе частот $\Delta f = \omega_0 \pm \frac{2\pi}{\tau_э}$ равно $q_{вх} = P_c/P_ш << 1$, где Δf – ширина спектра скремблированного частотно – модулированного сигнала; ω_0 - известная частота высокочастотного несущего сигнала; $\tau_Э$ - длительность элемента ПСП.

Корреляционная обработка скремблированного частотно - модулированного сигнала включает следующие этапы:

1. Перемножение *r(t)* на синхронизированную ПСП *g(t-*τ*)*. Степень защищенности в данном случае определяется количеством *N* элементов в периоде ПСП. За счет этого перемножения спектр скремблированного сигнала «сворачивается» до более узкой полосы $\Delta f_1 = 1/\tau_{кор}$, чем исходная полоса $\Delta f(ПСП)$ $\Delta f = 1/\tau_э$, определяемой случайным процессом *X(t)* и полосой пропускания $\Delta f_{пф}$ полосового фильтра

(ПФ), включенного в цепь перемножителя сигналов (ПС), и изображенных на рисунке 1, $\tau_{кор}$ - время корреляции процесса *X(t)*. Соотношение мощности сигнала к мощности помехи на выходе полосового фильтра (ПФ) будет определяться соотношением:

$$q_1 = q_{вх} \cdot \frac{\Delta f}{\Delta f_1},$$

так как Δf_1 много меньше Δf, то количественно это соотношение будет больше единицы.

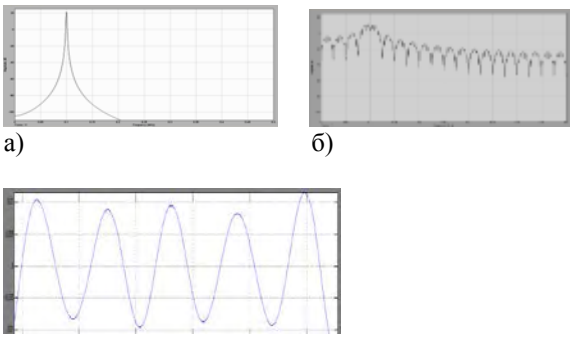
2. Возведение в квадрат q_1 осуществляется в перемножителе сигналов (ПС). В результате перемножения получаем

$$q_2 = \frac{q_1^2}{1+2q_1} \cdot \frac{\Delta f_1}{\Delta f_{пф}} \approx \frac{1}{2} q_1 \cdot \frac{\Delta f_1}{\Delta f_{пф}},$$

где $\Delta f_{пф}$ - полоса пропускания полосового фильтра равна полосе пропускания узкополосного частотно - модулированного сигнала, но меньше чем полоса спектра свертки Δf_1. Учитывая приближения, получим на входе частотного детектора (ЧД) смесь сигнала и помехи с соотношением (рисунок 1)

$$q_2 \approx \frac{1}{2} q_{вх} \cdot \frac{\Delta f}{\Delta f_{чм}} >> 1.$$

За счет корреляции полоса спектра скремблированного сигнала становится равной полосе спектра частотно – модулированного сигнала, а соотношение сигнал/шум на выходе приемника больше единицы. Результат компьютерного моделирования разработанных алгоритмов, как видно из рисунков 2 (а,б,в), подтверждает отсутствие регулярности спектральных составляющих в скремблированном частотно - модулированном сигнале, а форма дескремблированного сигнала подтверждает качественное выделение первичного сигнала.



а) б)

в)

Рисунок 2 – Результат компьютерного моделирования: а) спектр частотно-модулированного сигнала; б) спектр скремблированного сигнала; в) дескремблированный сигнал

УДК 681.3

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ МОБИЛЬНОЙ ВЕРСИИ КОМПЛЕКСА БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ “БИОСПАС”

Борисенко М.В.
Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь

Введение

Несмотря на неоспоримые успехи кардиологии, сердечно-сосудистые заболевания во многих случаях характеризуются бессимптомным развитием, внезапными проявлениями и значительным количеством доклинических летальных исходов. Актуальна разработка технических средств в виде автоматизированных диагностических приборов и устройств для определения состояния системы кровообращения, пригодных для массового использования в целях своевременного выявления предпатологических состояний [1, 2].

Опыт экспериментальных и клинических исследований свидетельствует о высокой информативности данных о гемодинамике и механических свойствах сосудов для ранней диагностики кардиопатологий и функциональных отклонений. В мировой практике большое внимание уделяется методам и техническим решениям получения расширенного списка параметров для определения качественных характеристик состояния сосудистой системы. Одно из направлений – усовершенствование зарекомендовавших себя инструментальных методов, таких как тонометрия, появление новых способов тонометрии. Учитывая современные тенденции, сформировалась потребность в специализированных приборах и программно-аппаратных комплексах, обеспечивающих, помимо результатов традиционной тонометрии, их расширенный биомеханический анализ и интерпретацию [10].

Аппаратная реализация измерительного модуля комплекса биомеханической диагностики

Рассматривается решение проблемы обеспечения качества получения и обработки первичных данных пульсового сигнала в программно аппаратном комплексе “БИОСПАС”. Комплекс разработан на основе модифицированной компьютерной программы “БИОДИС” [6] и

программно-аппаратного комплекса “СПАС” [7–10].

Опыт апробации СПАС показал, что существует возможность дальнейшего развития комплекса. Для отладки методов анализа пульсовой волны требуется производить достаточно большое число замеров, что в данном случае создает определенные трудности ввиду низкой мобильности устройства.

Для решения данной задачи требуется разработка прибора для снятия биометрических характеристик, обладающего высокой точностью, относительно небольшими размерами, низким энергопотреблением, а также возможностью производить автономные замеры с дальнейшей передачей данных на персональный компьютер.

Целью настоящей публикации является изложение варианта аппаратно-программной реализации системы для оптимизации программных методов комплекса “БИОСПАС”.

Предлагаемая техническая реализация модуля получения и обработки первичных данных пульсового сигнала в качестве самостоятельной приборной единицы выполнена в соответствии с функциональной схемой, приведенной на рисунке 1.

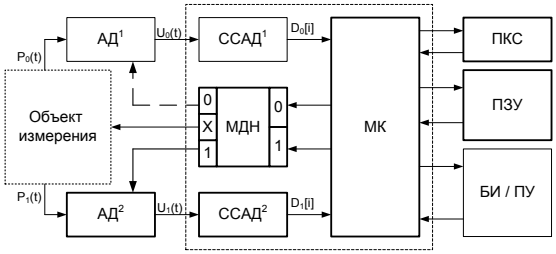


Рисунок 1 – Функциональная схема прибора

Аппаратная часть устройства включает в себя следующие структурные элементы:

– блоки аналоговых датчиков давления $АД^1$ – $АД^2$;

– блоки схем сопряжения с микроконтроллерным ядром $ССАД^1$ и $ССАД^2$;

– модуль динамической настройки МДН для регулировки режима работы датчиков $АД^1$ и $АД^2$;

– блок последовательного канала связи ПКС для взаимодействия с внешними устройствами;

– совмещенный блок индикации/пульта управления БИ/ПУ;

– микроконтроллерный модуль МК;

– модуль постоянного запоминающего устройства ПЗУ.

Программная часть устройства включает в себя программу работы микроконтроллера, драйвер работы с последовательным каналом связи и программу конверсии данных.

Характерной особенностью системы является внесение в измерительный контур прецизионного датчика $АД^2$, позволяющего значительно увеличить точность измерения параметров пульсовых волн. Схема $ССАД^2$ преобразует информацию с датчика в массив данных $D_1[i]$, представляющий собой основной ряд значений, по которому будет производиться дальнейший анализ.

Включение в структуру прибора модуля динамической настройки позволяет реконфигурировать схему включения датчика в зависимости от измеряемого диапазона. Это связано с тем, что ключевые параметры пульсовых волн (при использовании данного инструментального метода) определяются исходя из обратной реакции измеряемого объекта на внешние воздействия, таким образом, сам процесс замера разделяется на две фазы: фаза создания стрессовых воздействий на объект и фаза считывания обратной реакции объекта. В процессе проведения замеров с помощью комплекса [11] было установлено, что промежуток с результативными данными, как правило, не превышает 65% от общего диапазона измерений, соответственно сужение диапазона измерения позволит повысить точность полученных данных.

Изменение параметров динамической настройки аналогового датчика $АД^1$ минимально, так как в его задачу входит получение экспериментальных данных на всем диапазоне измерения. Массив данных $D_0[i]$ считывается микроконтроллером, формируя управляющие воздействия для управления модулем динамической настройки $АД^2$ и контроля давления в окклюзионной манжете.

В процессе измерения имеется возможность записи данных в ПЗУ устройства, что позволит производить замеры без применения дополнительного оборудования. Впоследствии данные D_0 и D_1 передаются по последовательному каналу связи на внешнее устройство с возможностью дальнейшей обработки с использованием программных средств.

Выводы

Предложен вариант реализации аппаратно-программной системы модуля получения и обработки первичных данных пульсового сигнала для оптимизации программных методов комплекса “БИОСПАС”.

Описываемая реализация обладает более высокой точностью по сравнению с ранее использованными устройствами. Предложен метод, позволяющий увеличить разрешающую способность прибора. Также в структуру внесен модуль памяти, что делает возможным проведение замеров без подключения к персональному компьютеру. Таким образом, решается проблема автономности и мобильности разрабатываемого устройства. Увеличение объема измеренных данных позволит в полной

мере реализовать методы обработки параметров пульсовых сигналов, повысит достоверность их статистических характеристик.

1. Сидоренко, Г.И. Новые горизонты профилактики сердечно-сосудистых заболеваний (дискуссионные аспекты донозологических вмешательств) / Г.И. Сидоренко, А.В. Фролов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// do.gendocs.ru/ docs/index-297940.html – Дата доступа: 12.06.2014.
2. Фролов, С.В. Современные особенности развития медицинских информационных систем / С.В. Фролов, С.Н. Маковеев, С.В. Семенова // Врач и информационные технологии. – 2010. – № 2. – С. 4–9.
3. Цупко, И.В. Способ определения артериального давления, параметров гемодинамики и состояния сосудистой стенки с использованием осциллометрии высокого разрешения // Патент RU 2360596. – 2006. – С. 1–12.
4. Парашин, В.Б. Технико-метрологические аспекты измерения артериального давления осциллометрическим методом / В.Б. Парашин, М.Н. Симоненко // Медицинская техника.– 2010. – № 1. – С. 22–26.
5. Babbs, C.F. Oscillometric Measurement of Systolic and Diastolic Blood Pressures Validated in a Physiologic Mathematical Model // BioMedical Engineering OnLine. – 2012. – http://www.biomedical-engineering-online.com/content/11/1/56.
6. Шилько, С.В. Математическая модель и программная реализация мониторинга сердечно-сосудистой системы / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Проблемы физики, математики и техники. – ГГУ. – 2011. №3. – С.104-112.
7. Шилько, С.В. Программно-аппаратный комплекс для мониторинга сердечно-сосудистой системы на основе тонометрии / С.В. Шилько, В.В. Шевцов / Приборы и методы измерений. – 2011. – № 2(3). – С. 53–60.
8. Шевцов, В.В. Аппаратная реализация биомеханической диагностики сердечно-сосудистой системы по данным осциллометрии / В.В. Шевцов, С.В. Шилько, М.В. Борисенко, Ю.Г. Кузьминский // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 2(5). – С. 51–55.
9. Шилько, С.В. Диагностика сердца и сосудов: биомеханический анализ гемодинамики / С.В. Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Наука и инновации. – 2013. – № 2. – С. 15–17.
10. Шилько, С.В. Специализированное программно-аппаратное средство «СПАС»: опыт биомеханического анализа гемодинамики по данным осциллометрии / С.В.Шилько, Ю.Г. Кузьминский, М.В. Борисенко // Приборостроение – 2013 : матер. Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 20-22 ноября 2013 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – 2013. – С. 130-132.

УДК 681.5:531.7:004.4:004.9

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Бранцевич П.Ю., Костюк С.Ф., Базылев Е.Н., Базаревский В.Э.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Внедрение разнообразных средств компьютерной техники на предприятиях промышленности и энергетики предполагает возможность автоматизации решения ряда задач, связанных с принятием решений по оценке технического состояния производственных объектов, прогнозированию его изменения, диагностике, планированию сроков и объемов ремонтных работ.

Состояние производственного оборудования характеризуется многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те параметры процессов, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их измерение. В этом плане, для механизмов с вращательным движением, такими являются параметры вибрации [1-4].

Научно-исследовательская лаборатория вибродиагностических систем БГУИР более двадцати лет занимается разработкой систем, комплексов, приборов, программного обеспечения и методик их применения в данной области.

Накопленный опыт в проведении вибрационного мониторинга роторных агрегатов позволил создать системы автоматической защиты по вибрационным параметрам серии «Лукомль». При анализе вибрационного состояния защищаемого объекта учитываются факторы низкочастотной вибрации, высокочастотной вибрации, оборотной составляющей вибрации, вектора оборотной составляющей, которые определяются в разных точках контроля. Значения конкретных уровней срабатывания защиты устанавливаются индивидуально для конкретного агрегата. В настоящее время эксплуатируется пять таких систем автоматической защиты по вибрации [5].

Однако решение задач вибрационной диагностики до настоящего времени остается весьма проблематичным, так как вывод о техническом состоянии объекта только на основе количественных значений вибрационных параметров во многих случаях достаточно неоднозначен. Для более достоверных заключений представляется целесообразным проведение анализа динамики изменения непрерывных вибрационных сигналов, отражающих техническое состояния объекта на достаточно длительном временном интервале (минуты, часы и даже сутки). Для регистрации таких вибрационных сигналов используется измерительно-вычислительный комплекс «Тембр» на базе мобильного компьютера, модуля АЦП с USB интерфейсом, виброизмерительных каналов с первичными пьезоэлектрическими преобразователями и проблемно-ориентированного програм-много обеспечения [6]. При решении задач вибродиагностики применяются разнообразные способы исследования вибрационных сигналов [7-8].

Расширение пропускной способности каналов передачи данных и развитие компьютерных интернет-технологий позволяют создавать системы поддержки принятия решений по оценке технического состояния сложных механизмов роторного типа на основе распределенного сбора больших объемов виброметрических данных и программных средств как традиционного, так и браузерного исполнения, доступ к которым производится через интеренет-ресурс [9].

Разработан прототип подобной системы. Для регистрации длительных реализаций вибрационных сигналов применяется комплекс «Тембр-М» [6]. Обработка длинных реализаций вибрационных осуществляется программным средством, написанном на языке Java, которое может выполняться в браузерах, что позволяет использовать для обработки мобильные платформы и выполнять достаточно сложные цифровые преобразования и анализ данных в любом месте, где имеется мобильная связь [11].

Для обработки полученных сигналов применяется вейвлет-анализ, моделирование переходных процессов, полосовой спектральный анализ, усреднение во временной области, анализ формы, порядковый анализ с произвольным коэффициентом кратности, вычисляются коэффициент асимметрии и островершинности, S-дискриминанты.

Проведение синхронной обработки вибрационных сигналов и сигнала от датчика фазовой метки, например, на этапе выбега, когда частота вращения вала изменяется от номинальной до нуля, предоставляет возможность вычислить амплитудно и фазочастотную характеристики (АЧХ и ФЧХ) контролируемого объекта и выявить все собственные и местные резонансы конструкции в точке контроля.

1. Ширман, А.Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А.Б. Соловьев. – Москва, 1996. – 276 с.
2. Bently, D.E. Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics/ D.E. Bently, C.N. Hatch, B. Grissom. – Canada.: Bently pressurized bearing company, 2002. – 726 pp.
3. Гольдин, А.С. Вибрация роторных машин / А.С. Гольдин. М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.
4. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 169 с.
5. Бранцевич, П.Ю. ИВК «Лукомль -2001» для вибрационного контроля /П.Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. −2008. − № 12 (69), −с. 19−21.
6. Бранцевич, П.Ю. Компьютерные вибродиагностические системы / П.Ю. Бранцевич, С.Ф. Костюк, Е.Н. Базылев, В.Э. Базаревский // Междунар. науч.-техн. конф., приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР: материалы конф. – Минск : БГУИР, 2014. – Ч. 1, – с. 430–431 .
7. Бранцевич, П. Ю. Способ анализа вибрационных сигналов при исследовании технического состояния механизмов / П.Ю. Бранцевич // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012) : сб. ст. II междунар. заочной науч.-техн. конф. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2012. – Ч. 1, –с. 244 – 250.
8. Бранцевич, П. Ю. Определение параметров нестационарных вибрационных сигналов / П.Ю. Бранцевич // Алгоритмические и программные средства в информационных технологиях, радиоэлектронике и телекоммуникациях: сб. статей I междунар. заочной науч.-техн. конф. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2013. – Ч. 2, – с. 236 – 243.
9. Базаревский, В.Э. Архитектура мобильного веб-приложения для обработки сигнальных данных / В.Э. Базаревский // Доклады БГУИР. – 2013. – № 1 (71). – с.51-57.

УДК 616-073.65

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЫЛИ И САЖИ НА СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И НАГРЕВ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЕЙ

Бумай Ю.А.[1], Доманевский Д.С.[1], Куклицкая А.Г.[1], Трофимов Ю.В.[2], Цвирко В.И.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси"
Минск, Республика Беларусь

Необходимость учитывать новые научные открытия в области физиологии зрения при разработке современных светильников для освещения рабочих мест, бытовых нужд и уличного освещения, требует проведения экспериментальных исследований влияния различных факторов не только на световой поток и долговечность, но и на спектральный состав испускаемого светодиодными модулями излучения [1].

В процессе эксплуатации светодиодного излучателя в производственных помещениях, на внешней поверхности его рассеивателя образуется слой мелкодисперсных твердых частиц пыли и сажи, который помимо снижения интенсивности излучения может влиять и на его спектральный состав [2].

С целью изучения влияния поверхностного слоя загрязнений на спектральный состав излучения были проведены модельные эксперименты на отдельных светоизлучающих диодах (СИД), входящих в состав светодиодных излучателей.

В модельных экспериментах исследовалась зависимость спектрального состава излучения СИД MX6 Cree (cool white) белого свечения («холодный белый») фирмы Philips от наличия слоя мелкодисперсных частиц на поверхности его линзы. Для имитации поверхностного слоя мелкодисперсных твердых частиц производственной пыли и сажи, на поверхность линзы СИД наносился слой сажи, полученной при сжигании камфары.

Для регистрации спектров излучения и цветовых диаграмм использовался комплекс аппаратуры фирмы Instrument Systems, включающий оптический сканирующий спектрометр Spectro-320, фотометрический шар, терморегулирующий столик для подключения светодиодов LED-850.

Осуществлялась регистрация спектров излучения СИД и цветовых диаграмм для СИД с чистой поверхностью линзы, затем на излучающую поверхность наносился слой камфарной сажи и опять регистрировались спектры излучения и цветовые диаграммы при тех же значениях тока питания.

На рисунке 1 приведены нормированные на максимум спектры излучения светодиода MX6 Cree (cool white) белого свечения с чистой излучающей поверхностью и после нанесения на поверхность линзы камфорной сажи.

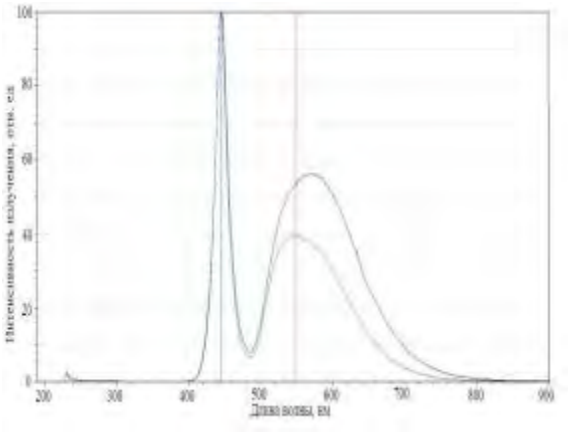


Рисунок 1 - Спектры излучения светодиода MX6 Cree (Cool white) с чистой поверхностью линзы (нижняя кривая) и с нанесенной на поверхность линзы камфарной сажей (верхняя кривая)

На обоих приведенных спектрах присутствуют полосы в сине-фиолетовой и желто-зеленой областях спектра. В спектре излучения СИД с нанесенной на поверхность рассеивателя камфорной сажей наблюдается перераспределение энергии по сравнению со спектром СИД с чистой поверхностью.

В присутствии поверхностного слоя мелкодисперсных частиц относительная интенсивность желто-зеленой полосы заметно возрастает, полоса расширяется за счет сдвига длинноволновой границы в красную область. Положение коротковолновой границы полосы не меняется. Максимум желто-зеленой полосы смещается в длинноволновую область - с 550 нм в исходном спектре до 580 нм после нанесения сажи. Изменения формы и смещения максимума сине-фиолетовой полосы (448 нм) не отмечается.

Перераспределение энергии в спектре СИД, поверхность которого покрыта слоем мелкодисперсных частиц, приводит к изменению цветовых координат СИД на цветовой диаграмме, которая приведена на рисунке 2.

На приведенной диаграмме маркерами отмечается смещение цветовых координат излучения светодиода из сине-голубой области в желто-зеленую. То есть, за счет перераспределения энергии между излучение СИД MX6 Cree (cool white) становится более «теплым».

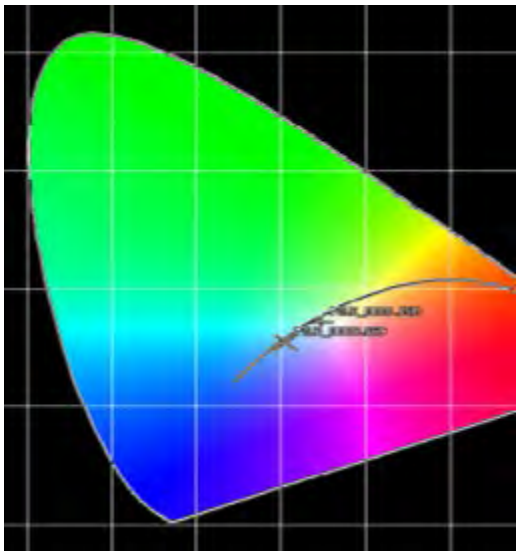


Рисунок 2 – Цветовая диаграмма СИД MX6 Cree (cool white)

С использованием термографа ИРТИС-2000 (РФ) проведены экспериментальные исследования динамики поверхностных тепловых полей макетного образца светодиодного излучателя, разработанного в Центре светодиодных и оптических технологий (ЦСОТ) НАН Беларуси в нормальных рабочих условиях и в условиях, когда на излучающую поверхность нанесен тонкий слой мелкодисперсных частиц (камфарной сажи).

Макетный светодиодный модуль, разработанный в ЦСОТ, представляет собой многокристальный светодиод - 58 элементов, образующих шестигранник. Излучение светодиодного модуля имеет сложный спектр, с широкими полосами в фиолетовой и желто-зеленой областях видимого диапазона - то есть, спектральный состав излучения аналогичен спектральному составу СИД MX6 Cree (cool white).

На рисунках 3 и 4 представлены термограммы фронтальной поверхности светодиодного модуля, зарегистрированные через 20 минут после включения с чистой излучающей поверхностью и с нанесенной на излучающую поверхность камфарной сажей.

В присутствии поверхностного слоя мелкодисперсных частиц отмечается выраженный избыточный разогрев в проекции отдельных светодиодов, тогда как разогрева вне проекции практически не наблюдается.

Разность температур в проекции отдельного светодиода и вне этой проекции в случае чистой излучающей поверхности составляет приблизительно 3ºС, тогда как с нанесенной на поверхность камфорной сажей разность температур достигает 20ºС.

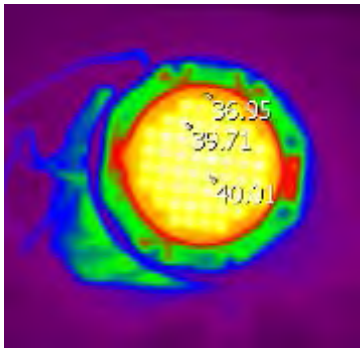


Рисунок 3 – Термограмма светодиодного модуля с чистой излучающей поверхностью

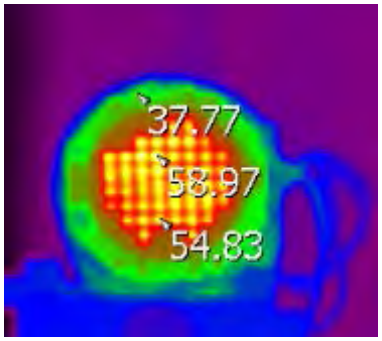


Рисунок 4 – Термограмма светодиодного модуля с нанесенной на излучающую поверхность камфарной сажей

Таким образом, экспериментально показано, что наличие пленки из мелкодисперсных твердых частиц на поверхности светодиодного излучателя приводит не только к существенному разогреву отдельных светодиодов в его составе, но и к смещению спектра его излучения в длинноволновую область.

1. Ноздрачев А.Д., Баженов Ю.И., Бараникова И.А., Батуев А.С. Начала физиологии: Учебник для вузов / Под ред. акад. А.Д.Ноздрачева. СПб.: Лань, 2001. 1088 с.
2. Доманевский Д.С., Куклицкая А.Г., Бумай Ю.А., Трофимов Ю.В., Шумак Д.В. Исследование особенностей ИК-эмиссии светодиодов с поверхностным слоем, имитирующем производственные загрязнения. В сб. «Приборостроение 2012», Минск, БНТУ, 2012. С. 271-272.

УДК 620.179.14/15

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБРАЗЦЕ СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Бусько В.Н., Власов Г.Г.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Большинство элементов металлических строительных конструкций (мостовых, крановых ферм, балок и др.) и множество деталей и изделий машиностроения (элементов подвески автомобилей, штанг, штоков и др.) подвергаются действию сил, вызывающих одновременно не один вид деформации (осевое растяжение или сжатие, изгиб, кручение), а два или более. Чаще всего подобного рода деформации от сложения продольных сил и пространственного изгиба могут вызываться совместными действиями на элемент конструкции продольных и поперечных сил.

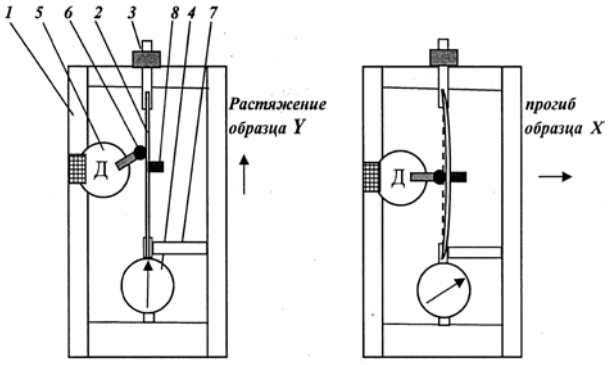
При экспериментальных исследованиях напряженного состояния и разработке методов и средств неразрушающего контроля (НК) металлоконструкций, независимо от используемого физического метода НК, невозможно обойтись без этапа, предусматривающего приближенное моделирование в эталонном образце сложно-напряженного состояния (СНС). Создание в образце такого рода напряжений сопряжено с определенными трудностями, связанными, в первую очередь, с практической реализацией моделирования напряжений, отсутствием малогабаритного и недорогого оборудования, сложностью расчета итоговых напряжений, а также недостаточной чувствительностью большинства используемых физических методов оценки напряжений.

Наиболее удобным и простым методом создания в образце СНС является сочетание (комбинация) метода растяжения образца с действием изгибных напряжений, основанном на поперечном изгибе закрепленного с обоих концов растягиваемого образца. Такой вид напряжений имеет место при продольно-поперечном действии нагрузок [1]. В качестве физического метода исследования полученного СНС данным способом в образце использовался магнитный метод эффекта Баркгаузена (МЭБ), измеряющий интенсивность магнитного шума (МШ) [2].

На рисунке представлена схема малогабаритной лабораторной установки для моделирования в плоском образце сложно-напряженного состояния, реализующая предлагаемый метод создания напряжений на основе совместного действия продольного растяжения и пространственного изгиба.

Установка состоит из испытуемого образца, жесткой рамочной каркасной конструкции (силовой рамы), изготовленной из стальных уголков, на одном из которых установлен реверсивный электродвигатель с расположенным на нем силовозбудителем, на другом – упор для фиксации нейтрального положения образца, который расположен между динамометром, измеряющем усилие и специальным фиксатором для создания в нем растягивающих напряжений, магнитошумового преобразователя и работает следующим образом.

Установленный в силовой раме 1 установки плоский образец 2 с отверстиями на обоих концах посредством втулок с одного конца закрепляется с помощью фиксатора положения 3, а с другого – крюка пружинного динамометра 4 типа ДПУ, предназначенного для измерения статических растягивающих усилий.



а) б)

а – при продольном растяжении; б – поперечном изгибе.
Лабораторная установка для моделирования в образце сложно-напряженного состояния

Для создания и регулирования в образце продольных растягивающих напряжений на верхнем конце фиксатора расположена гайка, вращая которую на резьбовой части фиксатора в образце образуются осевые продольные напряжения, величина которых рассчитывается исходя из создаваемого и измеряемого динамометром усилия (кГ) и поперечного сечения образца ($мм^2$). С целью создания в образце изгибающего момента в поперечном направлении на силовой раме дополнительно установлен электродвигатель 5, например, типа РД-09 или СД-54, на валу которого расположен стальной диск с установленным на нем с возможностью перемещения силовозбудителем 6 в виде подшипника качения. Частота вращения вала ***n*** (оборот./мин.)

и связанный с ним коэффициент редукции η электродвигателя, в зависимости от задачи исследований и амплитуды создаваемых изгибных напряжений, могут варьироваться в широких пределах: $n \approx 1, 5 \div 100$ и более, а $\eta \approx 1/100 \div 1/700$. Упор 7 предназначен для сохранения нейтрального положения нижней части образца при изгибе, а преобразователь Баркгаузена (ПБ) 8 – для регистрации величины магнитного шума в зависимости от уровня создаваемых напряжений. Конструкция ПБ позволяет устанавливать на образец, не снимая его каждый раз в процессе создания деформаций и измерения, и, таким образом, проводить регистрацию МШ не только в статическом, но и динамическом режиме [3]. Изменяя последовательно величину растягивающих (с помощью фиксатора 3 и регулирующей гайки) и изгибных (путем изменения положения силовозбудителя 6 на диске или меняя диаметр подшипника) напряжений, можно построить экспериментальные зависимости уровня магнитошумового сигнала от расчетного значения отдельных или результирующего напряжения при сложно-напряженном состоянии. При исследовании влияния числа циклов изгибных напряжений N находящегося под действием продольных напряжений образца на МШ строится и анализируется аналогичная зависимость, в результате можно найти $N_{крит}$, при котором образец разрушается.

Моделировать таким образом в образце СНС и оценивать, например, усталостную долговечность с помощью МЭБ, можно практически в любой точке поверхности образца, для чего необходимо переместить электродвигатель на боковой стойке силовой рамы в вертикальном положении и, соответственно, преобразователь Баркгаузена по образцу.

Предварительные испытания установки на образце размером 200 х 25 х 0,8 мм из стали Ст.3. показали работоспособность и эффективность при создании, исследовании и НК сложного напряженного состояния с помощью метода эффекта Баркгаузена. Для исследуемого образца рассчитанные в соответствии с формулами сопромата максимальные растягивающие и изгибные напряжения в отдельности составили ≈ +200 МПа.

Создаваемое в образце вышеуказанной методикой сложное напряженное состояние, моделирующее совместное действие линейного растяжения с пространственным изгибом и рассчитанное на основе классической задачи, приводит к изменению уровня МШ. Обработка и анализ уровня и распределения по направлению МШ в зависимости от вклада в сигнал ПБ обоих видов напряжений с различными амплитудами, позволяют исследовать влияние напряжений на усталостную долговечность металла и разработать приближенную методику ее оценки.

1. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С. и др., Киев: Наук. думка, 1988.- 736 с.
2. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
3. Патент РБ №2113 от 05.02.2005г.: МПК G01N 27/72. Магнитошумовой преобразователь /Бусько В.Н. // Аф. Б. ,2005.-№3. - ч.2. - С. 99 - 100.

УДК 536.626.2

БОМБОВЫЙ ИЗОПЕРИБОЛИЧЕСКИЙ КАЛОРИМЕТР БИК 100 – СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ, ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Васаренко И.В.[1], Максимук Ю.В.[2], Сыщенко А.Ф.[1], Дубовик И.Г.[1], Фесько В.В.[2]
[1]Закрытое акционерное общество «БМЦ», Минск, Республика Беларусь
[2]Учреждение Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Минск, Республика Беларусь

Развитие и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий в производственном секторе Республики Беларусь тесно связано с достижениями в области приборостроения. Национальная система стандартизации и метрологии предъявляет высокие требования к контролю производств, связанных с получением тепла. Использование современного лабораторного оборудования для учета тепловых ресурсов является одним из инструментов контроля эффективности их использования.

Теплота сгорания – главный показатель качества котельных топлив, определяющий его стоимость. Поэтому ее точное определение является важной метрологической задачей. Экспериментальным методом определения теплоты сгорания топлив в различных агрегатных состояниях является бомбовая калориметрия, основанная на использовании в качестве средства измерения соответствующего калориметра. Метод заключается в измерении количества тепла, выделяющегося при полном сгорании навески топлива в калориметрической бомбе в среде сжатого кислорода. Существуют различные типы конструкций бомбовых калориметров сжигания и несколько вариантов их классификаций. Сравнительный анализ технических и метрологических характеристик бомбовых калориметров приведен

в [1,2]. Самым распространенным является изопериболический калориметр с водяной оболочкой.

В Республике Беларусь используется большой парк бомбовых калориметров, изготовленных в СССР, которые уже отслужили свой срок и нуждаются в замене. Покупка дорогостоящего зарубежного оборудования требует привлечения значительных валютных средств. Поэтому в рамках выполнения задания подпрограммы «Биоэнергетика (энергоресурсы)» Государственной программы «Инновационные биотехнологии» создана и в 2013 году внесена в Госреестр (№ 03 10 5145 13) серийная модель бомбового изопериболического калориметра БИК 100 (рис.) – первого отечественного средства измерения теплоты сгорания топлив в твердом, жидком и газообразном состояниях. Мелкосерийное производство калориметра БИК 100 организовано на научно-технической базе ЗАО «БМЦ», являющегося ведущим производителем современного аналитического и высокоточного метрологического оборудования для лабораторий нефтехимического и энергетического комплексов. Новыми калориметрами оснащены лаборатории Белорусского государственного университета, Гомельской ТЭЦ-2 Республиканского унитарного предприятия электроэнергетики «Гомельэнерго», Витебского дочернего унитарного коммунального производственного предприятия котельных и тепловых сетей.

Калориметр БИК 100 состоит из термостатированной водяной оболочки, измерительно - вычислительного блока и калориметрического сосуда с калориметрической бомбой, размещенных в едином корпусе. Внутри термостатируемой оболочки находится закрытая со всех сторон полость, в которую помещается калориметрический сосуд с бомбой. Температура воды в оболочке – 26,2 °С. Габаритные размеры прибора 550×350×600. Электропитание калориметра осуществляется от сети переменного тока напряжением 230 ± 10 % В и частотой (50 ± 1,0) Гц. Гарантийный срок эксплуатации прибора составляет 12 месяцев.

Внешняя оболочка состоит из цилиндрического термостата, блока охлаждения и верхней крышки.

Цилиндрический термостат объемом 12 дм^3, заполненный дистиллированной водой, имеет перелив, состоящий из двух вставленных друг в друга цилиндрических ванн, между которыми на специальных дистанцерах закреплена цилиндрическая труба (перелив). Использование эффекта перелива обеспечивает дополнительную стабилизацию температуры воды в оболочке до 0,01 °С. Термостатируемая среда обладает градиентом температур по горизонтали и вертикали не более 0,008 °С/см. По внешней стенке термостата намотан охладитель (медная трубка), его концы подсоединены к блоку охлаждения.

Блок охлаждения состоит из компрессора, соединённого с радиатором, а вся система заполнена фреоном. Наличие встроенной системы охлаждения оболочки калориметра не требует подключения прибора к внешним источникам холода для сброса избыточного тепла.

Рисунок 1 – Внешний вид калориметра БИК 100

Верхняя крышка представляет собой отдельно сконструированную полую крышку, внутри которой есть каналы, к которым через насос, размещенный на боковой стенке калориметра, подсоединён термостат. Теплоноситель из термостата прокачивается через крышку и возвращается обратно в термостат. После выхода термостата на рабочий режим температура крышки и термостата становятся одинаковыми.

Калориметрический сосуд располагается внутри термостатированной оболочки и отделен от неё 12 мм воздушным зазором, а сверху закрыт термостатированной крышкой. Сосуд представляет собой цилиндрическую металлическую емкость объемом 3 дм^3, отполированную до зеркального блеска и крышку с контактами, пальчиковым ТЭНом для предварительного подогрева и разъемом под датчик. Перемешивание воды в сосуде осуществляется с помощью специально сконструированной магнитной мешалки с равномерной скоростью 120 об/мин.

Измерительно–вычислительный блок размещен над блоком охлаждения и отвечает за работу термостата, шагового двигателя, насоса, за измерение температуры в сосуде и оболочке, за регу-

лировку температуры оболочки, проведение опыта в автоматическом режиме с записью первичных данных и вычислением результата.

Измерение температуры проводится с использованием 2-х платиновых термометров сопротивления (ТСП-1199) класса А с разрешающей способностью 0,0001 °С и абсолютной погрешностью измерения (0,15 + 0,002 Т) в диапазоне от – 50 до + 100 °С. Калибровка термометров проводилась по 5-и точкам в интервале 22–28 °С с помощью эталонного измерителя температуры (ИТЭ-1) с абсолютной погрешностью измерения температуры ± 0,01 °С. При государственных приемочных испытаниях для калориметра БИК 100 установлены следующие характеристики: нестабильность поддержания температуры оболочки менее 0,001 °С, абсолютная погрешность измерений температуры ± 0,025 °С при базовой температуре 25 °С.

Калориметр оснащен двумя бомбами из нержавеющей стали для сжигания веществ в конденсированном и газообразном состояниях. Внутренний объем бомб 260 см^3 и 240 см^3, соответственно. Заправка калориметрических бомб кислородом до требуемого давления в 3 МПа проводится с использованием специальной станции, входящей в комплект поставки. Калориметрический опыт проводится в автоматическом режиме. На жидкокристаллическом экране в режиме реального времени отображаются значения текущих температур в сосуде и оболочке. Продолжительность начального, главного и конечного периодов составляет 5, 15 и 5 мин, соответственно. Результат опыта (исправленный подъем температуры) выводится на жидкокристаллический экран калориметра сразу после его окончания. Исходные данные калориметрического опыта записываются в память микропроцессора и могут быть перенесены на внешний компьютер или другое устройство.

По результатам проведенных калибровок первой изготовленной серии калориметров БИК 100 величина СКО случайной составляющей погрешности определения энергетического эквивалента, определяемого по стандартному образцу (ГСО 5504-90) бензойной кислоты марки К-3 не превышала 0,05 %.

Созданный калориметр БИК 100 по метрологическим характеристикам соответствует лучшим мировым аналогам. Переход организаций и предприятий на новые бомбовые калориметры БИК 100 совместно с использованием национального эталона единицы энергии сгорания «Джоуль» (БелГИМ) позволит создать в Республике Беларусь собственную систему единства измерений энергий сгорания твердых и жидких топлив.

1. Корчагина, Е.Н. Калориметрия сгорания топлив / Е.Н. Корчагина, Е.В. Ермакова, В.П. Варганов // Мир измерений. – 2012. – № 2. – С. 32–39.
2. Корчагина, Е.Н. Сравнительный анализ технических и метрологических характеристик бомбовых калориметров, применяемых в России / Е.Н. Корчагина, Е.В. Ермакова, В.И. Беляков // Измерительная техника. – 2011. – № 2. – С. 51-57.

УДК 681.2

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ, ИСКАЖЁННЫХ ОШИБКАМИ ИЗМЕРЕНИЯ

Васильев Н.С., Морозов А.Н.
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация

Сегодня спектроскопия является одним из наиболее востребованных в физике и аналитической химии методов изучения веществ. Развитие вычислительной техники позволило осуществить автоматическую интерпретацию зарегистрированных спектров, что нашло применение в приборах-анализаторах химического состава веществ. Использование алгоритмов вместо человеческого навыка имеет ряд преимуществ: скорость анализа, возможность работы со спектральными базами большого размера, индифферентность к внешним условиям.

С развитием фото измерительной аппаратуры и повышением её спектральной чувствительности становятся перспективными методики, основанные на фотолюминесценции. К основным преимуществам этих систем можно отнести высокую чувствительность благодаря высокому квантовому выходу вторичного излучения. Это позволяет создавать приборы, осуществляющие обнаружение взрывчатых, токсичных и запрещённых к применению веществ в малых концентрациях в форме их остаточных следов на различных подстилающих поверхностях.

Методы, основанные на ультрафиолетовой спектроскопии в ближнем и среднем спектральном диапазоне, активно развиваются во всём мире [1-9]. Особенности спектров электронных переходов внешних (валентных) электронов могут привести к не оптимальным результатам распознавания. Вопрос о применении существующих математических методов для получения наилучшего результата при автоматическом распознавании спектров остаётся открытым.

В задачах качественного химического анализа с использованием зарегистрированных спектров часто пользуются корреляцией как мерой схожести между зарегистрированным и эталонным спектрами. Одним из разновидностей её является формула SAM (сокращение от анг. Spectral Angle Mapper):

$$\rho = \frac{(a, b_i)}{|a| \cdot |b_i|}, \quad (1)$$

где $a, b \in R^N$, где a – зарегистрированный спектр, b_i – спектр из базы данных $\{b_i\}$, N – размерность регистрируемых спектров. Эта мера схожести использовалась в практических задачах распознавания в работах [5-8].

При проведении вне лабораторного экспресс анализа малого количества вещества часто регистрируемые спектры оказываются сильно искажены ошибками фото измерительной аппаратуры. Авторами была получены формулы, связывающие величину разброса этих ошибок с ковариацией и математическим ожиданием величины (1). Ковариация K_{12} рассчитывается для пары эталонных спектров b_1 и b_2. В расчётах делается предположение о нормальном распределении ошибок измерения интенсивностей в каждой точке зарегистрированного спектра. Используется линеаризованное выражение (1).

С учётом полученных выражений для μ_1, μ_2 и K_{12} случайный вектор $\rho(a) \in R^M$ можно аппроксимировать нормально распределённой случайной величиной:

$$p(\rho) = \frac{1}{(2\pi)^{(N2)} |\mathsf{K}|^{12}} e^{-\frac{1}{2}(\rho-\mu)^T \mathsf{K}^{-1}(\rho-\mu)} \quad (2)$$

Ковариационная матрица задаёт в пространстве мер схожести метрику. По заданному распределению ρ и данной вероятности P можно определить расстояние d, удовлетворяющее условию: $P(d_M(\rho, \mu) > d) = P$. С помощью которого определяется система классов $\{W_i\}$:

$$W_\xi = \{a | \, d_M(\rho, \mu) < d\}. \quad (3)$$

Основываясь на полученных выражениях для μ_1, μ_2 и K_{12}, предлагается алгоритм идентификации веществ. Упрощённо его можно записать в форме псевдокода:

For i=1..M **do**

пусть $a = b_i + \delta$, тогда

if $\left(a \overset{?}{\in} W_i \right)$ then

это i-ое вещество с достоверностью $P(a \,|\, a = b_i + \delta)$

else

исключить i-ое веществ из рассмотрения

end if

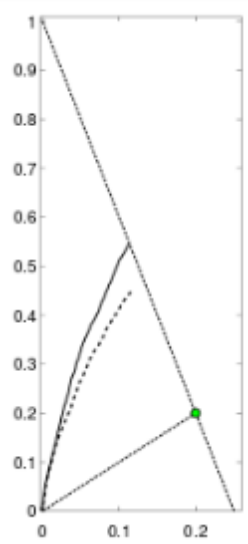
end if

Если условие в цикле выполнено более одного раза, то выбирается вещество для которого величина условной вероятности $P(a \,|\, a = b_i + \delta)$ максимальна.

Для экспериментальной апробации использовался прибор, осуществляющий химический экспресс анализа жидких и твёрдых веществ на различных подстилающих поверхностях [9,10]. В его состав входит статический Фурье спектрометр ближнего и видимого диапазона. С его помощью зарегистрированы наборы в каждом из которых содержалось от 200 до 300 зарегистрированных спектров для каждого тестового вещества. Использовалось пять веществ: антрацен, РОРОР, РРО, стильбен, триптофан. Отношение сигнал/шум экспериментальных спектров для каждого из них лежало в диапазоне от 1,01 до 1,05. Общее число в наборе составило 4990 спектров для пяти тестовых веществ и трёх используемых источников возбуждающего излучения.

Для проверки эффективности предлагаемого алгоритма были построены кривые доли ложных и верных срабатываний. Каждая точка на этой кривой получена для одного значения величины порога срабатывания. Для метода, основанного на прямом расчёте меры схожести этим порогом являлась предельная величина при которой происходит обнаружение. Для алгоритма, основанного на проверки статистических гипотез за порог принимается величина достоверности, при которой данная гипотеза считается правдоподобной. Полученные кривые показаны на рис. 1.

Разработанный метод, позволяет идентифицировать вещества с заданной достоверностью распознавания. Из рис 1 видно, что он приводит к верной идентификации веществ в большем числе случаев по сравнению с прямым расчётом величины меры схожести. Применение такого подхода при создании приборов анализаторов химического состава веществ позволит увеличить надёжность работы, а так же повысить предельно обнаружимые концентрации.



Кривые доли ложных (абсцисса) и верных срабатываний; пунктиром показана кривая для алгоритма, основанного на прямом расчёте меры схожести, а сплошной линией на проверке статистических гипотез.
Рисунок 1

1. Rafael Linden, Lilian L. Feltraco, Luana Christine Comerlato, Estefnio Kellermann, and Marina V. Antunes. // Computer assisted substance identification in systematic toxicological analysis: New life for old methods? //Forensic Science International, 202(1–3):e53 – e60, 2010.
2. M. Herzler, S. Herre, and F. Pragst. Selectivity of substance identification by hplc-dad in toxicological analysis using a uv spectra library of 2682 compounds. //Journal of Analytical Toxicology, 27(4):233–242, 2003. cited By (since 1996)38.
3. Sara Wallin, Anna Pettersson, Henric ¨ Ostmark, and Alison Hobro. Laser-based standoff detection of explosives: a critical review.// Analytical and Bioanalytical Chemistry, 395(2):259–274, 2009.
4. Melissa S. Meaney and Victoria L. McGuffin. Luminescence-based methods for sensing and detection of explosives. //Analytical and Bioanalytical Chemistry, 391(7):2557–2576, 2008.
5. F.A. Kruse, A.B. Lefkoff, J.W. Boardman, K.B. Heidebrecht, A.T. Shapiro, P.J. Barloon, and A.F.H. Goetz. The spectral image processing system (sips)interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. Remote // Sensing of Environment, 44(2–3):145 – 163,1993. Airbone Imaging Spectrometry.
6. Pavel Paclik, Raimund Leitner, and Robert P. W. Duin. A study on design of object sorting algorithms in the industrial application using hyperspectral imaging. //Journal of Real-Time Image Processing, 1(2):101–108, 2006.
7. Lorant Bodis, Alfred Ross, and Ern Pretsch. A novel spectra similarity measure. //Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 85(1):1 – 8, 2007.
8. Pavel Paclik and Robert P.W. Duin. Dissimilarity-based classification of spectra: computational issues. //Real-Time Imaging, 9(4):237 – 244, 2003. Special Issue on Spectral Imaging.
9. К. В. Глаголев, Иг. С. Голяк, Ил. С. Голяк, А. А. Есаков, В. Н. Корниенко, И. В. Кочиков, А. Н. Морозов, С. И. Светличный, and С. Е. Табалин. Методика получения и обработки спектральной информации с помощью статического фурье-спектрометра. //Оптика и спектроскопия, 110(3):486–492, 2011.
10. Ил. С. Голяк, А. А. Есаков, Н. С. Васильев, and А. Н. Морозов. Беспроботборный анализ химических веществ с использованием статического фурье-спектрометра. //Оптика и спектроскопия, 115(6):990–994, 2013.

УДК: 621.793

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ СТАЛИ

Виленчиц Б.Б., Попов В.К.
Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко
Минск, Республика Беларусь

Химико-термическая обработка в контролируемых атмосферах деталей машин и механизмов из углеродистых и легированных сталей с целью поверхностного упрочнения получила широкое распространение в промышленности.

Технологические процессы химико-термической обработки характеризуются высокой энергоемкостью и чувствительностью к отклонениям от оптимальных параметров процесса. Поэтому для реализации в полной мере их преимуществ,специализированное термическое оборудование должно быть оснащено системой контроля и управления технологическим процессом.

Принцип построения АСУТП должен позволять гибко настраивать систему под решаемую задачу путем незначительного изменения или дополнения состава оборудованияи корректировки программного обеспечения. АСУТП должна обладать такой важной в данном случае характеристикой как масштабируемостью, т.е. она должна одинаково хорошо подходить для автоматизациикак одной установки, так и для участка или всего цеха. Такое решение не только

удешевляет проект в расчете на единицу оборудования, но позволяет подобрать современные технические средства и стандартное программное обеспечение. Выбранные технические средства должны одинаково хорошо подходить для автоматизации как одной установки, так и нескольких, причем возможно довольно далеко отстоящих друг от друга. При этом автоматическая система управления должна легко расширяться, образуя пространственно - распределенную систему.

При выборе промышленного контроллера следует обращать внимание на такие параметры как надежность работы, высокие эксплуатационные характеристики, т.к. оборудование должно работать в цеховых условиях, и удобство программного конфигурирования.

В нашем случае в качестве основного технического средства для построения унифицированной системы АСУТП был выбран свободно программируемый PC-совместимый промышленный контроллер ADAM-5510M. Контроллер допускает подключение до четырех модулей расширения, варьируемый набор которых из двух десятков единиц обеспечивает гибкость конфигурирования контроллера в зависимости от количества и вида измеряемых или управляемых параметров. Промышленные контроллеры могут быть объединены в многоточечную сеть RS-485 за счет применения шин передачи данных, например, как промышленная шина Profibus или ModbusRTU, что позволяет объединить разнесенные контроллеры в единую систему контроля и управления.

В нашем случае, как и в большинстве других, АСУТП имеет трехуровневую модель построения. На нижнем уровне расположена подсистема ввода/вывода, состоящая из аппаратных модулей ввода/вывода. К модулям ввода/вывода могут быть подключены датчики температуры, датчики кислорода, газовые сенсоры. Сигналы от них в цифровой форме по специальной шине передаются в контроллер. Подсистема ввода/вывода работает и в другом направлении. Получив от контроллера по той же шине управляющую команду, подсистема ввода/вывода подает сигналы на соответствующие исполнительные механизмы: газовые электроклапаны или газовые контроллеры, которые подключены к подсистеме полевого ввода/вывода.

На среднем уровне – уровне сбора, обработки данных, формирования сигналов управления и связи с нижним и верхним уровнями, находятся промышленные контроллеры. Средний уровень включает в себя промышленные контроллеры ADAM 5510M с набором многоканальных модулей ввода-вывода для связи с датчиками и исполнительными устройствами нижнего уровня.

Верхний уровень – уровень диспетчерского управления, состоит из персонального компьютера в офисном исполнении. Как правило, компьютер дублируется панелью оператора, расположенной на лицевой панели монтажного шкафа, где находится промышленный контроллер.

Программное обеспечение АСУТП решает задачи сбора данных с датчиков, их обработки по заданному алгоритму и формирования сигнала управления исполнительными устройствами. Кроме этого, на него ложится задача создания пользовательского интерфейса верхнего уровня, который должен включать в себя представление получаемой информации в табличной и графической формах и архивирование данных.

Для решения этих задач были выбраны две системы программирования: Adamview32 и SCADA-система GeniDAQ. На основе первой системы были разработаны программы работы оборудования среднего уровня, т.е. промышленного контроллера ADAM 5510M и его модулей ввода-вывода, а GeniDAQ позволила создать наглядный пользовательский интерфейс, оперативно отражающий ход технологического процесса в графической и табличной формах.

Набор оборудования для создания АСУТП, описанный выше, достаточно универсален и является базовым для решения целого ряда задач, связанных с химико-термической обработкой металлов.

В качестве примера практической реализации АСУТП на этой основе можно рассмотреть систему управления двумя эндогенераторами ЭН-125, представленную на рисунке 1.

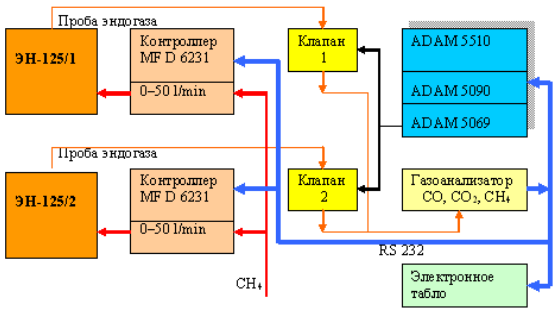


Рисунок 1 – Блок-схема автоматической системы управления эндогенераторами.

От качества получаемого эндогаза в решающей мере зависит весь последующий технологический процесс термообработки и поэтому весьма важно поддерживать оптимальный для процесса состав эндогаза. Наиболее чувствительным к составу эндогаза газовым компонентом является диоксид углерода. Для того, чтобы состав эндогаза был оптимальным, уровень диоксида углерода следует поддерживать в пределах 0,2–0,4%.

Система управления охватывает два эндогенератора ЭН-125 и состоит из промышленного контроллера ADAM 5510M с модулями ввода-вывода ADAM 5090 с четырьмя интерфейсами RS-232 и ADAM 5069 с восемью реле, газоаналитического модуля– газоанализатора CO_2, CO, CH_4 с двумя газовыми электроклапанами, предназначенными для коммутации проб эндогазовой атмосферы. Текущее значение оксида, диоксида углерода и метана отображается на электронном табло панели шкафа управления.

Система работает следующим образом. Пробы эндогаза от эндогенераторов поочередно поступают через газовые электроклапаны на модуль газоанализатора. По интерфейсу RS-232 величина содержания оксида, диоксида углерода и метана в соответствующем эндогенераторе через модуль ввода-вывода ADAM 5090 поступает на процессор промышленного контроллера, где текущее значение диоксида углерода сравнивается с заданной величиной.

Другие два компонента CO и CH_4 являются информационными величинами, говорящими о качестве эндогаза и о состоянии катализатора эндогенератора соответственно.

Программа в промышленном контроллере формирует сигнал управления, который поступает по цифровому каналу на соответствующий газовый контроллер, который изменяет в ту или иную сторону расход природного газа, поступающего на эндогенератор. Система управления позволяет в заводских условиях поддерживать заданный уровень диоксида углерода с точность до ±0,025%.

Выбранный подход и технические средства автоматизации оказались достаточно эффективными и универсальными для целого ряда термического оборудования для химико-термической обработки стали. В частности были осуществлены проекты по автоматизации процессов цементации в камерных печах Pekat 2.3 с подачей эндогаза и природного в качестве карбюризатора и шахтных печах типа СШЦМ и Ц-105, где в качестве карбюризатора применялись природный газ или жидкие углеводороды.

Разработанные и внедренные на предприятиях машиностроительного комплекса Республики Беларусь автоматические системы управления технологическими процессами химико-термической обработки металлов позволили модернизировать существующее оборудование ряда предприятий и повысить качество продукции, снизить ее энергоемкость и себестоимость. Опыт эксплуатации автоматических систем управления показал, что, при относительно небольшой стоимости работ, описанный в выше базовый комплект измерительных, исполнительных устройств и средств автоматизации позволяет создавать весьма надежные в работе в цеховых условиях системы управления, охватывающие достаточно большой спектр оборудования и технологий химико-термической обработки металлов.

УДК 629. 114. 3. 533. 6

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИКИ АВТОПОЕЗДОВ

Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Шаронов Г.В.
Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко
Минск, Республика Беларусь

Аэродинамическая доводка, особенно на первой стадии проектирования автопоезда, ведется, как правило, в аэродинамических трубах. Но поскольку магистральные автопоезда отличаются значительными габаритами, особенно длиной, размещение и испытание в аэродинамических трубах их натурных образцов практически трудно выполнимы.

В связи с этим в аэродинамических трубах испытываются масштабные модели автопоездов, а затем осуществляется проверка полученных результатов с помощью дорожных испытаний аэродинамических характеристик натурных образцов, их элементов, узлов и агрегатов [1]. В этом случае весьма эффективно использование бортовой информационно-измерительной системы, позволяющей измерять распределение давления на различных участках поверхности автопоезда с помощью малогабаритных датчиков давления.

С целью обеспечения оперативности и расширения функциональных возможностей в состав аппаратуры входит бортовая информационно-измерительная система, предназначенная для сбора исходной аэродинамической информации, и программное обеспечение, позволяющее обрабатывать получаемые данные, как на бортовом, так и на стационарном компьютере. Требование обработки данных на бортовом компьютере обусловлено проведением в процессе эксперимента оценки информативности результатов для оперативной корректировки и, в случае необходимости, программы исследований и условий протекания анализируемых процессов.

Из-за большого количества первичных малоинерционных преобразователей (датчиков давления) использовались промежуточные микропро-

цессорные модули и древовидная структура каналов их связи с бортовым компьютером, основой которой является мультиплексор. Бортовой компьютер через мультиплексор управляет работой микропроцессорных модулей, к которым подключены датчики давления. Количество применяемых микропроцессорных модулей зависит от площади исследуемых элементов автопоезда, а количество измерительных каналов достигает 96.

Для расширения функциональных возможностей процесса сбора информации предусмотрена возможность накопления данных внутри микропроцессорных модулей. Это позволяет одновременно снимать данные со всех датчиков, после чего поочередно передавать их в бортовой компьютер.

Вследствие имеющихся ограничений на скорость передачи данных стандартных каналов обмена информацией, используется последовательный способ передачи информации. Компьютер, управляя мультиплексором, последовательно передает управляющие команды и задания микропроцессорным модулям, а после их выполнения поочередно получает накопленные модулями данные.

Решаемые с помощью этого комплекса задачи можно разделить на две группы: определение осредненных характеристик распределения давления воздушного потока и определение характеристик мелкомасштабных флуктуаций давления.

Первая группа задач не требует проведения согласованных во времени выборок анализируемых процессов и позволяет проводить накопления некоррелированных выборок. Поэтому возможен выбор длительности периода реализации и объема их накопления, а также различные варианты опроса микропроцессорных модулей и, соответственно, датчиков давления. Например, можно последовательно друг за другом исследовать заданные элементы автопоезда, или осуществлять эти исследования параллельно, заранее определив по пропускной способности каналов связи длительность реализации процесса.

Для другой группы задач требуется получение коррелированных по времени и поверхности измерений и, соответственно, достаточно высокой частоты их опроса - порядка нескольких кГц. Причем эти измерения должны производиться синхронно, что требует от микропроцессорных модулей проведения согласованных во времени операций по получению данных с датчиков давления.

Одним из методов снижения аэродинамического сопротивления автомобилей является применение внешних устройств, позволяющих без изменения формообразующих элементов кабины улучшить ее обтекаемость. Отработка формы и применение внешних аэродинамических устройств позволили к настоящему времени довести значения коэффициента аэродинамического сопротивления для магистральных автопоездов до величины C_x = 0,5 - 0,6. Аэродинамическое сопротивление транспортного средства складывается из: лобового сопротивления, сопротивления внутренних потоков воздуха в системах охлаждения двигателя и вентиляции кабины и кузова, индуктивного сопротивления и дополнительного сопротивления, связанного с наличием на поверхности кабины и кузова небольших конструктивных элементов, таких как зеркала заднего вида, антенны, дверные ручки, стеклоочистители, поворотные фонари, кондиционеры и т.д. Такого вида элементы трудно поддаются какому-либо моделированию, и их вклад в общее значение аэродинамического сопротивления автопоезда может быть оценен, как правило, только путем натурного эксперимента [2].

Одной из первых задач, для решения которой была использована бортовая информационно-измерительная система, была задача определения поля давления набегающего потока воздуха на фронтальной решетке кондиционера, установленного на крыше кабины МАЗа, и его изменения, при установке штатного спойлера над лобовым стеклом кабины с целью определения влияния последнего на режим работы кондиционера.

Предусматривалось три параллельных испытания на одной скорости движения, которая была определена в 80 км/ч, при движении автомобиля в одну сторону шоссе и столько же измерений, при движении автомобиля в обратную сторону, с последующим осреднением результатов по ансамблю реализации. Такая схема измерений и их обработки позволяла избавиться от возможного влияния ветровых потоков на результаты измерений. Как уже было сказано, измерения проводились с целью определения влияния спойлера над лобовым стеклом кабины автомобиля на условия обтекания корпуса кондиционера, поэтому измерения проводились, соответственно, со спойлером и без него по описанной выше методике.

Из литературных данных [1] известно, что при обтекании кабины автомобиля в зоне его крыши образуется область с пониженным статическим давлением, что говорит об отрыве воздушного потока от плоскости крыши. Для исключения такого явления применяют установку внешних аэродинамических устройств, так называемых спойлеров. Для отбора давления набегающего воздушного потока была изготовлена решетка, в узлах которой располагались трубки отбора. Решетка с трубками отбора давления устанавливалась так, чтобы трубки отбора давления были ориентированы параллельно движению автомобиля и охватывали равномерно всю исследуемую площадь. Таким образом, дав-

ление набегающего потока отбиралось в нужных точках по площади фронтальной решетки кондиционера, передавалось на датчики давления и регистрировалось измерительной системой.

Обработка результатов измерений распределения давления набегающего потока воздуха позволила отметить существенное изменение картины обтекания, которое вносит установка спойлера на кабине автомобиля. На основании измерений полей давлений набегающего потока были выработаны рекомендации по изменении геометрии спойлера.

Описанная выше информационно - измерительная система была внедрена на Минском автомобильном заводе, неоднократно применялась для натурных исследований аэродинамических характеристик транспортных средств и показала себя как весьма надежное и удобное средство для количественных и качественных натурных исследований особенностей аэродинамики обтекания набегающим потоком воздуха навесного оборудования кабины или кузова транспортных средств.

1. Евграфов А.Н., Высоцкий М.С., Титович А.И. Аэродинамика магистральных автопоездов,- Мн.: Наука и техника, 1988. - 232с.
2. Евграфов А.Н, Высоцкий М.С. Аэродинамика колесного транспорта. - Мн.: НИРУП «Белавтотракторостроение», 2001. -308с.

УДК 537.58:621.891

АЛГОРИТМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ЖЕЛЕЗА В КРЕМНИИ

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К.[1], Жарин А.Л.[1], Петлицкий А.Н.[2], Пилипенко В.А.[2], Тявловский А.К.[1], Тявловский К.Л.[1], Свистун А.И.[1]

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь*

В соответствии с современными требованиями, допускаемые значения концентрации посторонних примесей в полупроводниковой пластине не должны превышать 10^9 атомов/см^3. Наиболее значимыми примесями, значительно ухудшающими характеристики полупроводниковых устройств, являются железо и никель. Их источником в большинстве случаев являются трущиеся поверхности элементов технологического оборудования, изготовленных из стали.

Преимущества разрабатываемой методики контроля примеси железа в кремнии на основе методов зондовой электрометрии заключаются в высокой чувствительности, отсутствии необходимости подготовки поверхности перед контролем либо создания особых условий для образца (в частности, вакуумирования), возможности регистрации пространственного распределения примеси железа (построения карты распределения примеси по поверхности пластины), отсутствии разрушающих воздействий на образец, что позволяет после контроля вернуть пластину в технологический процесс. В основу методики положено двукратное измерение распределения времени жизни или длины диффузии неравновесных носителей заряда (ННЗ) в кремнии в сочетании с воздействием на пластину инфракрасным излучением между двумя измерениями. Атомы железа в кремнии *p*-типа создают связи с легирующим бором, а поскольку концентрация последнего многократно превышает возможные значения концентрации примеси железа, практически все железо в кремнии присутствует в виде пар Fe-B. Воздействие инфракрасным излучением обеспечивает нагрев кремниевой пластины до температуры 200 ºС, что недостаточно для повреждения полупроводниковых структур, но в то же время приводит к разрушению связей Fe-B и выделению интерстициального железа Fe_i, отслеживаемому по изменению длины диффузии ННЗ. Аналогичным образом происходит связывание и выделение примеси никеля.

Схема алгоритма методики определения примеси железа в кремнии с использованием дополнительного воздействия инфракрасным излучением показана на рисунке 1. Алгоритм предусматривает измерение длины диффузии ННЗ в выбранных точках поверхности в режиме сканирования пластины электрометрическим зондом (блок 1). Поскольку такие измерения требуют сравнительно длительного времени (порядка 10 с для каждой точки), выбор количества анализируемых точек должен производиться на основе компромисса между разрешающей способностью и длительностью проведения контроля. Используемая методика измерения длины диффузии является бесконтактной и основана на регистрации изменений потенциала поверхности полупроводника с помощью электрометрического зонда Кельвина при воздействии на нее монохроматическим оптическим излучением разных длин волн [1]. Результатом выполнения блока 1 алгоритма является карта распределения длины диффузии ННЗ по поверхности пластины, обусловленного влиянием пар Fe-B.

После первичного картографирования пластины осуществляется ее перенос в камеру нагрева (блок 2), где производится ее прогрев при температуре 200 ºС в течение 2 минут (блок 3). Имеющиеся литературные данные [2] пока-

зывают, что такая выдержка достаточна для полной диссоциации пар Fe-B. В качестве источника нагрева в разрабатываемой методике предлагается использовать мощные галогенные лампы. Поскольку методика расчета такого рода оптических нагревателей в настоящее время проработана недостаточно, для разработки методики нагрева полупроводниковой пластины, обеспечивающей необходимую интенсивность и равномерность воздействия, были выполнены экспериментальные исследования с использованием макета нагревательного устройства и реальной полупроводниковой пластины из кремния *p*-типа диаметром 200 мм. В качестве источников оптического излучения в эксперименте использовались линейные галогенные лампы КГ-220-500, максимальная суммарная мощность нагревателя достигала 2 кВт. Равномерность воздействия обеспечивалась размещением ламп в специально изготовленной арматуре с полированным металлическим рефлектором. Для регулировки мощности нагревателя использовался блок управления симисторами и тиристорами БУСТ-2 производства фирмы ОВЕН (Россия). Полупроводниковая пластина в эксперименте располагалась на расстоянии 5 см от нагревательной арматуры. Температура тыльной стороны пластины измерялась контактным термометром на основе термопары ХК (хромель-копель), температура лицевой (непосредственно подвергающейся нагреву) стороны – инфракрасным пирометром.

По результатам исследований было определено, что для нагрева кремниевой пластины диаметром 200 мм до температуры 180 ºС за время не более 60 с достаточно установленной мощности нагрева 1 кВт. Более высокие значения установленной мощности приводят к повышенному градиенту температуры по толщине пластины, что не отвечает требуемым условиям воздействия и создает риск возникновения термических напряжений в пластине, способствующих росту дефектов кристаллической решетки. Результаты экспериментов показали также высокую чувствительность температуры полупроводниковой пластины к изменениям мощности оптического излучения, что указывает на необходимость использования отрицательной обратной связи по температуре для управления источником нагрева.

Интенсивный процесс повторного связывания интерстициального железа в пары Fe-B начинается спустя 2 ч после охлаждения пластины [2], вследствие чего все последующие операции алгоритма должны выполняться в пределах этого интервала времени. Следует отметить, что повышение температуры приводит к резкому сокращению времени повторного формирования пар Fe-B – так, при 80 ºС данный процесс начинается уже спустя 200 с после отжига, что указывает на недопустимость нагрева образцов после диссоциации пар Fe-B во время контроля.

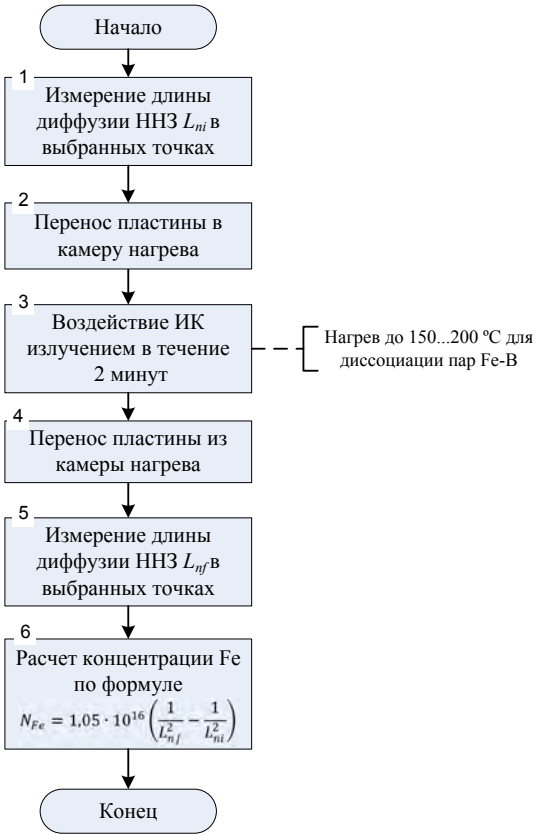


Рисунок 1 – Схема алгоритма методики определения примеси железа в кремнии

Перенос пластины из камеры нагрева (блок 4) может производиться с произвольной скоростью, однако обязательным условием является точность позиционирования пластины при выполнении повторных измерений распределения длины диффузии ННЗ (блок 5). Это связано с тем, что для использования в расчетной математической модели необходимы данные об изменениях длины диффузии ННЗ при диссоциации пар Fe-B в одних и тех же точках поверхности образца. Наилучшим образом данное условие может быть обеспечено при использовании одной установки пластины на держателе на всех основных этапах алгоритма (первичном измерении распределения длины диффузии ННЗ, нагреве, повторном измерении длины диффузии ННЗ). Это требует объединения средств измерений (сканирующего электрометрического зонда Кельвина) и камеры нагрева в одной измерительной установке, при этом желательно объединения механизма сканирования с механизмом перемещения образца в камеру нагрева, что обеспечит однозначность позиционирования образца при первичном и повторном сканировании.

Концентрация железа в каждой из точек исследования рассчитывается на основании полу-

ченной в результате теоретических исследований математической модели, выражающейся в виде расчетной формулы (блок 6)

$$N_{Fe} = 1{,}05 \cdot 10^{16}\left(\frac{1}{L_{nf}^2} - \frac{1}{L_{ni}^2}\right),$$

где L_{ni} и L_{nf} – длина диффузии ННЗ до и после нагрева, соответственно.

Результатом выполнения указанных действий является карта распределения примеси железа в кремнии, получаемая с использованием только бесконтактных методов и средств измерений. Разработанный алгоритм реализуется в конструкции и программном обеспечении измерительной установки для характеризации полупроводниковых пластин со структурой кремний-диэлектрик, разрабатываемой в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ.

1. Zoth, G. A fast, preparationfree method to detect iron in silicon / G. Zoth, W. Bergholz // J. Appl. Phys. – 1990. – V. 67. – P. 6764.
2. Choi, B.-D. Latent Iron in Silicon / B.-D. Choi, D.K. Schroder, S. Kolesnikov, S. Mahajan // Jpn. J. Appl. Phys. – 2001. – V. 40. – P. L915-L917.

УДК 537.58:621.891

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН СКАН-2013

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К.[1], Жарин А.Л.[1], Петлицкий А.Н.[2], Пилипенко В.А.[2], Тявловский А.К.[1], Тявловский К.Л.[1], Свистун А.И.[1]

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь*

Разработка измерительной системы для контроля полупроводниковых пластин СКАН-2013 проводилась в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ в рамках исследований по созданию новых средств неразрушающего контроля для микроэлектронной промышленности.

Конструктивно система состоит из двух основных блоков:

– сканирующей системы (рисунок 1);

– персонального компьютера с установленным специализированным программным обеспечением SCAN2013.

Рисунок 1 – Сканирующая система установки

СКАН-2013 обеспечивает неразрушающую бесконтактную характеризацию пластин со структурой кремний-диэлектрик диаметром до 200 мм с помощью коронного разряда и регистрации потенциала поверхности в процессе двухкоординатного сканирования поверхности пластины. Принцип работы системы заключается в бесконтактной регистрации пространственного распределения электрического потенциала поверхности полупроводниковой пластины по методу Кельвина-Зисмана. Результаты регистрации отображаются в виде в виде цветовой топограммы, где значение измеренного потенциала отображается условным цветом. Измерения проводятся при нормальных условиях и не связаны с разрушающими воздействиями на контролируемую пластину. Предварительной подготовки поверхности пластины (травления, металлизации и т.д.) также не требуется, что позволяет выполнять контроль образцов, взятых непосредственно из технологического процесса.

Воздействие коронным разрядом на поверхность окисленной полупроводниковой пластины позволяет выявлять места с повышенной концентрацией дефектов (ловушечных уровней) на границе раздела кремний-диэлектрик. Электрический заряд, осажденный на поверхность диэлектрика, формирует с полупроводником подобие МОП-структуры. «Затвор» структуры создается ионами H_3O^+ или CO_3^- в зависимости от знака разряда. Регулирование дозы воздействия коронным разрядом с измерением электрического потенциала поверхности после каждого цикла воздействия с помощью бесконтактного зонда Кельвина позволяет получить отсчеты *Q-V* характеристики структуры для анализа энергетических уровней дефектов, а анализ изменения распределения заряда на поверхности пластины во времени обеспечивает выявление областей с повышенными токами утечки диэлектрика.

Напряжение коронного разряда составляет 9 кВ, что гарантирует отсутствие ударных по-

вреждений поверхности пластины вследствие низкой кинетической энергии генерируемых ионов. Доза заряда, вносимого при коронном заряжении поверхности диэлектрика, ограничена величиной $4 \cdot 10^{-6}$ Кл/см^2, много меньшей порогового значения для контролируемой структуры.

Помимо источника коронного разряда, блок измерительных преобразователей установки СКАН-2013 включает также набор монохроматических источников оптического излучения на основе светодиодов с длинами волн 405, 470, 574 и 583 нм, а также широкоспектральный источник «белого» света (рисунок 2). Интенсивное освещение поверхности структуры полупроводник-диэлектрик «белым» светом приводит к спрямлению энергетических зон полупроводника, что позволяет определять величину приповерхностного изгиба зон. При этом анализ динамики изменения потенциала поверхности образца при его возбуждении импульсным оптическим излучением позволяет определить генерационное время жизни неравновесных носителей заряда в выбранной точке образца. В то же время, вследствие ограниченного быстродействия измерительной системы точность таких измерений оказывается низкой, особенно при малых значениях времени жизни. Значительно большую точность обеспечивают измерения с помощью установки рекомбинационного времени жизни, выполняемые в квазистатическом режиме. Такие измерения основаны на бесконтактной регистрации изменений электрического потенциала поверхности при освещении полупроводниковой структуры монохроматическим излучением различных длин волн из области поглощения кремния. При этом за счет различия коэффициентов поглощения на разных длинах волн происходит возбуждение носителей заряда на разной глубине в пределах области пространственного заряда. Вычисление времени жизни и длины диффузии неравновесных носителей заряда на основании соответствующих математических моделей осуществляется с помощью персонального компьютера в автоматическом режиме.

Специализированное программное обеспечение SCAN2013 рассчитано на работу под операционной системой Windows 7 (Windows 8) и имеет мультиоконный интерфейс. В частности, окно интерфейса управления (рисунок 3) обеспечивает возможность предварительной установки измерительного преобразователя в выбранную точку, задания области сканирования, шага сканирования, режима исследования (без дополнительных воздействий, с воздействием коронным разрядом, режим измерения времени жизни неравновесных носителей заряда), а также вертикальное позиционирование зонда для обеспечения требуемого по условиям измерений зазора зонд-образец.

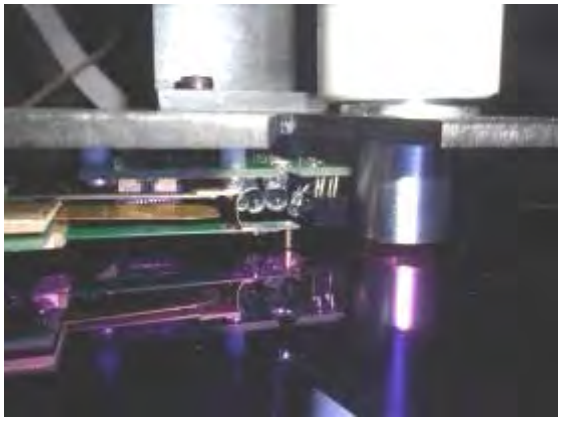


Рисунок 2 – Блок измерительных преобразователей

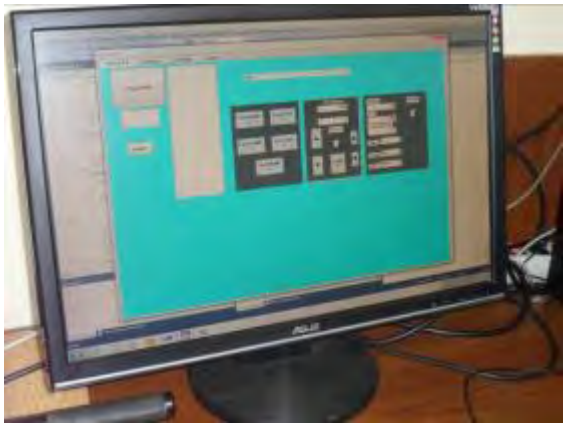


Рисунок 3 – Интерфейс управления установки

Результаты сканирования полупроводниковой пластины отображаются в отдельном окне (рисунок 4) в виде цветной топограммы распределения потенциала поверхности (контактной разности потенциалов) либо времени жизни неравновесных носителей заряда.

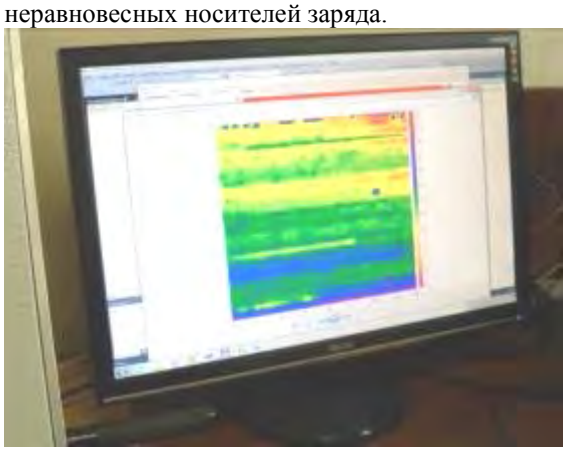


Рисунок 4 – Отображение результатов сканирования в окне представления результатов

Диапазон контроля электрического потенциала поверхности структуры кремний-диэлектрик составляет ± (5…5000) мВ при динамической погрешности измерения а пределах ± 1,5 мВ. Благодаря использованию в качестве измери-

тельного преобразователя бесконтактного вибрирующего зонда Кельвина обеспечивается возможность контроля полупроводниковых структур под слоем диэлектрика до 20 000 нм и более без увеличения погрешности измерений. Максимальное пространственное разрешение топограммы составляет 0,5 мм. Имеется возможность выбора шкалы условных цветов для топограммы с целью более четкой (контрастной) визуализации областей скопления дефектов.

К настоящему времени измерительная система контроля полупроводниковых пластин СКАН-2013 изготовлена в одном экземпляре. Изготовленный экземпляр используется в НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» для научных исследований в рамках разработки новых методов неразрушающего контроля полупроводниковых пластин с структурой кремний-диэлектрик с субмикронными слоями.

УДК 621.382

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЗАРЯДА НА ЛОВУШКАХ В СТРУКТУРЕ КРЕМНИЙ-ДИЭЛЕКТРИК СРЕДСТВАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К.[1], Жарин А.Л.[1], Петлицкий А.Н.[2], Пилипенко В.А.[2], Тявловский А.К.[1], Тявловский К.Л.[1], Свистун А.И.[1]

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

[2]*НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл», Минск, Республика Беларусь*

Использование *C-V* характеристик для характеризации полупроводниковой структуры (ППС) основано на зависимости ширины области пространственного заряда (ОПЗ) от величины приложенного к ней напряжения. При бесконтактной регистрации *C-V* характеристик средствами зондовой электрометрии данное напряжение создается при контролируемом осаждении на окисленную поверхность ППС электрического заряда с помощью источника коронного разряда. Тыльная сторона ППС заземлена за счет омического контакта с заземленным держателем образцов и имеет потенциал, равный нулю. Таким образом, приложенное к структуре напряжение U будет численно равно электрическому потенциалу поверхности V_S. Для определенности далее будет рассматриваться кремний *p*-типа как наиболее распространенный случай полупроводникового материала. Для регистрации *C-V* характеристики на поверхность такой структуры осаждаются ионы как положительного, так и отрицательного знака.

Результирующий потенциал, измеряемый зарядочувствительным электрометрическим зондом, включает три аддитивных составляющих [1], соответствующих падениям напряжения на ОПЗ, диэлектрике и воздушном зазоре между поверхностью ППС и чувствительным элементом зонда (рисунок 1):

$$V = V_D + V_{SCR} + V_{CPD}, \qquad (1)$$

где V_D – падение напряжения на диэлектрике;

V_{SCR} – падение напряжения на ОПЗ;

V_{CPD} – контактная разность потенциалов (КРП), определяемая разностью значений работы выхода электрона (РВЭ) чувствительного элемента зонда и исследуемого полупроводника [2].

С учетом (3) выражение для удельной электрической емкости ППС можно записать в виде

$$C = -\frac{\Delta Q_S + \Delta Q_{it}}{\Delta V_D + \Delta V_{CPD}}, \qquad (2)$$

где ΔQ_S – приращение заряда в ОПЗ;

ΔQ_{it} – приращение заряда на ловушках на границе раздела.

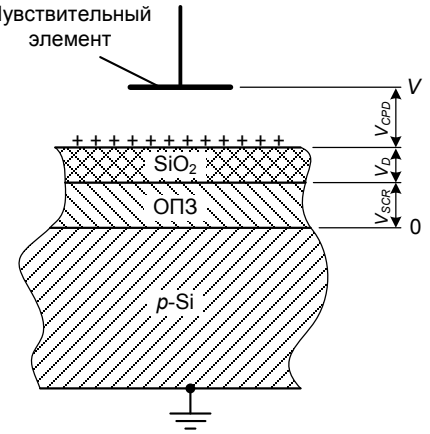


Рисунок 1 – Схема формирования результирующего потенциала V, измеряемого зарядочувствительным электрометрическим зондом

Плотность заряда в полупроводнике Q_S, численно равная (с учетом противоположного знака) плотности осажденного заряда на поверхности диэлектрика ППС, включает в себя заряд дырок Q_p, заряд в объеме ОПЗ Q_b и заряд электронов Q_n, то есть

$$Q_S = Q_p + Q_b + Q_n. \qquad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$C = -\frac{1}{\frac{\Delta V_D}{\Delta Q_S + \Delta Q_{it}} + \frac{\Delta V_{CPD}}{\Delta Q_p + \Delta Q_b + \Delta Q_n + \Delta Q_{it}}}, \qquad (4)$$

откуда

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_d} + \frac{1}{C_p + C_b + C_n + C_{it}}} = (C_d^{-1} + (C_{SCR} + C_{it})^{-1})^{-1}, \quad (5)$$

где C_d – удельная емкость диэлектрика;

C_{SCR} – удельная емкость ОПЗ;

C_{it} – емкость, обусловленная наличием ловушек на границе раздела.

Регистрируя *Q-V* характеристику путем последовательного воздействия на ППС импульсами коронного разряда и бесконтактного измерения потенциала поверхности после каждого импульса воздействия и анализируя форму полученной характеристики, можно определить величину порогового напряжения V_{TH}, соответствующего переходу полупроводника в состояние инверсии, без риска повреждения структуры. Это обеспечивает возможность получения *C-V* характеристики ППС в более широком диапазоне значений потенциала поверхности, чем при традиционных контактных измерениях.

Комбинирование дополнительных воздействий на ППС коронным разрядом и интенсивным оптическим излучением видимого диапазона позволяет определить напряжение плоских зон полупроводника V_{FB}, зная которое из *Q-V* характеристики можно найти величину полного заряда диэлектрика Q_{TOT}. Для определения величины V_{FB} измерения КРП поверхности при каждом цикле воздействия коронным разрядом необходимо производить дважды: в темноте ($V_{CPD}{}^{dk}$) и при интенсивном освещении ($V_{CPD}{}^{lt}$). На основании этих двух измерений рассчитывается величина поверхностного изгиба энергетических зон, численно равная поверхностной фотоЭДС:

$$V_{SPV} = V_{CPD}{}^{dk} - V_{CPD}{}^{lt}. \quad (6)$$

Критерием достижения состояния плоских зон является равенство нулю величины V_{SPV}. В этом случае $V_{FB} = V_{CPD}{}^{dk}$. Интегральная плотность заряда, нанесенного на поверхность ППС к моменту достижения состояния плоских зон (с учетом утечки через диэлектрик), будет численно равна плотности полного заряда диэлектрика Q_{TOT}, что позволяет вычислить ее как сумму доз всех импульсов коронного разряда, воздействовавших на данный участок ППС, за вычетом суммы всех утечек заряда за время измерения.

Теоретическое значение порогового напряжения рассчитывается по известной формуле [3]

$$V_{TH} = \frac{2kT}{q} ln\left(\frac{N_A}{n_i}\right), \quad (7)$$

где N_A – концентрация легирующей акцепторной примеси;

n_i –концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике.

Экспериментально определив величину V_{TH} по перегибу *Q-V* характеристики, из (7) можно вычислить концентрацию легирующей примеси в данной области полупроводника.

При практических измерениях необходимо также учитывать ограничения, связанные с возможностью пробоя диэлектрика ППС при высокой плотности заряда. В связи с этим, в рамках разрабатываемой методики измерений циклическое осаждение заряда на поверхность предусматривается до тех пор, пока график *Q-V* характеристики не достигает насыщения, либо пока плотность заряда на поверхности не достигает величины 10^7 Кл/см^2, что близко к пробойной величине для большинства ППС.

Величина падения напряжения на ОПЗ при данной величине плотности заряда на поверхности Q_S может быть найдена на основании экспериментально зарегистрированной *Q-V* характеристики из выражения

$$V_{SCR}(Q_S) = \Delta V_{CPD}{}^{dk} - \Delta V_D, \quad (8)$$

где $\Delta V_{CPD}{}^{dk}$ – приращение КРП при изменении заряда поверхности на ΔQ_S;

$$\Delta V_D = \frac{\Delta Q_S}{C_d}. \quad (9)$$

Зная $V_{SCR}(Q_S)$, по известным соотношениям [3] можно найти заряд ОПЗ Q_{SCR}. Отсюда плотность заряда на ловушках может быть вычислена как

$$\Delta Q_{it} = -(\Delta Q_S - \Delta Q_{SC}). \quad (10)$$

Плотность ловушек на границе раздела полупроводник-диэлектрик может быть вычислена как первая производная от полученной результирующей зависимости $\Delta Q_{it}(V_{SCR})$:

$$D_{it} = \frac{d\Delta Q_{it}}{dV_{SCR}}. \quad (11)$$

Поскольку ловушки на границе раздела полупроводник-диэлектрик занимают различные энергетические уровни, вычисленные значения D_{it} будут различными для разных значений плотности заряда на поверхности Q_S. Поскольку падение напряжения на ОПЗ численно равно энергии (энергетическому уровню) заряда на ловушках, выраженной в электрон-вольтах, то построив зависимость $D_{it}(V_{SCR})$, можно получить энергетический спектр заряда на ловушках в структуре кремний-диэлектрик. Таким образом, совместная регистрация *C-V* и *Q-V* характеристик в односигнальной модели многопараметрических измерений потенциала поверхности ППС с помощью электрометрического зонда позволяет получить все искомые параметры, а именно плотность ловушек на границе раздела полупроводник-диэлектрик, плотность и энергетический спектр заряда на ловушках на границе раздела.

1. Schroder, D.K. Semiconductor Material and Device Characterization / D.K. Schroder // Hobo-

ken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. – 2006. – 790 p.
2. Zharin, A. L. Contact Potential Dierence Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping // Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology (edited by B. Bhushan). – Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2010. – P. 687-720.
3. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. Кн. 1,2 / С. Зи. – М.: Мир, 1984. – 912 с.

УДК 621.382

МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РВЭ

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К.[1], Жарин А.Л.[1], Мухуров Н.И.[2], Тявловский А.К.[1], Тявловский К.Л.[1], Свистун А.И.[1], Дубаневич А.В.[1]

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

[2]*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

Функциональность, надежность и технические характеристики микросенсорных устройств на основе наноструктурированных материалов в значительной степени зависят от чистоты и однородности электрофизических свойств их поверхности. Особенностью таких устройств является требование, в ряде случаев, распределения свойств поверхности по определенному закону. Вследствие высокой чувствительности микросенсорных устройств контроль качества поверхности должен выполняться бесконтактным неразрушающим способом, что обеспечивают методы, основанные на измерении контактной разности потенциалов (КРП) поверхности с помощью бесконтактного зонда Кельвина [1].

В результате проведенных исследований разработаны технические требования к методике сплошного неразрушающего контроля электрофизических свойств чувствительных элементов из наноструктурированных материалов для нового поколения датчиков потока космической плазмы. В основу методики положен метод измерения контактной разности потенциалов на основе динамического конденсатора (метод Кельвина-Зисмана), основанный на явлении возникновения разности электростатических потенциалов между двумя проводящими пластинами, характеризующимися различными значениями работы выхода электрона (РВЭ) поверхности φ_S и φ_P при обеспечении условий для беспрепятственного обмена носителями заряда между ними. Последнее может быть обеспечено, например, за счет сближения пластин на малое расстояние, достаточное для обмена электронами вследствие эффекта термоэмиссии при нормальной температуре, за счет ионизации воздуха в зазоре между пластинами (метод Кенрика) или за счет внешней электрической цепи (метод Кельвина-Зисмана). В соответствии с условием термодинамического равновесия, при этом должно происходить выравнивание уровней Ферми, что приводит к возникновению разности потенциалов между пластинами. Метод Кельвина-Зисмана предполагает включение в цепь измерительного конденсатора, формируемого пластинами, источника компенсирующей ЭДС U_{CPD}, обеспечивающей приведение к нулю протекающих между пластинами токов. Тогда в состоянии равновесия будет соблюдаться условие

$$eU_{CPD} + \varphi_S - \varphi_P = 0, \quad (1)$$

откуда

$$U_{CPD} = \frac{\varphi_P - \varphi_S}{e}. \quad (2)$$

Величина U_{CPD} характеризует разность потенциалов поверхности исследуемого образца и измерительного преобразователя. Работа выхода электрона φ_S проводящей поверхности, в том числе наноструктурированной, связана с такими характеристиками материала, как наличие и концентрация дислокаций кристаллической структуры, внутренние механические напряжения, межкристаллитная коррозия, отклонения химического состава поверхности и т.п. Существенно, что при измерениях РВЭ методом Кельвина-Зисмана выходной сигнал зонда пропорционален среднему значению РВЭ в области контроля, а не ее минимальному значению, как при использовании эмиссионных методов [2]. Поскольку для наноструктурированных поверхностей типичные размеры дефектов много меньше линейных размеров зонда, такое аппаратное усреднение сигнала обеспечивет интегральную оценку плотности дефектов в области контроля, тогда как эмиссионные методы дают менее диагностически значимую экстремальную оценку. Таким образом, измерения РВЭ поверхности чувствительных элементов из наноструктурированных материалов на основе контроля электростатических потенциалов позволяют выявлять дефекты их поверхности и оценивать их концентрацию. При этом величина φ_P, как правило, неизвестна и может изменяться под влиянием факторов окружающей среды, главным образом, вследствие адсорбции различных веществ на поверхности измерительного преобразователя. Такие изменения являются сравнительно медленными, и при измерениях электростатического потенциала поверхности образца в скани-

рующем режиме значение φ_P в течение всего времени контроля может считаться константой. В этом случае разность измеренных значений электростатических потенциалов двух участков поверхности составит

$$\Delta U_{CPD} = U_{CPD1} - U_{CPD2} = \frac{\varphi_P - \varphi_{S1}}{e} - \frac{\varphi_P - \varphi_{S2}}{e} = \frac{\varphi_{S2} - \varphi_{S1}}{e}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что измерения КРП поверхности методом Кельвина-Зисмана в сканирующем режиме позволяют выявлять неоднородности распределения РВЭ, отражающие отклонения их значений от среднего для данной поверхности, что может быть использовано для неразрушающего выявления дефектов и определения их локализации.

В соответствии с разработанными техническими требованиями, методика обеспечивает измерение значений электрического потенциала поверхности в выбранных точках поверхности чувствительного элемента в виде прецизионной сетки, определение математического ожидания и среднего квадратического отклонения значений электрического потенциала контролируемой поверхности и представление результатов измерений в виде визуализированного изображения пространственного распределения электростатического потенциала поверхности и гистограммы распределения значений электростатического потенциала поверхности. Методика обеспечивает контроль прецизионных сеток с габаритными размерами от 40×40 мм до 105×105 мм при пространственном разрешении не хуже 1,0 мм. Величина пространственного разрешения определяется требованиями оперативности контроля, оговаривающими выполнение измерений за время не более 1…2 ч. Реализация компенсационного метода измерения КРП с помощью вибрирующего зонда Кельвина, обеспечивающего наибольшую точность измерений [1], требует остановки зонда в каждой точке, в которой проводятся измерения, т.е. сканирование проводится в дискретном режиме. При времени установления сигнала зонда Кельвина до 1 с, определяемом конструкцией зонда, полное время сканирования поверхности размером 40×40 точек с построением визуализированного изображения составляет порядка 30 минут. Повышение пространственного разрешения требует дополнительных исследований, в том числе, связанных с анализом путей программной (компьютерной) обработки измерительного сигнала для достижения субпиксельного разрешения. Диапазон измерения электростатических потенциалов составляет от минус 2000 до 2000 мВ при разрешении не хуже 2,0 мВ, что достаточно для контроля металлических (проводящих) поверхностей с учетом типичных значений РВЭ металлов.

Отличительными особенностями методики являются отсутствие каких-либо разрушающих воздействий на исследуемый образец и возможность выявления дефектов структуры, недоступных другим неразрушающим (в частности, оптическим) методам контроля.

Предварительные результаты применения разрабатываемой методики для исследования поверхности элемента микросенсорного устройства из наноструктурированного алюминия показали, что анализ пространственного распределения потенциала поверхности прецизионных поверхностей позволяет выявлять неоднородность их электрофизических свойств, отражающую распределение дефектов поверхности. В качестве примера на рисунке 1 показано пространственное распределение электростатического потенциала алюминиевой пластины с наноструктурированной поверхностью. Шкала линейных размеров на изображении условная, истинные размеры образца составляют 60×70 мм. На визуализированном изображении видна неоднородность электрофизических свойств поверхности, проявляющаяся в росте значений потенциала (соответствующего, согласно формуле (2), уменьшению значений РВЭ поверхности) от левого верхнего к правому нижнему на рисунке 1 углу пластины. Прослеживается концентрация дефектов у краев пластины. Видно, что характерные размеры неоднородностей намного превышают линейные размеры зонда, составляя от 3 до 30 мм, что говорит о возможности контроля качества наноструктурированных поверхностей с выбранной разрешающей способностью.

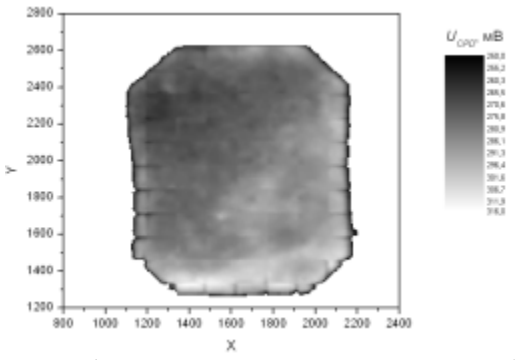


Рисунок 1 – Пример визуализированного изображения распределения РВЭ наноструктурированной поверхности алюминия

1. Zharin, A.L. Contact Potential Difference Techniques as Probing Tools in Tribology and Surface Mapping // Applied Scanning Probe Methods. – 2010. – V. 14. – P. 687-720.
2. Ибрагимов, Х.И. Работа выхода электрона в физико-химических исследованиях / Х.И. Ибрагимов, В.А. Корольков. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 526 с.

УДК 621.382

ФОТОПРИЕМНИКИ С БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА БАЗЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСЯМИ

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К. [1], Жуковский П.В.[2], Свистун А.И.[1], Тявловский К.Л.[1], Шадурская Л.И.[1], Яржембицкая Н.В.[1]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
[2]Люблинский технический университет, Люблин, Польша

В ряде применений фотоприёмников, например, технике формирования изображений с высоким контрастом, регистрации слабых оптических излучений в условиях существования высокояркостных помех и т.д., требуется формировать измерительный сигнал в широком диапазоне яркостей. Высокий абсолютный контраст изображения характерен для сцен, содержащих слабоосвещенные объекты и встречную (контровую) засветку [1]. Использование обычных фотоприёмников с недостаточно широким динамическим диапазоном чувствительности не позволяет получить корректный отклик фотосигнала при наблюдении объектов с большими контрастами яркостей (освещенностей). Задача расширения динамического диапазона актуальна и для фотоприемников, работающих в режиме накопления заряда, например, в фотоприёмных ПЗС-матрицах. При решении этой проблемы основное внимание уделяется задаче расширения диапазона преобразования "снизу" за счёт увеличения чувствительности. И гораздо меньше внимания уделяется проблеме расширения динамического диапазона при больших интенсивностях освещения – "сверху".

Существующие методы решения проблемы недостаточно широкого динамического диапазона фотоприемников можно разделить на три категории: это а) аппаратные; б) алгоритмические (программные); в) аппаратно-алгоритмические.

Первая группа методов связана с необходимостью существенного изменения конструкции [2], применения новых материалов и технологий, дорогостоящих систем охлаждения приемных матриц, мощных процессоров *DSP*, а также АЦП с высокой разрядностью, что требует больших затрат при несущественном увеличении диапазона чувствительности. Возможно также использование составных фотоприемников, образованных двумя и более элементами, каждый из которых чувствителен в своем диапазоне плотностей мощности оптического излучения [3], что увеличивает сложность и площадь приёмника. Отметим, что использование аппаратных методов расширения динамического диапазона не приводит к ухудшению быстродействия фотоприемника.

Вторая группа методов подразумевает применение новых алгоритмов обработки данных. Известен способ [4], при котором последовательно получается серия изображений одного и того же объекта при разных экспозициях, включающих весь диапазон яркостей (брекетинг экспозиции). После получения серии снимков для каждого пикселя изображения рассчитывается интерполированное значение фотосигнала. Недостатком алгоритмического метода является его ограниченная применимость (только для статических изображений), большие вычислительные и временные затраты при получении интерполированного изображения и возможность получения артефактов.

К третьей группе методов можно отнести режим *BLC* (*Back Light Compensation*), который реализуется в виде переключения порогов срабатывания электронного затвора ПЗС-матрицы (или диафрагмы объектива) и системы АРУ так, что они становятся на 10-20 % выше обычного. В результате, самые яркие объекты (например, светлое окно) "зарезаются в белом", а объекты среднего уровня (лицо человека, стоящего перед окном) усиливаются и становятся хорошо видимыми [1]. В итоге, режим *BLC* не расширяет динамический диапазон, а лишь сдвигает и искажает его для лучшего наблюдения темных объектов, ценой потери ярких. Модификации режима в виде дополнительного переключения, в которых срабатывают схемы автоматического регулирования (видеокамеры фирм *Watec*, *Sony* и др.), также требуют увеличения времени экспозиции фотоприёмника. Таким образом, режим "*BLC*" полезен в ряде случаев телевизионного наблюдения, но его нельзя использовать в автоматическом виде, так как камера "не знает", когда оператора интересует объект перед ярко освещенной поверхностью, а когда важным является изображение самой этой поверхности.

Таким образом, аппаратные методы имеют преимущества перед программными и комбинированными методами, т.к. их использование не приводит к ухудшению быстродействия системы и в ряде случаев позволяет получить новые функциональные свойства. В качестве основы для формирования приборных структур предлагается использовать полупроводники с собственной проводимостью, легированные глубокой многозарядной примесью. Выбор такого фотоприемника обусловлен следующими соображениями. Фотоэлектрические преобразователи изготавливают либо на основе полупроводников с примесной (с концентрацией до 10^{19} см$^{-3}$) прово-

димостью, либо полупроводников с собственной проводимостью. В первом случае достигается высокая чувствительность, но уже при малой плотности мощности наблюдается насыщение передаточной характеристики. Во втором случае насыщения не происходит и при высоких плотностях мощности оптического излучения, но чувствительность фотоприемника существенно ниже [5, 6].

При формировании такого фотоприёмника в полупроводник с собственной проводимостью вводится известная многозарядная примесь в заданной концентрации. Путем использования механизмов управления зарядовым состоянием глубоких примесных центров [7] при оптической перезарядке этой примеси в широком диапазоне плотностей мощности оптического излучения продлевается линейность энергетической характеристики до плотностей мощности излучения, превышающих порог насыщения характеристик и собственных и примесных фотоприемников. Таким образом, реализуется большой динамический диапазон энергетической характеристики фотоприемника.

Фотоприемник выполняется в одном объеме полупроводника с собственной проводимостью, легированного примесью с двумя и более глубокими многозарядными уровнями. Например, на рисунке 1 приведена энергетическая диаграмма *Ge* с собственной проводимостью, легированного *Au* (зарядовые состояния отмечены в скобках). Ряд примесей, например *Pt*, формирует три глубоких энергетических уровня. При этом конструкция фотоприёмника не усложняется, а характеристики приборной структуры с глубокими многозарядными примесями определяются, в основном, характером рекомбинационных процессов через уровни примеси.

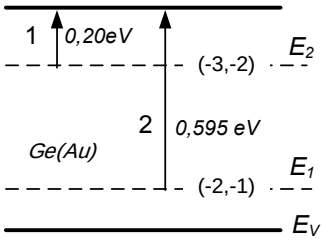


Рисунок 1 – Энергетическая диаграмма *Ge*, легированного глубокой примесью *Au*

Моделирование рекомбинационных процессов в фотоприёмных структурах с многозарядными примесями [8] показало, что наблюдаются два диапазона линейности энергетической характеристики, конкретный вид которой зависит от вида примеси и ее концентрации.

Автоматическая перезарядка зарядовых состояний глубокой многозарядной примеси при увеличении плотности мощности оптического сигнала приводит к формированию двух поддиапазонов энергетической характеристики фотоприемника уровней (рисунок 2).

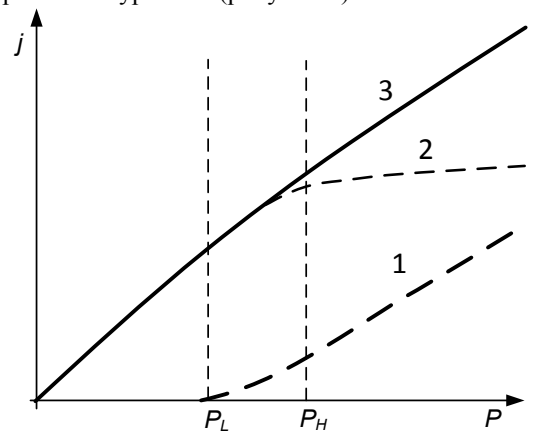


Рисунок 2 – Передаточная характеристика фотоприемника с тремя зарядовыми состояниями глубокой примеси

Первый поддиапазон соответствует линейной рекомбинации при низких плотностях мощности оптического излучения, меньших некоторого порогового значения P_L, а второй поддиапазон линейности энергетической характеристики наблюдается при высоких плотностях мощности оптического излучения больших P_H. Например, фоточувствительность германия с примесью, формирующей три зарядовых состояния (-1, -2, -3), определяется энергетическими переходами на глубокие уровни E_1 и E_2 (рисунок 1). При мощности оптического излучения $P < P_L$ большинство примесных ионов находится в зарядовом состоянии (-3), а концентрация зарядовых состояний (-2) и (-1) существенно меньше, и реализуется энергетический переход 1 с уровня E_2. При мощности оптического излучения $P > P_H$ большинство ионов многозарядной примеси находятся в зарядовом состоянии (-1), включается энергетический уровень E_1, а уровень E_2 не работает. При последовательном заполнении уровней многозарядной примеси при освещении с увеличивающейся плотностью мощности реализуется передаточная характеристика, обусловленная суммой зависимостей заполненности уровней E_1 и E_2 (рисунок 2). Подключение уровня E_2 характеризуется передаточной характеристикой (линия 2) с низкой чувствительностью, но простирающейся до больших уровней мощности оптического излучения, когда характеристика 1 поддиапазона высокой чувствительности находится в состоянии насыщения. В фотоприёмнике с однозарядной примесью реализуется передаточная характеристика типа 1.

Таким образом, при изменении мощности оптического излучения происходит изменение концентрации зарядовых состояний примеси с разными энергиями ионизации и автоматическое переключение между уровнями по мере их заполненности соответственно мощности оптиче-

ского излучения. Результатом является расширение динамического диапазона чувствительности фотоприемника (линия 3).

Отметим, что внутри поддиапазонов $P>P_H$ и $P<P_L$ энергетическая характеристика фотоприемника линейна (рисунок 3), а внутри поддиапазона $P_L<P<P_H$ вид энергетической характеристики может отличаться от линейной. Границами поддиапазонов чувствительности P_L и P_H можно управлять изменением концентрации многозарядной примеси и ее типом (рисунок 4).

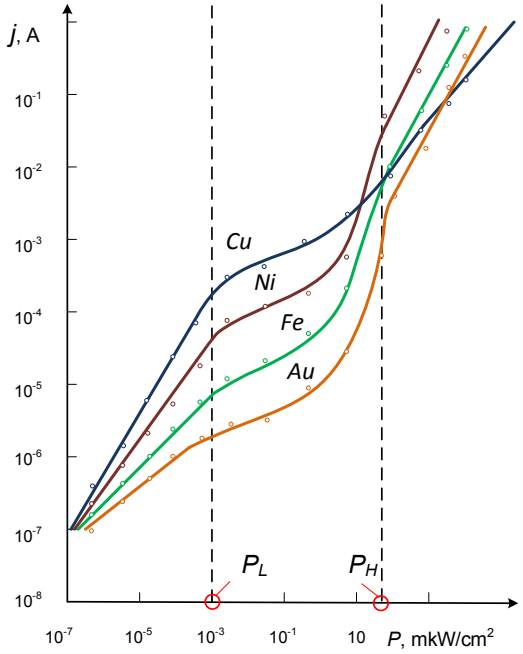


Рисунок 3 – Экспериментальные энергетические характеристики фотоприемника на основе германия, легированного *Ni*, *Fe*, *Cu*, *Ag* ($\lambda = 1{,}7$ мкм)

При изменении типа многозарядной примеси меняются также и положения уровней E_1, E_2, что приводит не только к изменению диапазонов регулировки границ переключения поддиапазонов чувствительности, но и к изменению спектральной чувствительности фотоприемника. Таким образом, за счет варьирования вида примеси и ее концентрации можно создавать не только фотоприёмники, работающие в заданном диапазоне плотностей мощности оптического излучения [8], но и оптически управляемые фотоприёмники [9].

Например, для изменения заселенности уровней глубокой примеси в различных зарядовых состояниях может использоваться подсветка на длине волны λ_0 (рисунок 5). В зависимости от плотности мощности сигнала с длиной волны λ_0 благодаря особенностям перезарядки примесных уровней в зависимости от уровня интенсивности управляющей подсветки реализуются различные зарядовые состояния многозарядной примеси и, соответственно, спектральные характеристики с максимумами на длине волны λ_1 или λ_2.

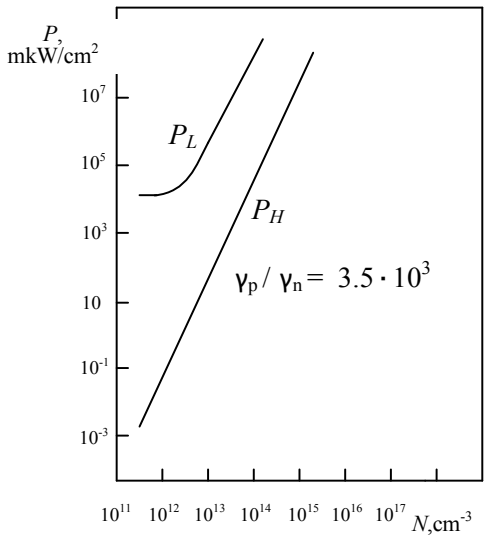


Рисунок 4 – Зависимость границ поддиапазонов энергетической характеристики от концентрации акцепторной примеси *Ge*(*Cu*)

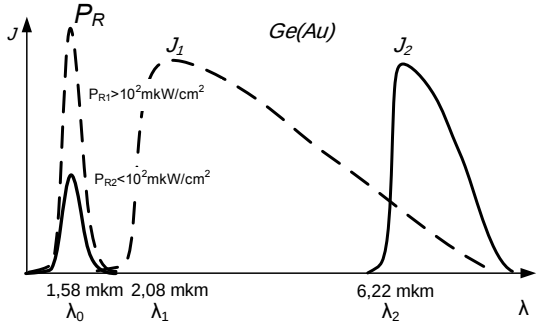


Рисунок 5 – Переключение спектральной характеристики фотоприемника с глубокой многозарядной примесью при дополнительной подсветке

Таким образом, изменяя интенсивность излучения из области собственного поглощения можно управлять концентрацией примеси в различных зарядовых состояниях с разными уровнями энергии ионизации (рисунок 1). При мощности управляющего излучения λ_0 $P<P_H$ работает уровень E_2 и фотоприёмное устройство чувствительно к излучению с длиной волны λ_1. При интенсивности управляющего излучения λ_0 $P>P_L$ работает уровень E_1 и фотоприёмное устройство чувствительно к излучению с длиной волны λ_2. Таким образом, за счет изменения интенсивности управляющей подсветки из области собственного поглощения включается спектральная чувствительность одной и той же фоточувствительной области фотоприёмника либо к спектральной области λ_1, либо – λ_2, причем при работе с интенсивностью управляющего излучения $P>P_H$ существенно расширяется динамический диапазон чувствительности фотоприёмного устройства [10]. Для реализации оперативного управления видом спектральной характеристики при использовании традиционных фотоприемни-

ков понадобилось бы использование в одном устройстве нескольких фотоприемников, каждый с оптическим фильтрующим элементом, светоделительное устройство и схема объединения электрических сигналов.

В предлагаемом фотоприёмном устройстве, изготовленном в одном объеме полупроводникового материала, реализуется возможность управления видом спектральной характеристики, расширение спектрального и динамического диапазона, исключение оптических фильтрующих элементов для формирования требуемого вида спектральной характеристики. Например, при использовании структуры *Ge*(*Cu*) реализуется переключение вида спектральной характеристики, определяемой включением зарядовых состояний на уровнях E_v + 0,32 эВ и E_c – 0,26 эВ (длины волн на спектральной характеристике λ_1=2,9 и λ_2=4,77 мкм). Для получения иных спектральных характеристик могут быть использованы структуры с другими полупроводниками и многозарядными примесями.

Отметим, что и расширение динамического диапазона и переключение спектральных характеристик реализуется при заполнении разных зарядовых состояний нескольких глубоких уровней примеси с различными постоянными времени рекомбинации. При изменении мощности оптического излучения (уровня инжекции) τ_n и τ_p в случае легирования акцепторной примесью изменяются на несколько десятичных порядков. Это приводит к тому, что при переходе на другой поддиапазон энергетической и спектральной характеристик, также существенно изменяется и быстродействие фотоприёмника с глубокой многозарядной акцепторной примесью.

Иная ситуация реализуется при введении в собственный полупроводник донорной глубокой примеси, когда уровень Ферми расположен выше уровня примеси и оптическая перезарядка центров в различных зарядовых состояниях не происходит. Примесный центр заполнен электронами как при низком, так и при высоком уровне инжекции, а значит τ_n и τ_p практически не будут зависеть от уровня инжекции (рисунок 6). Это, в свою очередь, приводит к тому, что на энергетической характеристике будет отсутствовать нелинейность между уровнями мощности P_L и P_H. Характеристика чувствительности будет линейна на всем динамическом диапазоне, не будет изменяться и быстродействие фотоприёмника. Однако устраняется возможность переключения спектральной характеристики.

Использование полупроводников с глубокими многозарядными примесями при создании фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей позволяет существенно (на несколько десятичных порядков) расширить динамический диапазон чувствительности фотоприёмника и получить новые функциональные свойства при сохранении высокого быстродействия.

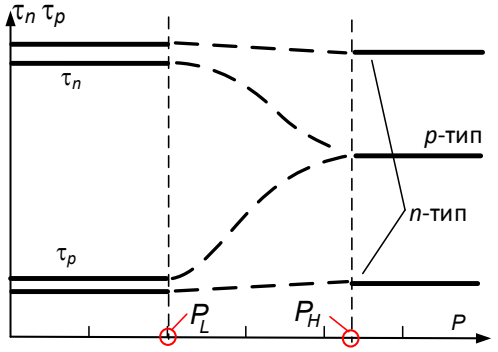


Рисунок 6 – Зависимости постоянной времени рекомбинации глубокой акцепторной и донорной примеси

1 Гвоздек Михаэль. Справочник по технике для видеонаблюдения. Планирование, проектирование, монтаж. Техносфера. 2010.
2 Каримов А.В., Ёдгорова Д.М., Гиясова Ф.А., Азимов Т.М., Бузруков У.М., Якубов А.А. Особенности фотоэлектрических характеристик фотоэлектропреобразовательных структур. Функциональная микро- и наноэлектроника. (2007). № 4. 23-28.
3 Revolutionary sensor blazes the way to a new era of high image quality – “Super CCD EXR” – www. fujifilm. com/photokina2008/ pdf/release/ super_ccd_exr_e.pdf.
4 Колобродов В.Г. и др. Способ получения цифрового изображения с большим динамическим диапазоном. Патент 2470366 России, МПК G06T 5/50.
5 Филачев А.Н. и др. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. Москва. Физматкнига, 2010.
6 Филачев, А.Н. и др. Твердотельная фотоэлектроника. Москва. Физматкнига. 2011.
7 Гусев О.К. и др. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями. – Минск: БНТУ. 2010.
8 Гусев О.К. и др. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями. Датчики и системы. (2011). № 1. – 22-24.
9 Гусев О.К. и др. Фотоприемное устройство, управляемое подсветкой. Патент № 15840 РБ, МПК H 01L 31/16.
10 Гусев О.К. и др. Алгоритм определения метрологических характеристик широкодиапазонных полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями. Приборы и методы измерений. 3 (2011) № 2. 19-22.

УДК 621:53.08

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА БАЗЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ДАТЧИКА

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К.[1], Тявловский А.К.[1], Тявловский К.Л.[1], Свистун А.И.[1], Шумский А.Э.[1] Колтунович Т.Н.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

[2]Люблинский технический университет, Люблин, Польша

В производственных процессах, использующих жидкие технологические среды необходимы методы измерения их параметров в режиме реального времени, когда измерительные преобразователи находятся в различных участках трубопроводов на значительном удалении от систем сбора и обработки информации. В разные моменты времени по одним и тем же узлам системы, состоящей из коммутируемой сети трубопроводов и накопительных емкостей, перекачиваются растворы различных типов, концентрации, температуры. Поэтому проведение операций контроля параметров жидких сред с требуемой погрешностью измерений невозможно без использования интеллектуальных измерительных преобразователей, самостоятельно принимающих решения о режиме и диапазоне измерений, способе компенсации погрешности от совокупности внешних факторов, характерных для выбранного режима измерения. Одной из задач при проектировании таких измерительных преобразователей является проектирование чувствительных элементов, обеспечивающих контроль нескольких параметров при использовании одного чувствительного элемента и одного измерительного информационного канала [1].

В настоящее время существует ряд методов [1, 2], позволяющих измерять отдельные параметры жидких сред в условиях определённости состояния технологической системы и самого измерительного прибора. Их применение в сложных пространственно-распределённых технологических системах возможно при условии использования дополнительных измерительных преобразователей, что приводит к усложнению конструкции измерительной системы, ограничивает возможности диагностики состояния технологической системы в режиме реального времени и уменьшает надёжность определения диагностируемого состояния.

Применение электродных [2] чувствительных элементов приводит, с одной стороны, к необходимости снижения влияния поляризационной составляющей проводимости раствора, с другой – к возможности определения типа раствора по виду и параметрам начального участка потенциодинамической характеристики [3]. При этом методическая погрешность измерений концентрации растворов электролитов устраняется введением в процедуру измерений операции идентификации типа раствора.

Применение трансформаторных датчиков (рисунок 1) позволяет исключить влияние поляризационных эффектов на погрешность измерения проводимости раствора, однако исключает и возможность определения типа раствора по анализу потенциодинамической характеристики [3].

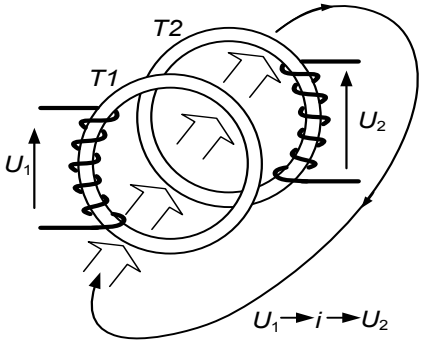


Рисунок 1 – Трансформаторный датчик измерения проводимости раствора

Трансформаторный датчик [4] образован двумя трансформаторами T1 и T2, связанными общей для обоих трансформаторов обмоткой, образованной одним витком раствора. Ток через раствор *i* пропорционален проводимости раствора. Эквивалентная схема трансформаторного датчика представлена на рисунке 2. Трансформаторы T1 и T2 представлены классическими эквивалентными Т-образными схемами (А и В). Элементы эквивалентной схемы, соответствующие раствору, расположены между точками S1 и S2. Индуктивность L_1 моделирует конечную подвижность ионов, а ее часть L_{1V} – значение подвижности ионов, зависящей от концентрации раствора n, представленной на модели элементом r_S.

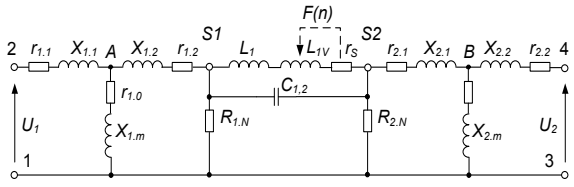


Рисунок 2 – Эквивалентная схема измерительной ячейки

Наличие в эквивалентной схеме измерительной ячейки на базе трансформаторного датчика инерционных элементов, параметры которых зависят от типа ионов [5], позволяет информаци-

онный сигнал от одного и того же датчика использовать и для определения типа и для измерения концентрации раствора [1].

Основной информативный параметр измерительного сигнала представляет собой активную составляющую напряжения, несущую информацию о размере измеряемой физической величины C(j). Второй параметр, являющийся неинформативным в базовом методе измерений, представляет собой фазовый сдвиг, частично определяемый подвижностью ионов, и содержит информацию о типе электролита в трубопроводе.

Диапазоны реализуемых значений фазовых сдвигов различных растворов (рисунок 3) перекрываются (диапазоны I и II на рисунке), но особенности конкретных технологических процессов либо не допускают определенных последовательностей смены растворов, либо не реализуют тех концентраций, при которых формируется перекрытие фазовых сдвигов.

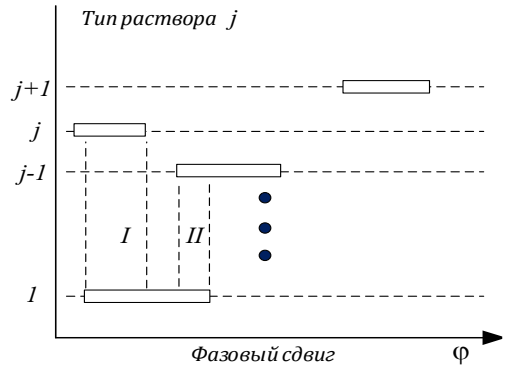


Рисунок 3 – Соотношения реализуемых фазовых сдвигов и типа растворов

Функциональная схема измерительного преобразователя с трансформаторным датчиком представлена на рисунке 4.

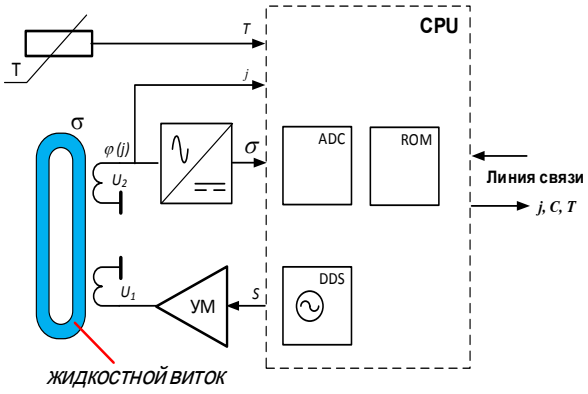


Рисунок 4 – Функциональная схема измерительного преобразователя

Измерительный преобразователь для адаптационного управления режимами работы и анализа многопараметрического измерительного сигнала выполнен на микроконтроллере AVR. Алгоритм идентификации и разделения технологических растворов использует односигнальную схему измерения [1], и по сравнению с измерительным преобразователем, использующим потенциодинамическую характеристику электродного сенсора, проще, не требует дополнительных процедур переключения режима возбуждения датчика. Учитывая зависимость параметров эквивалентной схемы от температуры раствора, управляющий контроллер дополнительно осуществляет измерение температуры для внесения необходимых коррекций в результаты измерений табличным методом. Для генерации напряжения возбуждения обмотки трансформатора T1 используется метод цифрового табличного синтеза формы генерируемого напряжения (DDS). Благодаря относительно высокой частоте напряжения возбуждения (единицы кГц) измерение индуктивной составляющей проводимости раствора производится методом измерения сдвига фаз с усреднением по нескольким периодам. Затем измеренное значение сравнивается с табличными значениями фазовых сдвигов U_1, U_2, характерных для различных типов растворов и экспериментально определенных ранее. Необходимость использования нескольких каналов АЦП легко реализуется для большинства современных микроконтроллеров. В отличие от работы анализатора типа раствора, контролирующего параметры начального участка потенциодинамической характеристики, в предложенном методе не требуется переключение режимов работы DDS-генератора, запоминание "уровня воды" потенциодинамической характеристики, формирование задержек в алгоритме измерения.

1. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О.К. Гусев [и др.]; под общ. ред. О.К. Гусева. – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
2. Брусиловский Л. П., Вайнберг А. Я. Приборы технологического контроля в молочной промышленности: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 288 с.
3. Гусев О.К. Идентификация растворов в технологических трубопроводах на основе явления динамической поляризации // Измерительная техника. – 2004. – № 7. – С. 60 – 62.
4. Сайт компании Автоматика–Север [Электронный ресурс] / Официальный дистрибьютор компании EndressHauser – Режим доступа: http:// www.avt.com.ru/ techdokrus/ analiz/CLS50.pdf. –Дата доступа: 23.04.2012.
5. Худякова Т. А., Крешков А. П. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа / Под общей редакцией А. П. Крешкова. – М.: Химия, 1976. – 304 с.

УДК 621.372.826

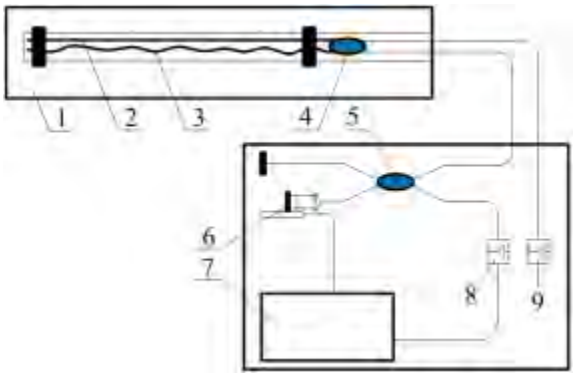
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Гончаренко И.А., Иваницкий А.Г., Рябцев В.Н.
ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

О повышенной опасности (в т.ч. пожарной) высотных зданий свидетельствуют примеры пожаров, произошедших в мире. Одной из наиболее актуальных проблем является обеспечение надежного восприятия несущими строительными конструкциями проектных нагрузок после пожара. Данная задача решается на стадии проектирования расчетом соответствия нормируемому пределу огнестойкости. Однако расчет не показывает фактического состояния несущей конструкции после пожара. Поэтому сегодня наиболее эффективным способом прогнозирования и предупреждения аварийных ситуаций является мониторинг технического состояния зданий и сооружений на стадиях их строительства и эксплуатации, проводящийся на регулярной или постоянной основе. В настоящее время в Республике Беларусь создается необходимое нормативно-методическое обеспечение разработки и внедрения систем строительного мониторинга. В частности, [1] регламентирует оснащение системами мониторинга состояния несущих конструкций всех проектируемых высотных зданий, которые должны работать совместно с другими системами мониторинга и управления, образуя единую автоматизированную систему управления зданием. Данная система позволяет в режиме реального времени передавать информацию в дежурно-диспетчерские службы для оценки, предупреждения и ликвидации последствий дестабилизирующих факторов с целью своевременного оповещения и управления эвакуацией находящихся в здании людей.

Для осуществления мониторинга состояния несущих конструкций предлагается оптический датчик, позволяющий измерять направление, величину и локализацию изгибов и напряжений несущих конструкций, на основе волоконно-оптических интерферометров. Внедрив волоконно-оптические сенсоры в структуру сооружений, можно отслеживать изменение их состояния в течение времени, собирая на центральном пункте слежения большое число непрерывных измерений. Использование оптических волокон в качестве чувствительных элементов позволяет создавать измерительные системы, обладающие малыми габаритами и весом; высокой механической прочностью; стойкостью к повышенным температурам, вибрациям и другим воздействиям окружающей среды; высокой скоростью передачи данных и др. [2]. Датчики можно устанавливать непосредственно заделкой в бетон или на поверхности исследуемой конструкции при ее изготовлении или монтаже не нарушая график проведения строительных и эксплуатационных работ.

Структурная схема интерферометрического датчика представлена рис. 1. Датчики на основе волоконно-оптических интерферометров представляют собой несколько волокон, объединенных разветвителями. Одно или несколько волокон (измерительные волокна) жестко связаны с измеряемым объектом и следуют за всеми его деформациями. Еще одно волокно, расположенное в трубке свободно, т.е. таким образом, что любые перемещения структуры не вызовут его деформаций, служит в качестве опорного. Возникновение изгибов или напряжений в объекте приводит к изменению оптической длины измерительных волокон и, соответственно, к смещению интерференционной картины суммарного излучения после разветвителя.



1 – исследуемая структура; 2 – измерительное волокно; 3 – опорное волокно; 4–5 – разветвители; 6 – подвижное зеркало; 7 – блок обработки данных; 8 – фотодиод; 9 – светодиод.
Рисунок 1 – Структурная схема волоконно-оптического интерферометрического датчика

Свет от источника с помощью разветвителя делится в равном соотношении и направляется по оптическим волокнам. Пройдя по волокнам, свет отражается зеркалами на торцах волокон. Отражательные элементы, измерительное и опорное волокна и разветвитель 4 образуют интерферометр Майкельсона с подвижными зеркалами, что позволяет довольно точно определять разницу оптического пути света между опорным и измерительными волокнами. Интерференционный сигнал с первого интерферометра подается на второй интерферометр Майкельсона, образуемый оптическими волокнами, объединенными

разветвителем 5. Длина одного из плеч второго интерферометра изменяется с помощью подвижного зеркала. Интерференционный сигнал со второго интерферометра регистрируется фотодетектором и передается для анализа на блок обработки данных.

В результате перемещения подвижного зеркала формируется интерференционная картина с тремя пиками когерентности (рис. 2). Центральный пик образуется при равновесии двух плеч интерферометра Майкельсона, т.е. при отсутствии разности оптического пути. Боковые пики соответствуют двум положениям подвижного зеркала, при которых разность оптических длин плеч второго интерферометра соответствует оптической разности хода в первом интерферометре. Таким образом, разность между положением центрального и одним из боковых пиков соответствует разности плеч первого интерферометра, т.е. смещению измеряемого объекта. Положение пиков может быть определено с точностью до 2 мкм по длине волокна [3].

Для обеспечения непрерывности и точности изменений перемещение зеркала осуществляется с помощью пьезоэлектрического корректора перемещений. Подавая переменное управляющее напряжение на электроды корректора, можно производить плавное перемещение зеркала и, тем самым, с достаточной точностью определять деформацию исследуемой конструкции.

Таким образом, внедрение на объектах высотного строительства системы контроля состояния несущих конструкций, позволит не только осуществлять мониторинг напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, но и обеспечить передачу информации в дежурно-диспетчерские службы для оценки, предупреждения и ликвидации последствий дестабилизирующих факторов с целью своевременного оповещения и эвакуации людей.

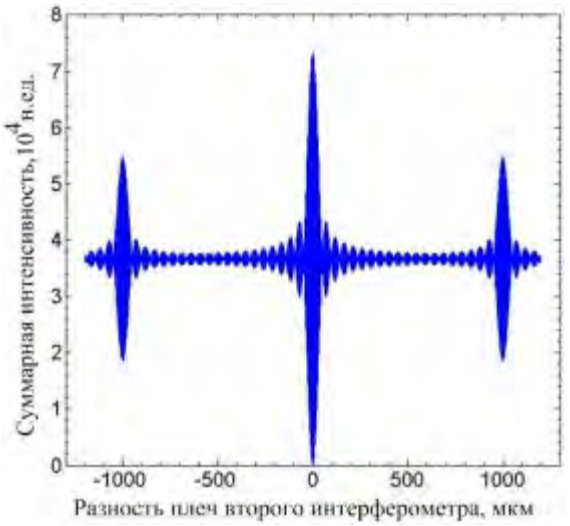


Рисунок 2 – Интерференционная картина на выходе второго интерферометра

1. ТКП 45–3.02–108–2008 Высотные здания. Строительные нормы проектирования // Полнотекстовая информационно-поисковая система «СтройДОКУМЕНТ» [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. и прогр. (700 Мб). – Минск, НПП РУП «Стройтехнорм», 2007. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Гончаренко, И.А. Датчики контроля состояния инженерных и строительных конструкций на основе оптических волноводных структур / И.А. Гончаренко, В.Н. Рябцев // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. –2013. – № 2 (18). – С. 118–132.
3. Inaudi, D. Fiber optic sensors for structural control / D. Inaudi, A. del Grosso // Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. – October 12–17, 2008. – Beijing, China. – Paper No. S 25–013.

УДК 681.2

РАСЧЕТ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Горохов А.В.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д. Ф. Устинова Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассматривается вопрос расчета областей достижимости зенитной управляемой ракеты RIM-161.

При расчете и проектировании баллистических ракетных комплексов требуется решать проблему траекторной безопасности. Актуальность данного вопроса особенно велика в условиях, активного развития и развертывания систем противоракетной обороны. Для решения задач безопасности полета требуется знание динамических возможностей и областей средств перехвата.

Одним из передовых представителей систем противоракетной обороны является зенитная управляемая ракета RIM-161 «Standard Missile 3», которая была принята в качестве прототипа для выполнения расчета (конструктивно-компановочная схема представлена на Рис. 1 аэродинамическая на Рис. 2). Комплекс SM-3, по заявлениям разработчиков, представляет наибольшую угрозу для баллистических ракет малой и средней дальности на высотах до 250 километров.

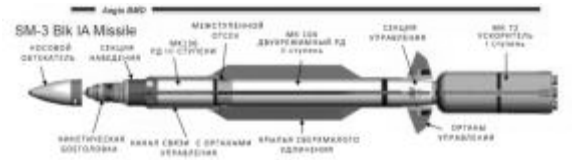


Рисунок 1 – Конструктивно-компановочная схема ЗУР RIM-161 «Standard Missile 3»

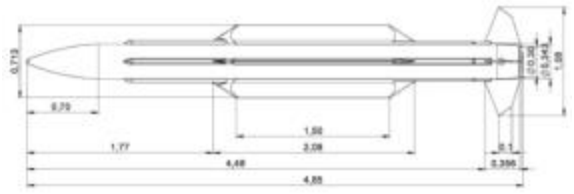


Рисунок 2 – Аэродинамическая схема ЗУР RIM-161 «Standard Missile 3»

Исследование динамических возможностей RIM-161 проводилось в 2 этапа:

1 Расчет аэродинамических характеристик.

2 Расчет областей достижимости при наличии ограничений на управление.

На первом этапе был произведен расчет аэродинамических коэффициентов ЗУР SM-3, необходимых для выполнения дальнейшего анализа. Расчет проводился с использованием пакета Solid Works 2012 для всего диапазона предполагаемых скоростей – от M=1.5 до M=4 – на углах атаки α = 0, α = 10 градусов. Выбранный диапазон скоростей соответствует участку работы второй, маршевой ступени. В таблице 1 приведены результаты расчета.

Таблица 1

M	C_x		C_y
	α, град		α, град
	0	10	10
1,5	0,8604	0,8646	0,4050
2	0,5961	0,6243	0,3855
3	0,3743	0,4155	0,4155
4	0,2818	0,3331	0,2972

Далее был выполнен расчет областей достижимости SM-3 учетом полученных аэродинамических коэффициентов.

Областью достижимости ЛА в вертикальной плоскости называется совокупность точек, в которые может попасть ЛА к заданному моменту времени из начальной позиции при переборе всевозможных программ управлений, удовлетворяющих ограничению на управление.

Расчет выполнялся последовательно для каждого характерного участка траектории (см. таблицу 2). Начальные параметры каждого последующего участка - конечные для предыдущего.

Расчет верхней границы области достижимости проводился путем решения задачи о максимальном смещении летательного аппарата в заданном направлении методом Крылова-Черносько. Расчет нижней границы проведен следующим методом: выполняется расчет траекторий движения ЛА с ведением точки переключения управления с минимального на максимальное и наоборот. Время переключения варьируется от 0 до момента окончания расчета.

Таблица 2

5	Кинетический перехватчик Mk142 с РДТТ боковой коррекции. 16 сек
4	Доразгонная твердотопливная ступень Mk136. Сброс обтекателя. 20 сек
3	Баллистическая пауза. 0-60сек
2	Разгонная (маршевая) твердотопливная ступень Mk104. 40 сек
1	Стартовая разгонная твердотопливная ступень Mk72. 6 сек

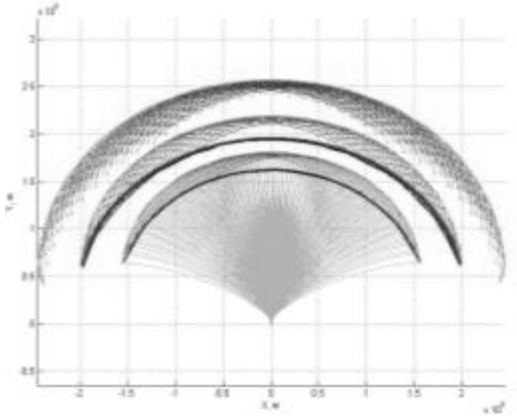


Рисунок 3 – Область достижимости, баллистическая пауза 60 с

На рис.3 представлена область достижимости зенитной управляемой ракеты Standard Missile 3, полученная в результате последовательного расчета всех этапов полета. Верхняя дуга области соответствует моменту окончания работы ступени перехватчика mk 142.

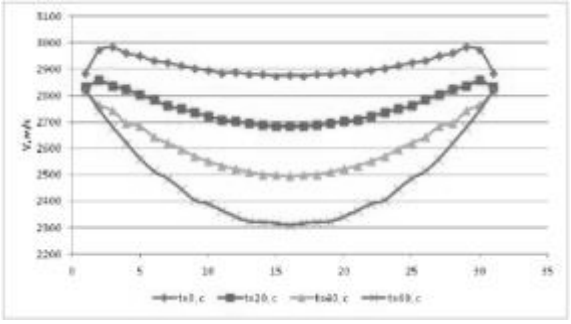


Рисунок 4 – График распределения скорости на верхней границе области, баллистическая пауза 60 с

Таблица 3

бп, с	H, м	h, м	D, м	V1, м/с	V2, м/с
0	172548	49967	292060	2878	2887
20	204190	52207	354253	2684	2832
40	232134	51081	416016	2496	2814
60	256397	46463	476877	2310	2820

где бп – продолжительность баллистической паузы, H – максимальная высота, h –минимальная высота, D – диаметр области, V1 и V2 – скорости ЛА в центральной и крайней точках соответственно.

Следует отдельно обратить внимание на область достижимости последней ступени (см. рис. 5) – кинетического перехватчика, оснащенного РДТТ коррекции положения и ориентации, с 10 высокочастотными соплами.

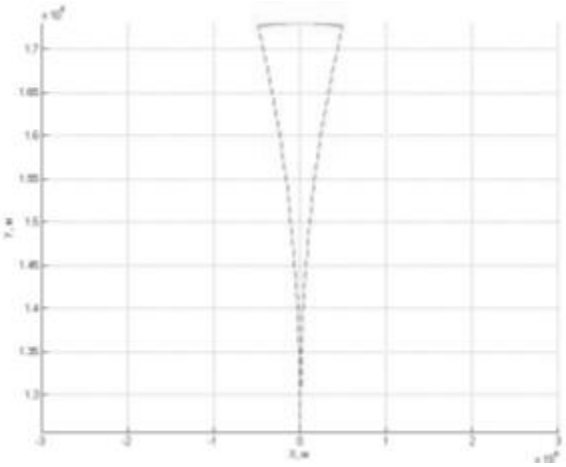


Рисунок 5 – Область достижимости кинетического перехватчика mk-142

Таблица 4

H, м	h, м	D, м
52548	52606,27	9853

Как видно из таблицы 4 - максимальная боковая коррекция ступени перехвата составляет порядка 4.5 км на дальности полета в 52,5 км при отсутствии пассивного участка по окончании работы РДТТ второй ступени.

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие заключения: максимальная высота поражения цели зенитной управляемой ракетой RIM-161 «Standard Missile 3» при учете принятых допущений и продолжительности баллистической паузы в 60 секунд составляет 256 километров при скорости в 2310 м/с, продолжительность полета при этом равняется 142 секундам. Максимальный радиус поражения целей при этих условиях составляет 238,5км.

Результаты исследования, приведенные в таблице 3 и рисунках 2 и 3, подтверждаются тактико-техническими характеристиками и натурными испытаниями, в ходе которых на высоте 247 километров был поражен военный спутник USA-193 двигавшийся со скоростью 7580 м/с., что так же подтверждает достоверность аэродинамических коэффициентов, полученных в первой части исследовательской работы.

В связи с чем полученные результаты представляется возможным использовать в дальнейшем, при исследовании игровых методов наведения в околоземном пространстве.

1. Шалыгин А.С. «Аэродинамические характеристики летательных аппаратов». – СПб.: БГТУ, 2003. – 119 с.
2. Горохов А.В. «Зенитная управляемая ракета Standard-3 (SM-3/RIM-161)» [Электронный ресурс]. – http://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/sm3/sm3/shtml – (дата обращения 25 августа 2014 г.)

УДК 681.785.554

МАЛОАБЕРРАЦИОННЫЙ МОНОХРОМАТОР ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВЫЧИТАНИЕМ ДИСПЕРСИИ

Гулис И.М., Купреев А.Г.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Спектроскопия с пространственным разрешением (СПР) это интенсивно развивающаяся область с приложениями в геологии, экологии, сельском хозяйстве, промышленности и других областях человеческой деятельности [1]. Задача СПР – получение изображения множества элементов исследуемой области пространства со спектральным разрешением от десятков нм (мульиспектральный анализ) до долей нанометра (гиперспектральный анализ). Для эффективного использования СПР необходима специальная спектральная аппаратура, к которой предъявляются требования не только по спектральному разрешению, но и по изображающим характеристикам.

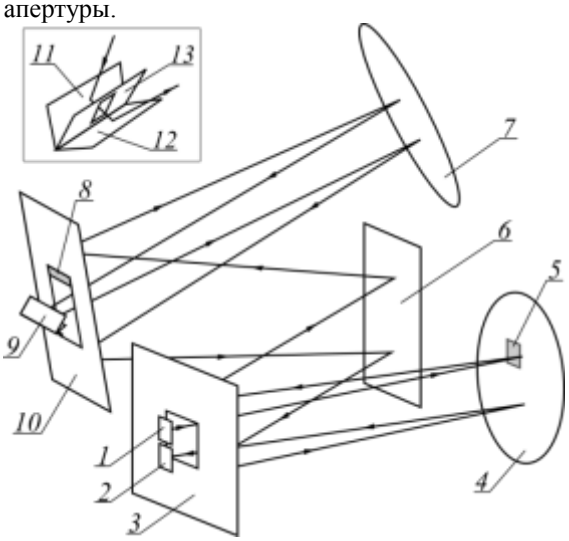
Анализ аппаратных решений для СПР позволяет сделать заключение о перспективности разработки монохроматора изображения – прибора для узкополосной спектральной фильтрации на базе дисперсионного монохроматора. Использование диспергирующей системы для спектральной фильтрации потенциально обеспечивает улучшенное спектральное разрешение и подавление фона по сравнению с системами для мультиспектральной съемки на базе полосовых или перестраиваемых фильтров (значимость подавления фона существенно возрастает при уменьшении спектральной ширины выделяемой полосы). Отличие от систем со сканирующей щелью – независимость спектрального и пространственного разрешений, за счет чего возможно увеличение входной щели для единовременной регистрации всей входной апертуры в узком спектральном диапазоне. Для многих рутинных

задач мультиспектральной съемки достаточно разрешение порядка 10 нм. В то же время, к изображающим характеристикам оптической системы прибора предъявляются гораздо более жесткие требования, чем к гиперспектрометрам со сканирующей щелью, поскольку требуется работать с протяженным в двух измерениях входным полем.

В работе [2] предложен метод мультиспектральной съемки с использованием двойного монохроматора с вычитанием дисперсии. Широкая входная апертура прибора формирует в фокальной плоскости камерного объектива первого монохроматора совокупность смещенных хроматических изображений, из которой при помощи щелевой маски выделяется участок. Он подается на вход второго монохроматора с вычитанием дисперсии, формирующего изображение входной апертуры без спектрального «размытия». Существенная особенность схемы – вычитание дисперсии обратным прохождением выделенного маской пучка через ту же оптическую систему, что автоматически обеспечивает требуемую идентичность двух монохроматоров и позволяет сканировать по спектральному диапазону поворотом диспергирующего элемента. Симметричный разворот светового пучка для обратного прохождения осуществляется двумя плоскими зеркалами, расположенными подобно уголковому отражателю так, что в их биссекторной плоскости формируется промежуточное изображение. Показано, что спектральное разрешение при таком способе регистрации не зависит от размера входной апертуры, а определяется шириной щелевой маски; пространственное разрешение лимитируется аберрационными характеристиками изображающей системы и пиксельностью детектора.

Для уменьшения оптических аберраций системы (в первую очередь, астигматизма и комы) предложен вариант оптической схемы, в котором минимизировано отклонение световых пучков от осей сферических зеркальных объективов (рисунок 1). Пучок от входной апертуры *1* коллимируется объективом *4*, после отражения от плоского зеркала *3* падает на дифракционную решетку *6*. Диспергированные компоненты посредством плоского зеркала *10* направляются на объектив *7*, формирующий в плоскости маски *13* совокупность хроматических изображений апертуры. Выделенные маской хроматические световые пучки идут симметрично прямому прохождению и после вычитания дисперсии решеткой *6* пространственно совмещаются на детекторе *2*.

Для оценки изображающих характеристик и светопропускания схемы с учетом потерь на апертурных отверстиях проведено численное моделирование в пакете оптического дизайна. Исследовано прохождение световых пучков номинальной числовой апертурой 0,11 от точек в центре, углах и серединах сторон входной апертуры.



1 – входная апертура; 2 – детектор; 3, 10 – плоское зеркало с апертурным отверстием; 4 – коллиматорный зеркальный объектив; 5, 8 – светопоглощающий экран; 6 – дифракционная решетка; 7 – камерный зеркальный объектив; 9 – зеркальный отражатель со щелевой маской. На врезке: зеркальный отражатель со щелевой маской; 11, 12 – плоские зеркала, 13 – маска с отверстием.

Рисунок 1 – Оптическая схема дисперсионного монохроматора изображения с вычитанием дисперсии (схематичное прохождение светового пучка обозначено стрелками)

Имитация полихроматического светового излучения проводилась дискретным набором длин волн, задаваемых с шагом 4 нм в диапазоне 480–520 нм. Оценивалась работа оптической системы с увеличением 1:1, поэтому входная *1* и выходная *2* апертуры имеют размер 7,18×5,32 мм, соответствующий промышленно выпускаемой серии матриц с диагональю 1/1.8". Фокусное расстояние коллиматорного *4* и камерного *7* объективов 333,5 мм, дифракционная решетка *6* имеет 1200 штр./мм. Апертуры симметрично разнесены в разные полупространства относительно плоскости симметрии (расстояние до ближнего края апертуры 1,33 мм), но лежат в одной плоскости.

Угол между зеркалами отражателя *11* и *12* равен 87,8º, так что после отражения от первого зеркала главный луч пучка от центра апертуры перпендикулярен биссекторной плоскости, а промежуточное изображение формируется вблизи ее. Благодаря такой конфигурации обратное прохождение симметрично прямому для осевых пучков. Световые пучки вводятся в систему и выводятся на детектор через отверстия в плоских

зеркалах *3* и *10*.

Рассчитанная полуширина профилей пятен рассеяния на всем поле не превышает 20 мкм. При продольном смещении плоскости изображения (дефокусировке) в пределах ±50 мкм от оптимального положения полуширина не превышает 22 мкм. Эффективное число разрешаемых пространственных элементов составляет порядка 8×10^5. Моделирование подтвердило выполненные теоретические оценки ширины выделяемой спектральной полосы для точки объекта, в частности, при ширине отверстия в маске 1 мм она равна 2,4 нм (теоретическое значение 2,5 нм). Минимально достижимая ширина спектральной полосы определяется требованиями к ширине общего спектрального диапазона всех точек изображения при единовременном снимке.

Для устранения засветки детектора использованы два светопоглощающих экрана: прямоугольник *5* размером 13,6×10,8 мм, расположенный вблизи центра объектива *4*, и прямоугольник *8* размером 6×18,4 мм над апертурным отверстием плоского зеркала *10*. Потери света на них в среднем по полю не превышают 21%, что эквивалентно фактической апертуре не менее 0,087.

Моделирование показало, что благодаря близкому к аксиально-симметричному прохождению светового потока внеосевые аберрации в такой схеме существенно меньше, чем в схеме, предложенной в [2]. В совокупности с широким входным отверстием и средней числовой апертурой это позволяет использовать схему в качестве основы для построения монохроматора изображения. Система обладает небольшими габаритными размерами (оценочно не более 350×300×280 мм) и пригодна для создания мобильных устройств, ориентированных на полевые применения. Технологичная элементная база – сферические зеркальные объективы, плоские зеркала, плоская отражательная дифракционная решетка – делает ее перспективной для массовых недорогих приборных решений мультиспектральной съемки.

1. Borengasser M., Hungate W., Watkins R. Hyperspectral remote sensing: principles and applications. – Boca Raton, CRC Press, 2007. – 128 p.
2. Гулис И.М., Купреев А.Г., Костюкевич А.Г. Двойной монохроматор изображения с вычитанием дисперсии // Весн. Беларус. дзярж. ун-та. Сер. 1. – 2011. – №2. – С. 19-23.

УДК 57.086.8:621.317.321

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ IN VIVO

Гусев О.К.[1], Жарин А.Л.[1], Цедик Л.В.[2], Тявловский А.К.[1], Свистун А.И.[1], Дубаневич А.В.[1]
[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*Институт порошковой металлургии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

Привлекательность метода контактной разности потенциалов (метода Кельвина) для биохимических исследований определяется возможностью выполнения измерений при нормальных условиях без использования высоких температур, вакуума, воздействия на образец ионизирующим излучением или пучком заряженных частиц, что позволяет производить исследования *in vivo*. Особенный интерес представляет исследование взаимодействия клеток и органических молекул (ДНК, РНК, нуклеотидов, антител и т.д.) с различными субстратами, поскольку такое взаимодействие чаще всего происходит с участием сил Кулона и, таким образом, связано с перераспределением электрического заряда в системе биохимический образец – субстрат. Существующие электрометрические зонды обеспечивают чувствительность к изменению потенциала поверхности на уровне 1 мВ при поперечных размерах зонда до 1 мкм и менее, что позволяет регистрировать и исследовать взаимодействие с субстратом отдельных клеток. В то же время, несмотря на появление в последнее время соответствующих разработок [1], практическое применение метода контактной разности потенциалов в биологии сдерживается сложностью интерпретации получаемых результатов. Выходной сигнал зонда Кельвина пропорционален не собственно электрохимическому потенциалу биологического образца, а разности потенциалов образца и электрометрического зонда – так называемая контактная разность потенциалов (КРП). Вследствие этого результаты измерений, выполненных с использованием различных зондов либо при различных условиях, будут различными. Обеспечить сопоставимость результатов измерений можно при реализации сканирования поверхности образцов непосредственно в процессе воздействия биологического препарата на субстрат при неизменных внешних условиях. При этом желательно, чтобы в одном сканировании были проанализированы все состояния субстрата от исходного (без препарата) до конечного с максимальной концентрацией препарата на поверхности субстрата. При интерпретации получаемых результатов необходимо учитывать, что

знак изменения КРП противоположен знаку изменения электрохимического потенциала, т.е. увеличение КРП соответствует уменьшению электрохимического потенциала, и наоборот.

В исследованиях для отображения различных стадий воздействия биологического препарата использовались три одинаковых подложки (субстрата), первая из которых имела чистую поверхность, на вторую был нанесен физиологический раствор без клеточного препарата (начальные условия, нулевая концентрация клеток), на третью – физиологический раствор с живыми базовыми клетками. Измерения выполнялись в режиме двухкоординатного сканирования с заданной разрешающей способностью (для сокращения времени измерений) 1,5 мм. Сканирование производилось построчно (направление движения зонда на восстановленном изображении слева направо, порядок считывания строк снизу вверх).

Результаты сканирования поверхности трех указанных образцов из силикатного стекла, выполненного непосредственно после нанесения на два образца физиологического раствора и биологического препарата, показаны на рисунке 1.

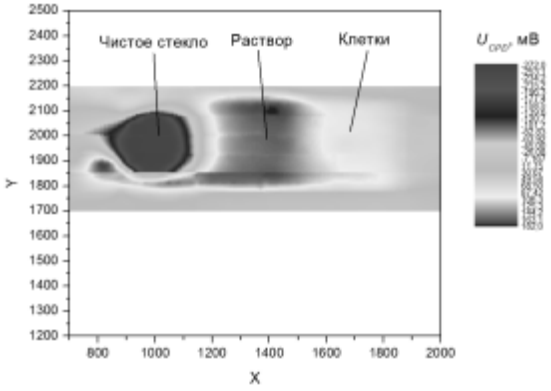


Рисунок 1 – Визуализация изменений электрохимического потенциала поверхности силикатного стекла при воздействии биологического препарата

При сканировании непосредственно после нанесения препарата были получены следующие результаты:

– Среднее значение КРП на свободной поверхности стекла (чистое стекло) $U_1 = -263$ мВ.

– Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором без клеток $U_2 = 160$ мВ.

– Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором с клетками $U_3 = 87$ мВ.

Разности измеренных значений КРП позволяют количественно охарактеризовать изменение электрохимического потенциала, вызванное воздействием на поверхность (в данном случае, нанесением раствора):

– Разность раствор - стекло составляет 423 мВ.

– Разность раствор с клетками – чистый раствор составляет–73 мВ.

При сканировании через 1 ч после нанесения препарата (время, достаточное для высыхания раствора) была получена картина распределения КРП, визуализация которой приведена на рисунке 2. Количественные параметры распределения КРП после высыхания раствора и биологического препарата следующие:

– Среднее значение КРП на свободной поверхности стекла (чистое стекло) $U_1 = -215$ мВ.

– Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором без клеток $U_2 = 112$ мВ.

– Среднее значение КРП поверхности, смоченной раствором с клетками $U_3 = 40$ мВ.

– Разность раствор - стекло составляет 327 мВ.

– Разность раствор с клетками – чистый раствор составляет –72 мВ.

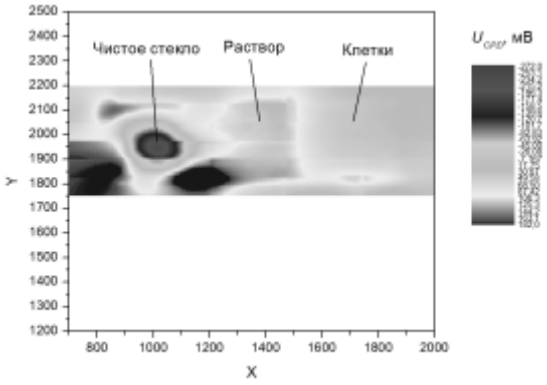


Рисунок 2 – Визуализация изменений электрохимического потенциала поверхности силикатного стекла после высыхания биологического препарата

Для удобства сопоставления визуализированные изображения были приведены к одной условной яркостной шкале. Видно, что для чистого стекла увеличение среднего значения КРП с – 263 до – 215 мВ обусловлено уменьшением размеров «пятна» с большими отрицательными значениями КРП. Учитывая высокое удельное сопротивление стекла, можно предположить, что исходное «пятно» связано с наведенным (например, в результате трибоэлектризации) зарядом, а его уменьшение отражает процесс постепенного стекания заряда с поверхности стеклянной пластины, расположенной на заземленном проводящем основании. Поверхности, смоченные солевым раствором (без биологического препарата и с биологическими препаратом) имеют более высокую проводимость и потому не способны накапливать электрический заряд. В процессе высыхания испаряется только непроводящий растворитель, тогда как соли остаются на поверхности стекла, вследствие чего при высыхании наблюдается сравнительно небольшое изме-

нение КРП приблизительно на 50 мВ, причем в сторону уменьшения, а не увеличения, как в случае чистого стекла. Обращает на себя внимание практически одинаковое изменение КРП как для поверхности, смоченной раствором без клеток, так и для поверхности, покрытой биологическим препаратом (до высыхания разность средних значений КРП этих двух поверхностей составляет минус 73 мВ, после высыхания минус 72 мВ).

Проведенные исследования позволили выявить некоторые закономерности изменения электрофизических свойств субстрата (силикатного стекла) при воздействии на него биологического препарата. Можно сделать вывод, что присутствие в растворе живых клеток повышает значение биохимического потенциала поверхности, на которую нанесен раствор. Величина повышения может быть определена путем сравнения КРП поверхности, покрытой раствором с биологическим препаратом с КРП поверхности, покрытой чистым раствором. Сравнение с чистой (не покрытой раствором) поверхностью диэлектрика затруднено из-за возможного присутствия на непроводящей поверхности электрического заряда. Аналогичные исследования с использованием полимерного субстрата на основе полиакрила показали высокую склонность полимера к электризации и накоплению заряда, препятствующую получению достоверных и стабильных результатов с помощью электрометрического зонда. В процессе исследований непосредственный контакт электрометрического зонда с раствором, содержащим биологический препарат, отсутствовал, зонд оставался стерильным, все измерения выполнялись при нормальных условиях. Таким образом, исследования изменений электрохимического потенциала биологических препаратов методом КРП могут выполняться *in vivo*, при этом для субстрата должны использоваться материалы, не склонные к электризации.

1. Scanning Kelvinmicroprobe system and process for biomolecule microassay: United States patent No. US 2004/0029131 A1, Int. CI. G12Q 1/68. / Michael Thompson, Larisa-Emilia Cheran, Mark McGovern. – Filed: May 18, 2001. – Date of patent: Feb 12, 2004.

УДК 535.24

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОРАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ И СВЕТОДИОДОВ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ ОТ 250 ДО 900 НМ

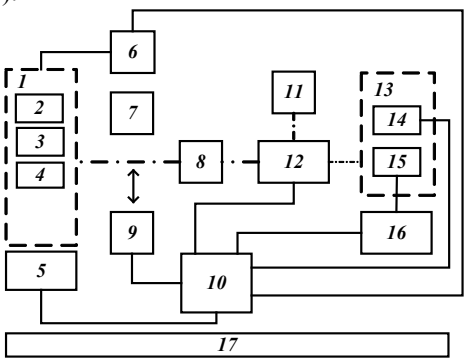
Данильчик А.В., Длугунович В.А., Ждановский В.А., Крейдич А.В., Липлянин А.А., Луценко Е.В., Никоненко С.В., Ржеуцкий М.В.
Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

В последнее время существенно расширилась область применения твердотельных источников излучения (ТТИИ), в частности источники излучения в ультрафиолетовой (УФ) области спектра на основе компактных и долговечных лазерных диодов (ЛД) и светоизлучающих диодов (СИД). Качество, и особенно безопасность, изделий созданных на основе ЛД и СИД во многом, определяются точностью измерения их характеристик. К сожалению, в настоящее время на международном уровне еще не разработаны не только убедительные методики измерений оптических характеристик СИД, но даже номенклатура измеряемых параметров и характеристик не нормирована. Те не менее, использование СИД и лазерной техники, особенно работающей в УФ диапазоне, не имеющей подтверждения оптических характеристик метрологическими органами, может привести к отрицательным последствиям как на качестве работ, проводимых с такой техникой, так и представлять угрозу человеческому здоровью.

В Институте физики НАН Беларуси разработан и создан комплекс для измерений спектрорадиометрических характеристик излучения лазерных диодов и светодиодов в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм (рис. 1, 2). Комплекс предназначен для измерений на основе рекомендаций Международной комиссии по освещению (CIE) [1] силы света, усредненной силы света, пространственного распределения силы света, спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) излучения СИД и СИД изделий, а также создаваемой ими освещенности и спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО). Комплекс также обеспечивает измерения средней мощности, плотности мощности и пространственного распределения плотности мощности излучения ЛД. Следует отметить, что на комплексе также можно испытать другие источники излучения, например лампы.

Исследуемые источники излучения *1* (рис. 1) крепятся к поворотной площадке, диапазон изменения угла поворота которой в вертикальной плоскости составляет 360°. В свою очередь эта площадка закреплена на площадке, позволяющей изменять угол поворота в горизонтальной плос-

кости на ± 110°. Указанные поворотные площадки образуют гониометрическую систему *5* (рис. 1).



1 – блок источников излучения; *2* – субблок лазерных источников излучения; *3* – субблок СИД источников излучения; *4* – субблок ламповых источников излучения; *5* – гониометрическая система; *6* – блок питания и контроля источников излучения; *7* – система юстировки; *8* – блок входной оптики; *9* – фотометр (радиометр); *10* – компьютер; *11* – блок экспресс анализа; *12* – монохроматор; *13* – блок приемников излучения; *14* – трап-детектор (фотодиод); *15* – ФЭУ со счетчиком фотонов; *16* – система регистрации; *17* – оптический стол.

Рисунок 1 – Блок-схема комплекса для измерений характеристик излучения ЛД и СИД

Фотометрическая часть комплекса основана на фотометре LMT 520B, радиометрическая – на детекторе OPHIR PD300-UV-SH. При измерениях фотометрических и радиометрических величин используется система юстировки *7* источников излучения [2]. При измерениях устанавливаются параметры питания и температуры источников излучения (блок *6*, содержит высокоточные стабилизированные источники питания, термоконтроллеры и мультиметры), что дает возможность моделировать условия эксплуатации СИД, приближенные к реальным. Все компоненты комплекса могут работать как независимо, так и под управлением компьютера *10*. Сигналы приемников излучения регистрируются системой регистрации *16*. Программное обеспечение комплекса позволяет представлять результаты измерений как в цифровом, так и в графическом виде.

Спектрорадиометрическая часть комплекса состоит из блока входной оптики *8*, блока экспресс анализа *11*; монохроматора *12*; блока приемников излучения *13*. Блок входной оптики включает интегрирующий шар FOIS-1 и торроидальное зеркало. Система регистрации *16* включает пикоамперметр Keithley 6485 и цифровой двухканальный синхронный усилитель Ametec 7265. При использовании ФЭУ счетчик фотонов подключен непосредственно к компьютеру. Для осуществления измерений СПЭЯ излучения СИД и СИД изделий, а также создаваемой ими СПЭО, комплекс калибруется по эталонным дейтериевой CL7-H и кварцево-галогенной BN-LH250-BC лампам. Для измерений СПЭЯ излучения СИД в УФ диапазоне используется специально разработанные референсные монохромные СИД с пиковыми длинами волн 365 нм и 385 нм, которые имеют однородное распределение яркости излучения по апертуре [3].

Рисунок 2 – Комплекс для измерений спектрорадиометрических характеристик излучения лазерных диодов и светодиодов

В результате исследований метрологических характеристик комплекса установлено, что диапазон измерений силы света и усредненной силы света излучения СИД составляет от 0,01 до 60 кд, при этом относительная расширенная неопределённость измерений не превышает 2,0 %; диапазон измерений мощности ЛИ составляет от $3 \cdot 10^{-7}$ Вт до 10^{-1} Вт, при этом относительная расширенная неопределённость измерения мощности ЛИ не превышает 2 %; относительная расширенная неопределённость измерения пространственного распределения силы света не более 1,04 %; относительная расширенная неопределённость измерения пространственного распределения плотности мощности ЛИ в диапазоне от 300 нВт до 300 мВт не более 9,2 %; относительная расширенная неопределённость измерений СПЭО, создаваемой СИД в диапазоне от 10^2 до 10^{10} Вт·м^3 в спектральном диапазоне от 250 до 400 нм не превышает 5,4 %, в диапазоне от 400 до 500 нм – не превышает 8,0 %, в диапазоне от 500 до 900 нм – не превышает 5,6 %; относительная расширенная неопределённость измерений СПЭЯ излучения СИД в диапазоне от 10^2 до 10^{12} Вт·м^3·ср$^{-1}$ в спектральном диапазоне от 250 до 500 нм не превышает 7,0 %.

Таким образом, впервые в Республике Беларусь создан метрологический комплекс для измерений фотометрических, радиометрических, спектрорадиометрических и пространственных характеристик излучения СИД, ЛД и изделий на их основе в спектральном диапазоне от 250 до

900 нм. Установлены метрологические характеристики комплекса.

1. CIE 127:2007 Technical report CIE. Measurement of LEDs. 2nd edition Publication. – Vienna, CIE Central Bureau, 2007 – 32 p.
2. Устройство юстировки твердотельных источников излучения: пат. № 123984, Российская Федерация, МПКG02B7/00 / В.А. Длугунович, В.А. Ждановский, А.А. Липлянин, С.В. Никоненко, О.Б.Тарасова; заявитель Институт физики НАН Беларуси. – № RU 123984; заявл. 03.07.2012.
3. Эталонный монохромный светодиод: пат. № 115889, Российская Федерация, МПКG01J1/00 / А. В. Данильчик, Е.В. Луценко, С.В. Никоненко; заявитель Институт физики НАН Беларуси. – № RU 115889; заявл. 28.12.2011.

УДК 621.382

КОНФИГУРИРУЕМАЯ АНАЛОГОВАЯ МИКРОСХЕМА НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Дворников О.В.[1], Дятлов В.Л.[1], Чеховский В.А.[2]

[1]Открытое акционерное общество "МНИПИ", Минск, Республика Беларусь

[2]Научно-исследовательское учреждение "Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий Белгосуниверситета", Минск, Республика Беларусь

Аналоговые интегральные микросхемы (ИС) с программируемыми параметрами и изменяемой конфигурацией [1, 2] широко применяются в различной радиоэлектронной аппаратуре.

Нами разработана конфигурируемая аналоговая ИС, которая включает: два блока смещения (*bias*), четыре входных каскада (*inpstage*), два выходных каскада.

Блок смещения (рис. 1) состоит из: типового каскада Q_3-Q_{10}, R_4, формирующего ток I_{PTAT} прямо пропорциональный абсолютной температуре; цепи запуска Q_1, Q_2, R_3; токозадающих цепей Q_{11}, Q_{13}, R_5 и Q_{12}, Q_{14}, R_6.

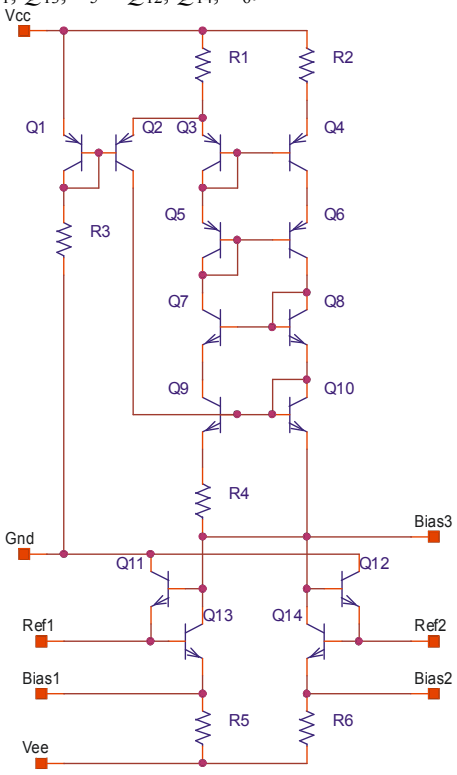


Рисунок 1 – Электрическая схема блока смещения типа *bias*

Величина тока I_{PTAT} описывается соотношением

$$I_{PTAT} = I_{R4} \approx \frac{\varphi_T}{R_4} \ln 4 \approx 400 \text{ мкА},$$

где φ_T - температурный потенциал.

Эмиттерный ток токозадающих транзисторов всех блоков (I_{E22} для *inpstage*) при соединении их узлов *Ref* с *Ref*1 (*Ref*2) блока *bias* приблизительно будет равен 370 мкА, но может быть уменьшен до 78 мкА при подключении резистора величиной 100 Ом между выводом *bias*1 (*bias*2) и шиной отрицательного напряжения питания V_{EE}. Следует отметить, что ток I_{PTAT} и, следовательно, эмиттерные токи токозадающих транзисторов всех блоков малочувствительны к изменению напряжения питания (рис. 2).

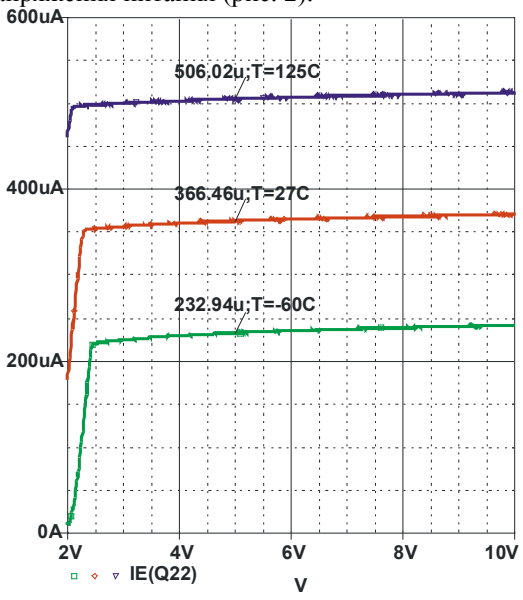


Рисунок 2 – Зависимость эмиттерного тока токозадающего транзистора блока *inpstage* (I_{E22}) от размаха напряжения питания ($V = V_{CC} - V_{EE}$) для разных температур T

Электрическая схема блока *inpstage* показана на рис. 3.

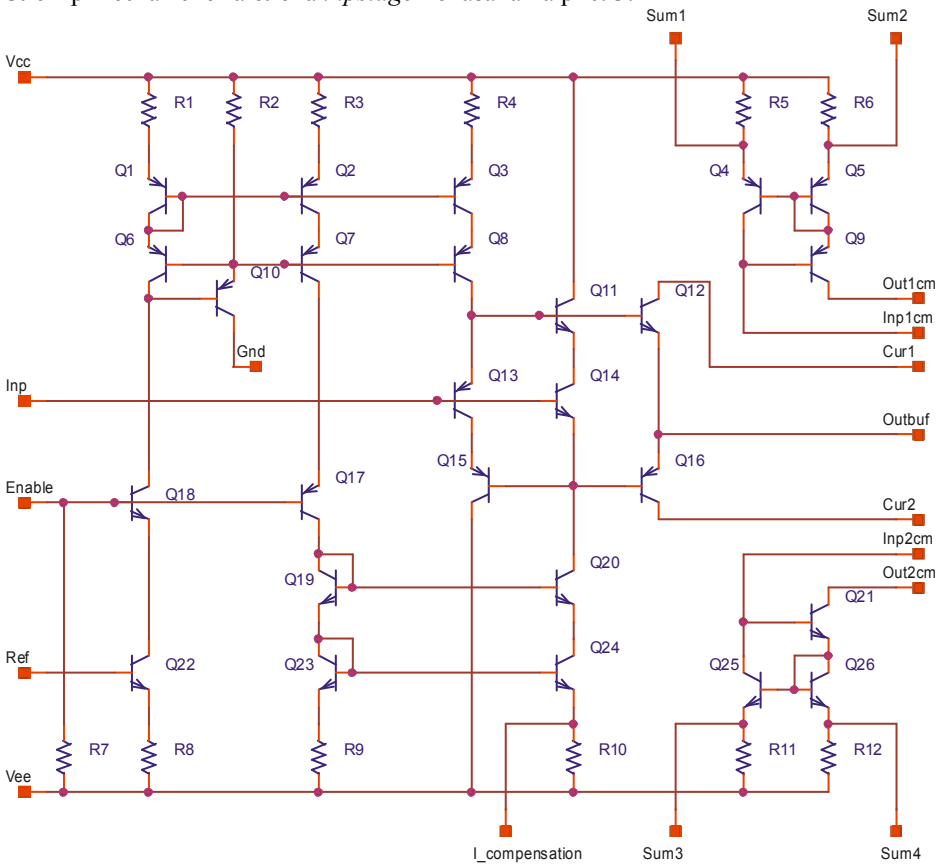


Рисунок 3 - Электрическая схема блока *inpstage*

Вход *inp* соединен с параллельно включенными эмиттерными повторителями на *p-n-p-* и *n-p-n*-транзисторах (Q_{13}, Q_{14}). Выходы повторителей (эмиттеры Q_{13}, Q_{14}) соединены с базами транзисторов противоположного типа проводимости (Q_{12}, Q_{16}), эмиттеры последних соединены с узлом *Outbuf*, а коллекторы – с узлами *Cur*1, *Cur*2. Транзисторы Q_{11}, Q_{15} являются элементами отрицательной обратной связи, поддерживающей нулевое напряжение на коллекторных переходах входных транзисторов Q_{13}, Q_{14}, что позволяет:

- уменьшить входную емкость,
- увеличить входное сопротивление,
- при использовании подстройки коэффициента передачи «токового зеркала» Q_{23}, Q_{24} (изменением сопротивления внешнего резистора, соединенного параллельно с R_{10}) - существенно уменьшить входной ток (базовый ток Q_{13} компенсируется базовым током Q_{14}).

Блок *inpstage* содержит 2 идентичных по схемотехнике «токовых зеркала» на *p-n-p-* и *n-p-n*-транзисторах. В «токовом зеркале» на *n-p-n*-транзисторах (Q_{21}, Q_{25}, Q_{26}) входом является узел *Inp*2*cm*, выходом – *Out*2*cm*. Подключение резистора между узлами *Sum*3 (*Sum*4) и V_{EE} позволяет регулировать коэффициент передачи «токового зеркала».

При «плавающем» узле *Enable* усилитель находится в «спящем» режиме, а при подаче на узел *Enable* нулевого потенциала - входит в рабочий режим.

За счет выполнения различных межсоединений разработанная аналоговая ИС позволяет реализовать следующие аналоговые устройства: повторитель напряжения; аналоговый мультиплексор 2:1; аналоговый мультиплексор 2:1 с повышенной нагрузочной способностью; двух выходной преобразователь напряжение ток (ПНТ); ПНТ с биполярным выходным током для «заземленной» нагрузки; ПНТ с биполярным выходным током для «заземленной» нагрузки, имеющий дифференциальный вход; операционный усилитель (ОУ) с регулируемой крутизной входного каскада; мультидифференциальный ОУ с регулируемой крутизной входных каскадов.

1. Дворников, О.В. Конфигурируемые аналоговые блоки. Часть 1. Радиационно-стойкие микросхемы / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Н.Н. Прокопенко // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: материалы X Межд. науч.-практ. семинара, 1-2 окт. 2013 г., Шахты. – Шахты: ИСОиП ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2013. – Ч.1. - 2013. – С.219-230.
2. Дворников, О.В. Конфигурируемые аналоговые блоки. Часть 2. Микросхемы на комплементарных биполярных транзисторах /

О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Н.Н. Прокопенко // Проблемы современной аналоговой микросхемотехники: материалы X Межд. науч.-практ. семинара, 1-2 окт. 2013 г., Шахты. – Шахты: ИСОиП ФГБОУ ВПО «ДГТУ», 2013. – Ч.1. - 2013. – С.230-237.

УДК 681.785

ДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Девятов Н.А., Алексеев В.А.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Проблема качества воды связана в основном с массированным техногенным загрязнением поверхностных и отчасти подземных вод. Главными его источниками служат сточные воды промышленных предприятий и коммунального хозяйства городов, поверхностные стоки с сельскохозяйственных объектов; атмосферные выпадения загрязнителей на поверхность водоемов и водосборных бассейнов. Кроме этого, неорганизованный сток воды осадков («ливневые стоки», талые воды) загрязняет водоемы существенной частью техногенных терраполютантов.

Особую опасность для экологии представляют многочисленные аварии – «залповые загрязнения», которые вызывают локальные сильные загрязнения водной среды. Результаты исследований последствий аварийных ситуаций показали, что значительная их часть происходит из-за несовершенства действующих систем контроля качества воды. Отсутствуют автоматические устройства и системы, позволяющие контролировать аварийные выбросы в реальном масштабе времени. В связи с этим для реализации эффективной системы контроля качества воды и работы сооружений систем очистки и подачи воды необходимо использование средств автоматического контроля.

Разработка технологии анализа загрязнений водной среды с возможностью обеспечения работы аппаратуры во внелабораторных условиях является актуальной задачей. Разработка методики непрерывного контроля качества воды и управления аварийными выбросами представляет актуальную научно-техническую задачу и имеет теоретическое и прикладное значение для сохранения положительной экологической ситуации. Проведенные исследования показали, что в отдельных случаях аварийные выбросы, протекающие в течение определённого интервала времени, представляют собой «сгусток» неоднородной жидкости в основной трубе, отводящей сточную воду к фильтрам [4]. При подобной аварии изменяется оптическая плотность сточных вод на определённом интервале времени. На основании системного анализа метода контроля водных сред, показано, что измерение оптической плотности водной среды позволяет обнаружить аварийный выброс при априорных сведениях о характере выброса. Одним из методов косвенного измерения данной характеристики является турбидиметрический метод, основанный на измерении изменения интенсивности рассеянных световых потоков при воздействии лазерного излучения на поток жидкости.

В ходе экспериментальных исследований, производимых на ряде тестовых загрязняющих веществ, была показана работоспособность предложенной методики контроля оптической плотности жидких сред и возможность ее практической реализации. На базе турбидиметрического метода разработана лазерная установка по контролю изменений оптической плотности жидких сред [1], относящаяся к классу автоматических средств контроля оптической плотности жидких и газообразных сред. Одно из основных требований, предъявляемых при разработке - необходимость осуществлять постоянный, непрерывный и эффективный контроль среды с доступностью и наглядностью представления результатов контроля. Установка для устранения аварийного выброса [2] опробована на загрязнениях нефтью и маслом, имеются результаты испытаний на границах сред воды, воздуха и загрязнителей. При проведении тестовых процедур за базовую точку отсчета принята воздушная оптическая среда. В ходе экспериментов, проведенных на разработанной лабораторной установке [3], получены данные по изменению оптической плотности водной среды при добавлении загрязнителя. Полученные результаты позволяют прогнозировать возможные изменения оптической плотности смеси жидких сред «вода – подсолнечное масло», «вода - нефть», «воздух – нефть», «воздух – вода», «воздух – подсолнечное масло» и выбрать обоснованные режимы работы контрольной аппаратуры.

Разработанная методика тестирования неоднородных оптических сред с тестовыми процедурами проверки различных аспектов отдельно выделенных характеристик оптических сред позволяет выявить отличия между реально существующими и требуемыми свойствами оптических сред, прогнозировать динамику их изменения и трансформации, выполнять сравнение и масштабирование при различных режимах работы контрольной аппаратуры.

Необходимо производить фиксацию загрязнения контролируемой среды несколькими видами загрязнителей, что может быть достигнуто установкой нескольких оптоэлектронных датчиков, работающих в различных оптических диапазонах. Предлагается использовать новую модель многоканального устройства, содержащую несколько отводных каналов с оптоэлектронными датчиками, соответствующими по оптическим характеристикам определенным видам загрязняющих веществ. Работоспособность предложенного устройства была проверена на экспериментальном стенде. В качестве оптоэлектронного датчика использовалась оптопара, состоящая из лазерного диода с длиной волны 0,632 мкм, и фотодиода типа КДФ110А.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Разработана и экспериментально опробована методика тестирования неоднородных оптических сред для лабораторной установки контроля изменений оптической плотности водных сред, позволяющая прогнозировать динамику изменений свойств оптических сред. С использованием лабораторных исследований найдены диапазоны чувствительности турбодиметрического метода для фиксации «сгустка» аварийного выброса.

2. Разработанная установка для контроля изменений оптической плотности жидких сред пригодна для отработки технологии определения последовательного выброса различных загрязняющих веществ.

3. Экспериментальные исследования методики автоматического управления аварийным выбросом показали эффективность автоматического обнаружения различных видов загрязнителей в динамическом потоке и контроля изменений оптической плотности жидкости в условиях реального времени.

4. Экспериментально доказана эффективность указанной методики контроля аварийных выбросов и возможность ее применения на действующих промышленных производствах.

5. Разработаны алгоритмы фиксации различных по оптическим характеристикам аварийных выбросов в системе сточных вод промышленного предприятия и автоматического переключения направления потока для устранения влияния аварийных выбросов.

6. Проведенные на модернизированном устройстве эксперименты показали положительные результаты в обнаружении различных типов загрязнений. На основании результатов исследований подготовлена модель многоканального устройства устранения аварийных выбросов, позволяющая фиксировать множественные загрязнения контролируемой среды веществами с различными оптическими характеристиками.

Практическая ценность работы заключается в исследовании системы автоматического устранения влияния аварийных выбросов на систему водоподготовки, что повышает надежность применения фильтров очистки сточных вод и исключает возможность поступления в систему водоснабжения кратковременных вредных выбросов от промышленных сточных вод. Предложено использование разработанных методик и решений на промышленных предприятиях, являющихся источниками сточных вод, и системах водоснабжения.

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов и выводов подтверждается практической апробацией созданных установок, методик и алгоритмов, хорошей согласованностью экспериментальных результатов с теоретически предсказанными характеристиками, а также выбором надежных критериев при построении алгоритмов обработки информации. Разработанные стенды для исследований метрологически оценивались на известных приборах.

1. Алексеев В.А., Козаченко Е.М., Юран С.И. Установка мониторинга загрязнения сточных вод / Измерения в современном мире - 2011: сб. научных трудов Третьей Междунар. науч.-практ. конф. (С.-Петербург, 17-20 мая 2011). СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2011.- С.72-74.
2. Патент Российской Федерации на полезную модель №105456, МПК G01N 15/06. Устройство для устранения аварийного выброса. Опубл. 10.06.2011.
3. Алексеев В.А., Козаченко Е.М., Перминов А.С., Стерхова М.А., Юран С.И. Разработка стенда для тестирования установки контроля загрязнения воды оптическими методами / Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 8-й международной научно-технической конференции (16-17 мая 2012 г., г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). Часть 3. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. – С. 295-300.
4. Алексеев В. А., Козаченко Е. М., Юран С. И. Автоматическая установка для устранения аварийного выброса в системах фильтрации сточных вод. // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ – 2011. – № 2. – С. 239-243.

УДК 681.2

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ

Дьячкова П.Д.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
Санкт-Петербург, Российская федерация

В современном мире наблюдается тенденция к росту числа аварий и катастроф различного характера, в связи с чем актуальной является разработка новых средств экстренной доставки груза в район чрезвычайной ситуации, при этом желательно исключить присутствие человека в системе доставки.

В данной работе в качестве средства доставки груза предлагается использовать летательный аппарата типа «крылатая ракета» [1]. В качестве прототипа средства доставки груза выбрана крылатая ракета «Яхонт» наземно-морского базирования [2].

Однако одного носителя для решения задачи доставки груза недостаточно, т.к. он не может обеспечить безопасный спуск с малой скоростью в зону ЧС, обладает слишком большими массогабаритными характеристиками и является источником потенциальной опасности для людей, находящихся в зоне ЧС.

По этим причинам возникает необходимость введения в систему доставки дополнительного средства - спускаемого летательного аппарата. Для спуска груза в зону ЧС предлагается использовать парашютно-грузовую систему (ПГС).

Для того, чтобы ПГС эффективно решала задачу доставки груза в заданную область при возможном воздействии случайного ветра, необходимо наличие системы наведения и управления ПГС. В данной работе исследуется поведение ПГС при использовании системы самонаведения при отсутствии случайного ветра.

На первом этапе моделирования движения ПГС произведём расчёт элементов траектории по методу А.И. Некрасова [3]. Данный метод не учитывает динамику системы самонаведения, а лишь моделирует движение системы груз-парашют. Для расчёта использовался пакет Matlab.

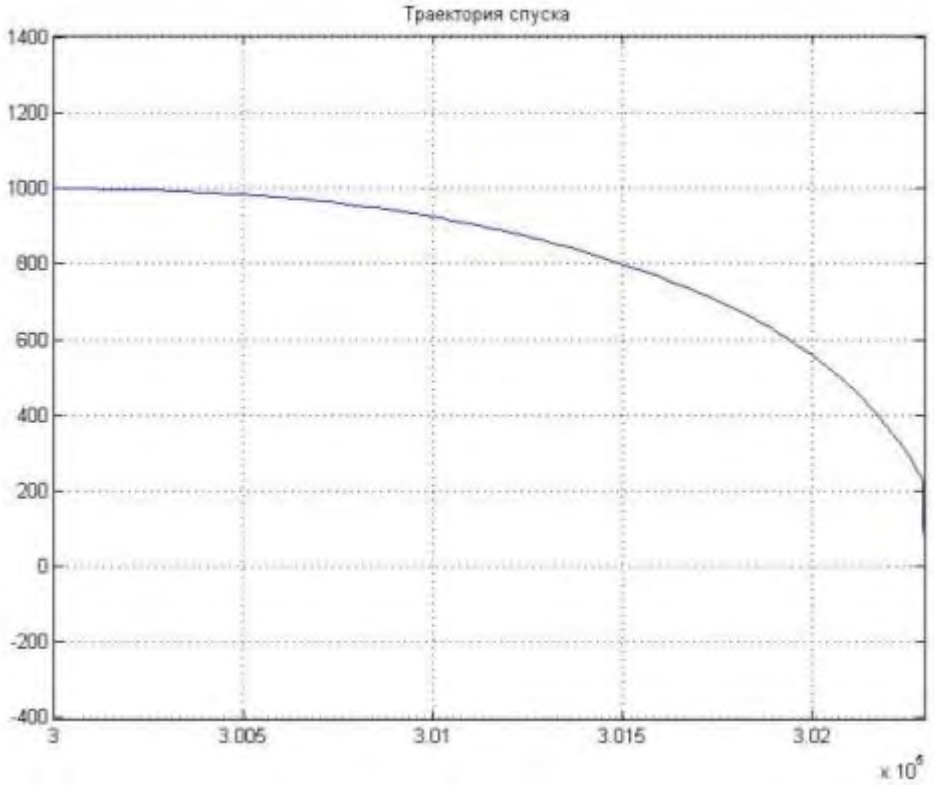


Рисунок 1 – Траектория ПГС, полученная методом А.И. Некрасова

На втором этапе исследования моделировалось движение ПГС с учётом динамики самонаведения в Matlab с использованием средств Simulink. Для сравнения также моделировалась система без учёта динамики самонаведения.

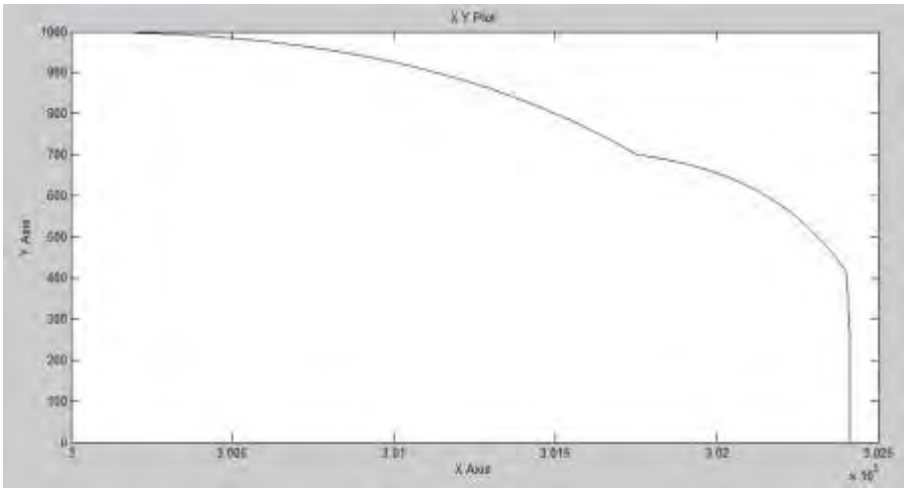


Рисунок 2 – Траектория ПГС, полученная интегрированием системы уравнений с учётом динамики системы самонаведения

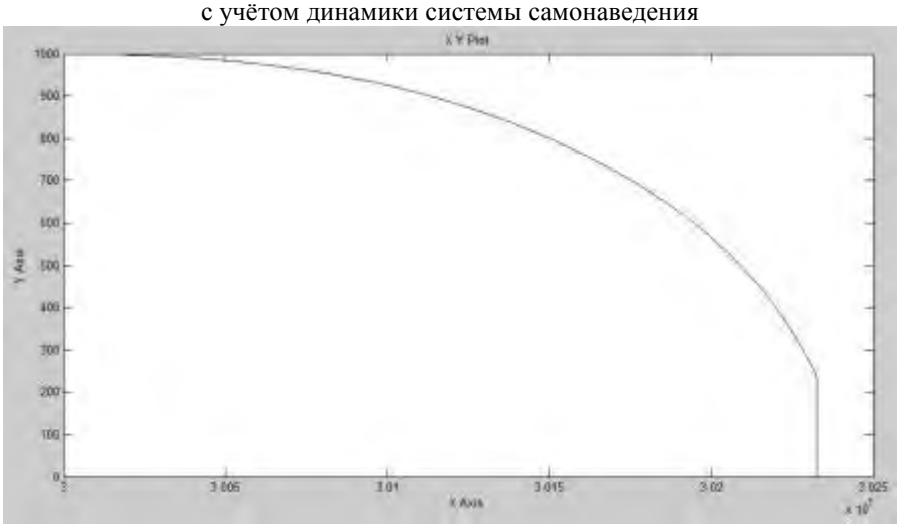


Рисунок 3 – Траектория ПГС, полученная интегрированием системы уравнений без управления

Таблица 1 – Результаты расчёта методом А.И. Некрасова

Время спуска, с	51,45
Скорость конечная, м/с	6,57
Дальность ΔL, м	2295
Угол ψ°	-90°

Таблица 2 –Результаты расчёта интегрированием системы уравнений с учётом динамики самонаведения

Время спуска, с	53,85
Скорость конечная, м/с	6,87
Дальность ΔL, м	2413
Угол ψ°	-71°39'

Таблица 3 – Результаты расчёта интегрированием системы уравнений. Неуправляемый спуск

Время спуска, с	51,48
Скорость конечная, м/с	6,87
Дальность ΔL, м	2326
Угол ψ°	-90°

1. Арипова О.В., Башкина Е.В. Летательный аппарат для экстренной доставки груза в зону чрезвычайной ситуации: разработка компьютерной модели движения: материалы Международной научной технической конференции «Пятые Уткинские Чтения».– СПб.: БГТУ, 2011. – С. 133 – 137.
2. Дьячкова П.Д. Построение 3d-модели летательного аппарата типа КР «Яхонт». - труды IX Всероссийской научно-практической конф. «Актуальные проблемы авиации и космонавтики». – Красноярск: СибГАУ, 2013.
3. Лобанов Н.А. Основы расчёта и конструирования парашютов. - М.: Машиностроение, 1965.

УДК 004.415.2.031.43

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ПЛАТФОРМОЙ ASP-4

Зуйков И.Е., Исаев А.В., Кривицкий П.Г.[1], Кузьмицкая С.М.[2]
[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*Научно-исследовательский экономический институт Минэкономики, Минск, Республика Беларусь*

Инерциальный навигационный модуль с возможностью коррекции по GPS (ИНМ-К), разработанный в рамках программы Союзного государства «Космос-НТ» [1], позволяет осуществлять стабилизацию платформ с оборудованием для аэрофотосъемки.

Такие платформы являются прецизионным дорогостоящим, не стандартизованным, малосерийным оборудованием. Поэтому приобретение стабилизирующей платформы в рамках программы «Космос-НТ» оказалось длительным делом, и было осуществлено уже после разработки и изготовления ИНМ-К.

Приобретенная платформа ASP-4 (ASP - Air Stabilized Platform) представляет собой электромеханический прибор с цифровым управлением. Платформа состоит из трех электромеханических приводов с контроллерами, которые задают ориентацию по трем осям. Управление платформой осуществляется через три последовательных порта (рисунок 1).

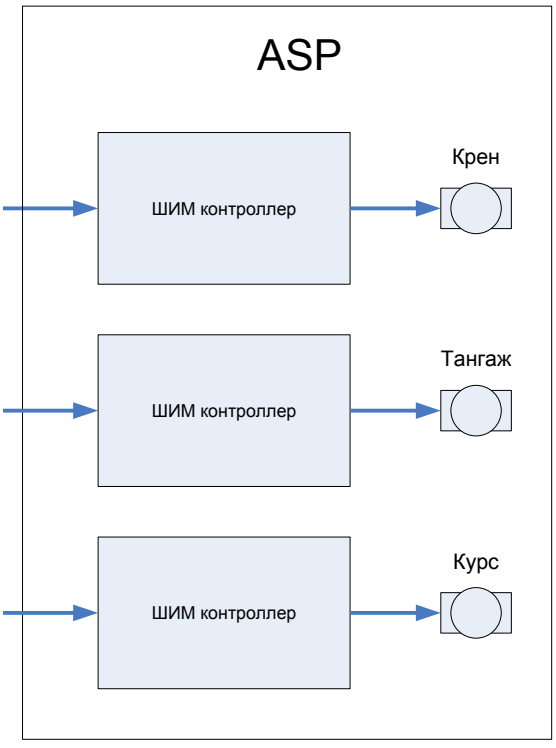


Рисунок 1 - Блок-схема стабилизирующей платформы

Каждому из трех независимых приводов платформы соответствует свой интерфейс RS-232, скорость обмена 115200 бод, формат передаваемого слова 8n2.

Обычно данная платформа управляется (стабилизируется и наклоняется) с помощью программного обеспечения, установленного на управляющем компьютере оператора аэрофотосъемки (КОАФ) (рисунок 2).

Информация об угловом и пространственном положении платформы формируется в инерциальном измерительном устройстве (Inertial measurement unit - IMU) и поступает в управляющий компьютер через систему определения пространственных координат и ориентации (Positioning and Orientation Systems - POS). Программное обеспечение определяет отклонение от заданной ориентации платформы и вырабатывает управляющие команды для приводов. Таким образом, IMU – это первичный измерительный преобразователь или датчик, а POS система является звеном обратной связи в компенсационной схеме.

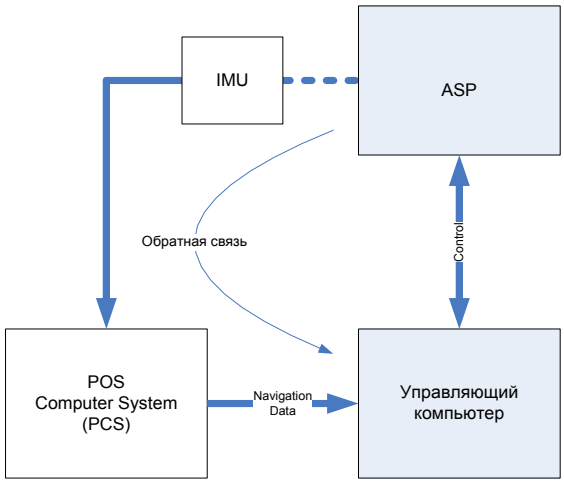


Рисунок 2 - Функциональная схема стабилизирующей системы

Разработанный в БНТУ ИНМ-К [1] фактически включает IMU и POS блоки из цепочки обратной связи от платформы к управляющему компьютеру, а также GPS-модуль, который позволяет корректировать показания инерциальный датчиков и повысить точностные параметры системы в целом.

Функциональная схема с управлением платформой от КОАФ позволяет упростить и оптимизировать систему в части позиционирования и стабилизации ориентации фотооборудования.

В разработанной системе отсутствует канал Control для непосредственного управления платформой от КОАФ. Таким образом, за счет внесе-

ния дополнительных звеньев в управляющие цепи и усложнения алгоритма управления достигается независимость КОАФ и его программного обеспечения от конкретного типа стабилизирующей платформы для фотооборудования.

Поэтому задача стабилизации платформы перенесена на встроенный компьютер ИНМ-К. По каналу Navigation Data ИНМ-К должен не только передавать навигационные данные, но и принимать команды оператора КОАФ, анализировать их и выполнять, т.е. передавать последовательности команд на ШИМ-контроллеры электромеханических приводов платформы по осям крена, тангажа и курса.

Для подключения к интерфейсу управления платформы ASP-4 разработан блок управления стабилизирующей платформой (БУСП), который включается между ИНМ-К и КОАФ и выполняет функции коммутатора последовательных портов (рисунок 3).

Микроконтроллер (МК) БУСП C8051F340-GQ анализирует адресные поля пакетов данных от ИНМ-К и передает их в КОАФ либо в соответствующий адресу контроллер привода стабилизирующей платформы. Соответственно, пакеты от контроллеров приводов платформы и от КОАФ дополняются адресным полем и передаются в ИНМ-К.

Обмен между ИНМ-К и МК БУСП полностью определяется разработчиком ИНМ-К, поэтому ИНМ-К подключен к МК простейшим образом через порты P0.4 (TX0) и P0.5 (RX0) его периферийного модуля UART0. Обмен с компьютером КОАФ и контроллерами приводов существенно зависит от действий оператора, программных алгоритмов КОАФ и контроллеров приводов. Поэтому для обмена с ними использована микросхема 4-канального контроллера UART-интерфейсов TL16CP754CIPM с 64-байтными FIFO-буферами для передаваемых и принимаемых данных. Размер FIFO-буферов позволяет хранить два 32-байтных пакета передаваемых в компьютер данных и четыре 16-байтовых команды оператора.

Команды и пакеты контроллеров приводов еще короче: команды – 6-12 байт, а пакеты данных - 11 байт + 4 байт * (число параметров).

МК обменивается данными с TL16CP754CIPM через 8-разрядный параллельный интерфейс. Платформа – это инерционное электромеханическое устройство весом 76 кг с полезной нагрузкой 80 кг, поэтому поток команд к ней сравнительно небольшой – порядка десяти в секунду. Оператор компьютера КОАФ также не способен посылать более нескольких команд в секунду. Поэтому дополнительный поток информации в/из ИНМ-К не должен перегружать данный последовательный интерфейс.

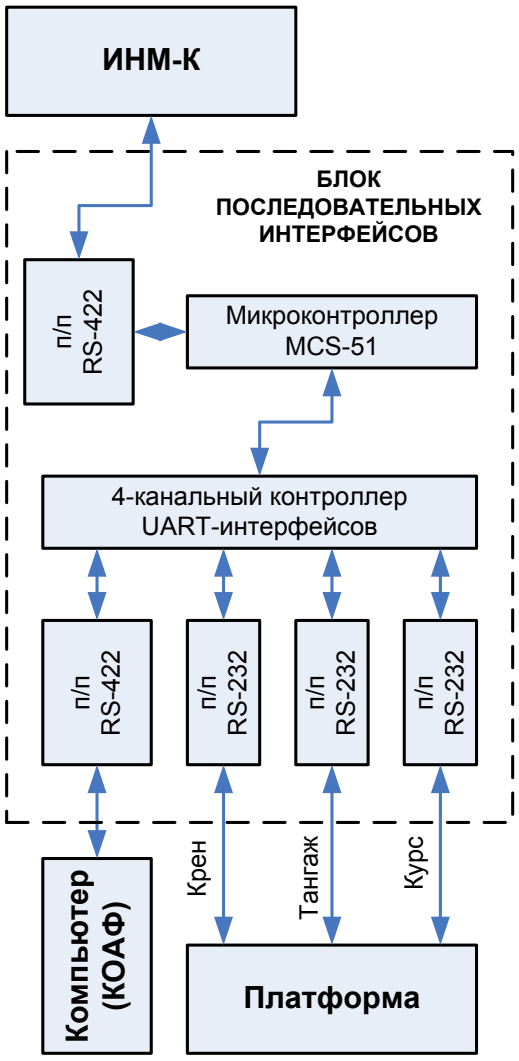


Рисунок 3 - Блок-схема модуля последовательных интерфейсов

Разработанный БУСП следует устанавливать в непосредственной близости от платформы, поскольку потенциальные линии передачи ее управляющих интерфейсов RS-232 менее защищены от помех чем парафазные сигналы интерфейсов RS-422.

Таким образом, разработка БУСП позволила подключить стабилизирующую платформу ASP-4 без переработки уже готового сложного наукоемкого изделия ИНМ-К.

1. Зуйков, И.Е. Адаптивная бесплатформенная инерциальная навигационная система / И.Е. Зуйков, П.Г. Кривицкий, И.Д. Оксенчук // Пятый белорусский космический конгресс. 25–27 октября 2011 года. Материалы конгресса. Том 1. – ОИПИ НАН Беларуси, Минск – С.247-251.

УДК 621.372.8 : 621.311.6

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЕ-ТОК НА РЕГУЛИРУЕМЫХ СТАБИЛИТРОНАХ

Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В современных измерительных системах для управления током информационных датчиков, а также для передачи аналогового сигнала в условиях значительных внутрисистемных помех применяются преобразователи напряжение-ток (ПНТ), управляемые сигналом цифроаналогового преобразователя. Для этого используются или стандартные схемы ПНТ на операционных усилителях (ОУ) или специализированные микросхемы, например, XTR110, XTR111 [1]. В ряде случаев это не оптимально по схемотехническим или конструктивным причинам.

В последнее время в аналоговой электронике получили широкое распространение регулируемые стабилитроны с внутренним опорным источником, включенным относительно анода (TL431, TS431, AMS421) или относительно катода (LM4041-ADJ, LM285, MIC4043, AMS3100). Они применяются для построения усилителей «ошибки», стабилизаторов напряжения, резистивно-управляемых ограничителей и источников тока [2,3].

Вместе с тем, регулируемые стабилитроны могут успешно использоваться и в качестве высокоточных ПНТ для нагрузки, подключенной к шине питания, общей шине, а также для нагрузки в режиме «короткого замыкания».

На рис. 1 приведены функциональная схема и обозначение регулируемого стабилитрона с внутренним опорным источником, включенным относительно катода (AMS3100, LM4041-ADJ и др.).

На рис.2 приведены различные схемы ПНТ на регулируемом стабилитроне типа AMS3100 для нагрузки, подключенной к общей шине.

ПНТ на рис.2а включает внешний опорный источник напряжения Uоп, величина которого должна удовлетворять условию:

$$U_{ОП} \geq I_{ВЫХ.МАКС} \bullet R_Н.$$

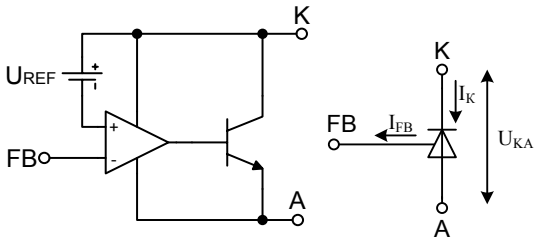
Выходной ток ПНТ возрастает при увеличении входного напряжения

$$I_{ВЫХ} = (U_{ВХ} – U_{ОП} – U_{REF}) / R_О – I_{FB}$$

В ПНТ на рис.2б выходной ток уменьшается при увеличении входного напряжения

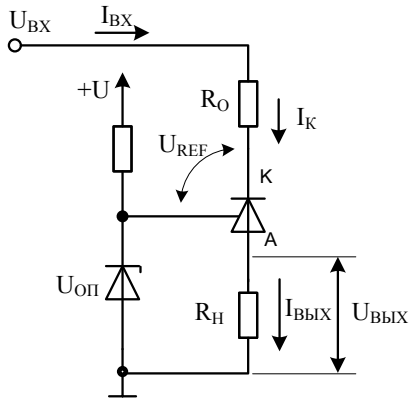
$$I_{ВЫХ} = (U_П – U_{REF} – U_{ВХ}) / R_О – I_{FB}$$

Нормальный режим работы схемы обеспечивается при выполнении условия: Uвх ≥ Iвых • $R_Н$.

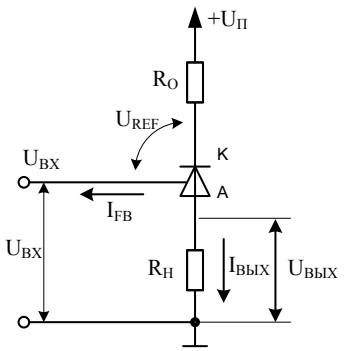


а) б)

Рисунок 1 - Функциональная схема (а) и обозначение (б) регулируемого стабилитрона с внутренним опорным источником, включенным относительно катода



а)



б)

Рисунок 2 – ПНТ на регулируемом стабилитроне типа AMS3100

Диапазон выходных токов обоих ПНТ ограничивается минимальным и максимальным токами катода используемого стабилитрона (45 мкА – 20 мА для AMS3100). Диапазоны входных напряжений различны и определяются соотношением параметров схемы: $U_{ОП}$, $U_П$, R_O, $R_Н$, $I_{ВЫХ.МИН}$, $I_{ВЫХ.МАКС}$.

Рассмотренные схемы ПНТ могут использоваться и для управления нагрузкой в режиме «короткого замыкания» (рис.3,4). Такой нагрузкой может являться вход преобразователя ток-напряжение или вход «повторителя» тока, задающего способ подключения высоковольтной нагрузки к выходному источнику питания. В этом случае величина $U_{ВЫХ}$ обычно мала и определяется выражением

$$U_{ВЫХ} = r_Л \cdot I_{ВЫХ} + U_Д + \Delta U_{GND},$$

где $r_л$ – сопротивление линии связи, $U_Д$ – дифференциальное входное напряжение ОУ, ΔU_{GND} – разность потенциалов «общих» шин.

Если $U_{ВЫХ.МАКС} < 100$ мВ, то опорный источник на управляющем входе FB стабилитрона (см. рис.2а) не обязателен и для ПНТ на рис.3 справедливо равенство: $U_{KA} \approx U_{REF}$.

ПНТ на рис.3 характеризуется малым значением $I_{ВЫХ.МИН}$ выходного тока (9 нА для AMS3100) и повышенными точностными характеристиками. Это связано с низким и постоянным во всем диапазоне входного напряжения значением U_{KA} стабилитрона и отсутствием дополнительного опорного источника $U_{ОП}$. Выходной ток данного ПНТ равен

$$I_{ВЫХ} = (U_{ВХ} - U_{REF}) / R_O - I_{FB}$$

Диапазон изменения входного напряжения определяется выражениями

$$U_{ВХ.МИН} = U_{REF} + (I_{ВЫХ.МИН} + I_{FB}) \cdot R_O > \\ > (U_{REF} + I_{KA.МИН} \cdot R_O),$$

$$U_{ВХ.МАКС} = U_{REF} + (I_{ВЫХ.МАКС} + I_{FB}) \cdot R_O < \\ < (U_{REF} + I_{KA.МАКС} \cdot R_O)$$

Недостаток схемы – большой входной ток ($I_{ВХ} = I_{ВЫХ}$), нагружающий источник входного напряжения.

ПНТ на рис.4 имеет очень малый входной ток ($I_{ВХ} = I_{FB} = 15$ нА для AMS3100) и широкий диапазон изменения входного напряжения. Выходной ток равен

$$I_{ВЫХ} = (U_П - U_{REF} - U_{ВХ}) / R_O - I_{FB}$$

При выполнении условия: $U_{ВЫХ.МАКС} < 100$мВ диапазон изменения входного напряжения определяется значениями

$$U_{ВХ.МИН} = 0,$$

$$U_{ВХ.МАКС} = (U_П - U_{REF} - I_{ВЫХ.МИН} \cdot R_O) < \\ < (U_{KA.МАКС} - U_{REF})$$

Недостаток схемы – более высокое значение минимального выходного тока $I_{ВЫХ.МИН}$ (45мкА для AMS3100) и пониженные точностные характеристики из-за большого диапазона изменения напряжения U_{KA} на стабилитроне и сложности обеспечения стабильности дополнительного источника питания $U_П$ во всем диапазоне изменения выходного тока.

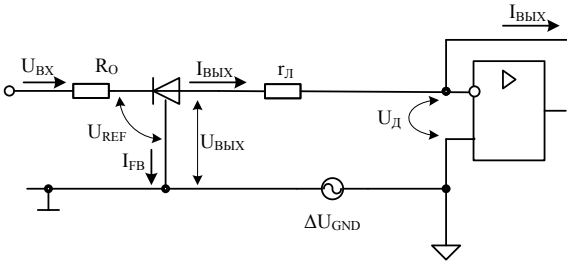


Рисунок 3 – ПНТ с повышенными точностными характеристиками для «короткозамкнутой» нагрузки

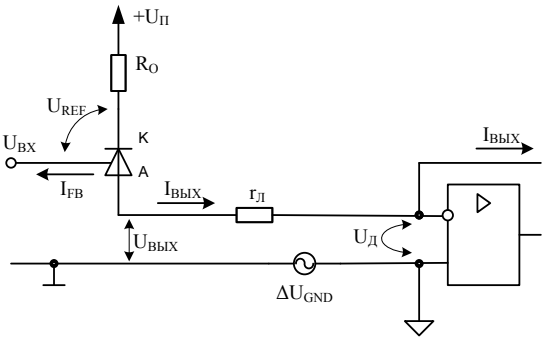


Рисунок 4 – ПНТ с малым входным током для «короткозамкнутой» нагрузки

1. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М. Прецизионный преобразователь напряжение-ток. Материалы 6-й МНТК Приборостроение-2013, – Мн.: БНТУ, 2013 – С. 58-59.
2. LM611 Operational Amplifier and Adjustable Reference. SNOSC08C – MAY 1998 – REVISED MARCH 2013. Режим доступа: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm611.pdf
3. AMS3100 Adjustable Micropower Voltage Reference Diode. Advanced Monolithic Systems, Inc. Режим доступа: http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds3100.pdf

УДК 620.179;004.75

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ

Лашко Е.В., Булах Б.В.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина

Потребность в более эффективном, простом и менее дорогостоящем решении актуальной задачи ускорения обработки данных способствовала развитию распределенных вичислений. В широком смысле распределенные вычисления (distributed computing) представляют собой способ решения трудоемких задач вычислений и обработки данных с привлечением большого числа исполнительных ресурсов, работающих одновременно над разными частями задачи [1]. К таким исполнителям могут относиться вычислительные ресурсы, ресурсы хранения и передачи данных и др. Среди технологий и подходов, которые объединяет данный термин, особого внимания заслуживают облачные вычисления и грид-технологии.

Первые исследователи грид-технологий Ян Фостер и Карл Кессельман (США) определяют грид как согласованную, открытую и стандартизованную среду, которая обеспечивает гибкое, безопасное, скоординированное разделение ресурсов в рамках виртуальной организации [1]. Таким образом, грид-система представляет собой географически распределенную инфраструктуру, соединяющую в себе набор некоторых служб, общепринятых стандартов и управляющего программного обеспечения, обеспечивающих общий доступ к информационным и вычислительным ресурсам. Традиционно в качестве ресурсных элементов грид-сред используются отдельные компьютеры, кластеры, суперкомпьютерные системы.

Обобщая определения, приведенные всемирно известной компанией IBM [2], а также Национальным институтом стандартов и технологий США [3], облачные вычисления (cloud computing) – это технология распределённой обработки данных, в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как интернет-сервис через веб-интерфейс.

Идея облачных вычислений впервые была озвучена Джозефом Карлом Робнеттом Ликлайдером (J.C.R. Licklider) в 1970 году, и заключалась в том, чтобы каждый пользователь был подключен к сети, из которой он будет получать не только данные, но и программы. В продолжение идеи Ликлайдера прозвучала мысль другого ученого, Джона Маккарти (John McCarthy), который предлагал предоставлять вычислительные мощности как услугу. Простейшими примерами современного использования облачных сервисов являются услуги электронной почты (gmail, freemail, rambler и др.), загрузки и онлайн-обработки изображений (Picasa, Instagram, Gfranq и др.), хранения данных (Dropbox, Google Drive, Яндекс.Диск и др.).

Анализ англо-, русско- и украиноязычных источников показал, что в настоящее время возможности применения распределенных вычислений в неразрушающем контроле слабо изучены. Среди немногочисленных работ в этой области - исследования перспектив применения распределенных вычислений в реконструктивной томографии, представленные в статье ученых Института технологий Карлсруэ [4], которые предложили схему реализации реконструкции томографического изображения с применением параллельных вычислений. При этом совокупность сделанных под разными углами снимков условно разделяется на некоторое количество наборов, которые параллельно обрабатываются при помощи одного и того же алгоритма. Сотрудники китайской компании «Eddysun Electronic» видят развитие интегрированных технологий неразрушающего контроля, которые были предложены для повышения точности и надежности контроля, в привлечении к обработке данных технологии облачных вычислений [5].

Рассмотрим другие перспективы привлечения грид-технологий и облачных вычислений для решения задач неразрушающего контроля. При построении информационно-измерительных систем, которые используются в неразрушающем контроле, необходимо применять такие методы и алгоритмы, которые позволят эффективно выполнять обработку данных, хранить полученную информацию, расширять базу классов дефектов, причем в реальном времени и с максимальной скоростью. Поэтому исследование, разработка и внедрение более эффективных систем, таких как распределенные вычисления, являются актуальной задачей.

Так, например, при проведении многоканального контроля в атомной энергетике, металлопроизводстве, трубной промышленности, железнодорожном транспорте с использованием универсального многоканального ультразвукового дефектоскопа возникает необходимость накопления и последующей обработки значительного объема дефектоскопической информации. На практике процесс контроля таким спосо-

бом подразумевает отслеживание информации, поступающей с одного канала, и, при необходимости, переключение между каналами. Окончательная обработка данных, накопленных в процессе контроля, осуществляется на рабочем месте дефектоскописта, географически отдаленном от места проведения контроля. При этом может возникать необходимость повторного исследования участка объекта. Для упрощения процедуры накопления и анализа дефектосокпической информации мы предлагаем посредством сети Интернет передавать данные в некоторое облако, где и осуществляется их обработка с помощью специального ПО. Это позволит, во-первых, расширить возможности относительно объема хранящейся дефектоскопической информации всего объекта контроля или его участков; а, во-вторых, имея в распоряжении планшет либо смартфон с доступом в Интернет, анализировать полученные данные на месте проведения контроля.

На сегодняшний день актуальной также является задача удаленного контроля объектов. Такие системы (на базе акустико-эмиссионных, термодатчиков, вихретоковых преобразователей и др.) применяются в пищевой, химической промышленности, фарм-индустрии, сельском хозяйстве, метеорологии, электроэнергетике и т.д. Решение подобных задач мониторинга сопровождается сбором и передачей больших объемов данных об объекте, которые накапливаются на сервере и анализируются. При традиционном решении задачи хранение данных и доступ к ним предоставляется на определенной выделенной рабочей машине. Технология облачных вычислений позволяет снять привязку к рабочему месту, обеспечивая доступ к данным контроля с любого устройства, имеющего выход в Интернет, с помощью веб-интерфейса посредством авторизации через логин и пароль. Кроме того, масштабируемая облачная инфраструктура дает возможность преодолеть ограничения объемов локальных хранилищ информации.

На рисунке 1 предлагается принцип организации удаленного контроля с применением облачных вычислений. Ключевыми компонентами в этой схеме являются: устройство контроля, которое обладает способностью передачи данных по сети Интернет, и предоставляемое как услуга (на уровне SaaS) виртуальное рабочее место дефектоскописта.

Устройство контроля передает данные в масштабируемое (т.н. «эластичное») облачное хранилище, где они проходят предварительную обработку и последующий анализ. Доступ к такому рабочему месту открыт с любого подключенного к сети Интернет устройства. Облачные ресурсы для развертывания системы удаленного контроля могут арендоваться у провайдера согласно текущим потребностям в дисковом пространстве и вычислительных мощностях, либо могут быть сформированы на основе существующих аппаратных средств в виде «частного облака».

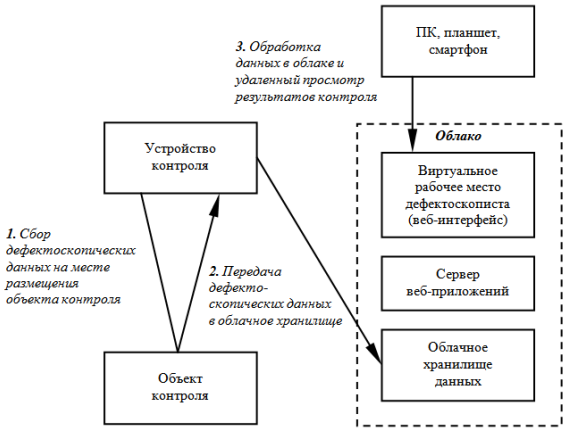


Рисунок 1 – Принцип организации удаленного контроля с привлечением облачных ресурсов

Следует отметить, что выше были представлены лишь некоторые направления возможного применения технологии распределенных вычислений в неразрушающем контроле. Будучи потенциально перспективными, они заслуживают дальнейшего, более углубленного изучения.

1. Демичев А.П. Введение в грид-технологии / А.П. Демичев, В.А. Ильин, А.П. Крюков. – М.: Препринт НИИЯФ МГУ, 2007. – 87 с.
2. Облачные вычисления. [Электронный ресурс]. // IBM. URL: http://www.ibm.com/cloud-computing/ru/ru/what-is-cloud-computing.html
3. NIST Cloud Computing Program. [Electronic resource]. // The National Institute of Standards and Technology (USA). URL: http://www.nist.gov/itl/cloud/
4. X.Yang, T. Jejkal et al. Data Intensive Computing of X-ray Computed Tomography Reconstruction on the LSDF // Int. conf. PDP 2013 (proc.). - Belfast, 2013. - P. 86-93.
5. J.M. Lin, L.P. Wu et al. Cloud Testing: Trend of the Development of Non-destructive Testing and Evaluation Techniques // Int. conf. WCNDT 2012 (proc.). - Durban, 2012.

УДК 681.2

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ВТР

Левихин А.А., Лескович Э.О., Савва Р.И.
Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф. Устинова «ВОЕНМЕХ»
Санкт-Петербург, Россия

Объем мирового производства водорода оценивается в 55-58 млн т. Доля России составляет примерно 8%, в 2013 г. в нашей стране было произведено почти 4.5 млн т. За последние годы структура производства водорода в России изменилась. Доля химической промышленности сократилась с 80 до 70%, при этом заметно выросла доля водорода, производимого на нефтеперерабатывающих предприятиях. Наибольший объем прироста производства водорода отмечен в стекольной промышленности – за период 2004-2013 гг. более чем в три раза.

Современные потребности в жидком водороде в России крайне ограничены, хотя инфраструктура его производства, хранения и транспортировки существует. Он рассматривается как топливо будущего. Ракетно-космическая отрасль России планирует создание новейших ракет-носителей и разгонных блоков космических комплексов, использующих в качестве топлива жидкий водород. Так, в 2015 г. планируются летные испытания кислородно-водородного разгонного блока РБ КВТК.

На сегодняшний день существует множество способов получения водорода, наиболее популярными является электролиз воды, выделение водорода из смеси газов, а так же расщепление углеводородов.

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» проводятся научно – исследовательские и опытно – конструкторские работы по созданию опытной установки для получения водорода методом пиролиза углеводородов с использованием высокотемпературного реактора (ВТР) (рис 1), который является прототипом жидкостного ракетного двигателя (ЖРД). Аналоги ВТР применяются в качестве газогенератора привода турбонасосного агрегата ЖРД.

Методика термодинамического расчёта

Система уравнений для определения температуры и состава продуктов реакции записывается применительно к камере ракетного двигателя с учетом ряда упрощающих допущений, необходимость введения которых определяется требованиями достаточной простоты расчета и современным уровнем знаний о процессах в реагирующих смесях.

Для определения параметров в камере сгорания необходимо решить систему уравнений, состоящую из материального баланса, уравнения диссоциации, уравнения Дальтона и уравнения сохранения энергии.

Рисунок 1 – Реактор парциального окисления углеводородов (высокотемпературный реактор)

Исходные данные для проведения ТД расчёта

В качестве УВ горючего был взят этиловый спирт (C_2H_5OH)

Давления в камере сгорания $P_{кс}$=1 МПа. Коэффициент избытка окислителя α варьировался от 0,3 до 0,8 с шагом 0,1. Для повышения массовой доли водорода в продуктах сгорания в состав сырья вводился водяной пар. Массовая доля подаваемого водяного пара рассчитывалась относительно количества УВ горючего. Т.е. суммарный расход УВ горючее + вода принимается за 1. Доля воды в горючем варьировалась от 0 до 90%, с шагом 10%.

Таблица 1 – Коэффициент расхода воды

Доля воды в горючем, %	0	10	20	30	40
$K_B = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_Г}$	0	0,11	0,25	0,43	0,67
Доля воды в горючем, %	50	60	70	80	90
$K_B = \frac{\dot{m}_{H_2O}}{\dot{m}_Г}$	1,0	1,5	2,33	4	9

Масса полученного водорода, отнесенная к суммарному массовому расходу компонентов, определялась по формуле:

$$S_H = \frac{\dot{m}_{H_2}}{\dot{m}_{\sum}} = g_{H_2} \cdot (1 + K_m + K_B),$$

где $g_{H_2} = \frac{R_{см} \cdot r_{H_2}}{R_{H\,2}}$

Расчётные данные приведены ниже в виде таблиц и диаграмм.

Таблица 2 – Масса полученного водорода, отнесённая к суммарному массовому расходу

α / Доля воды	0,3	0,4	0,5
0	0.1954	0.1523	0.1089
10%	0.2073	0.1615	0.1169
20%	0.2215	0.172	0.1262
30%	0.2384	0.2175	0.1369
40%	0.259	0.2002	0.1507
50%	0.2857	0.2198	0.1662
60%	0.3222	0.2476	0.1884
70%	0.3728	0.2883	0.2218
80%	0.4231	0.3528	0.2739
90%	0.267	0.2776	0.2814
α / Доля воды	0,6	0,7	0,8
0	0.0745	0.0531	0.04
10%	0.0808	0.0574	0.043
20%	0.0879	0.0619	0.0459
30%	0.0966	0.0669	0.048
40%	0.1067	0.0732	0.0504
50%	0.1207	0.0826	0.0533
60%	0.1396	0.0974	0.061
70%	0.1675	0.1197	0.1405
80%	0.2092	0.1504	0.0982
90%	0.2321	0.1699	0.1099

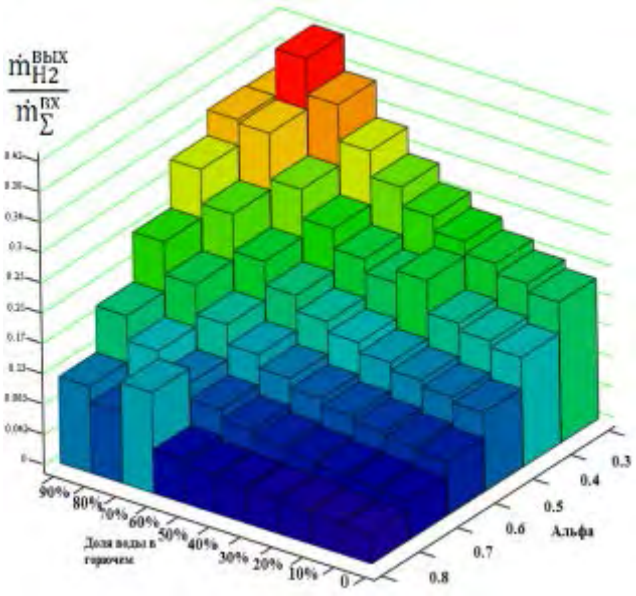


Рисунок 1 – Масса полученного водорода, отнесённая к суммарному массовому расходу

Из диаграммы видно, что максимальный удельный выход водорода получается при α=0.3 и доле воды в горючем 80%. Однако на практике такой режим трудно организовать, т.к. возникают проблемы с воспламенением смеси, также образовывается большое количество сажи. Наиболее выгодный, с практической точки зрения, режим осуществляется при α=0.45 и 65% воды в горючем.

1. Савва, Р.И. Перспективный метод получения водорода на основе высокотемпературного реактора / *Р.И. Савва, Г.Б. Савченко* // VI общероссийская молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Техника. Космос». – СПб.: БГТУ, 2014 г. – С. 137-139.
2. Добровольский, М.В. Жидкостные ракетные двигатели: учебник для ВУЗов. / М.В. Добровольский – М.: Машиностроение, 1968. – 398 с.:

УДК 621.396.6

ПРОБЛЕМЫ КОНФИГУРИРОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ RFID

Левко И.А.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Системы RFID (радиочастотной идентификации) являются системами бесконтактного доступа к информации и включают в себя электронные носители данных, не обладающие собственным источником питания, которые получили название транспондеры. Связь с такими носителями данных осуществляет устройство считывания RFID, являющееся одновременно и источником питания для транспондера. Передача энер-

гии обеспечивается с помощью магнитных или электромагнитных полей.

Низкочастотные системы RFID, работающие в диапазоне 125 - 135 кГц, практически не подвержены экранировке магнитного поля со стороны влагосодержащих объектов, что обусловило их применение для идентификации животных и решения ряда других задач.

Устройство считывания низкочастотной системы RFID создает электромагнитное излучение, длина волны которого составляет около 2400 м, т.е. во много раз больше расстояния между устройством считывания и транспондером. Поэтому, с точки зрения физики, можно считать, что транспондер находится в ближней зоне электромагнитного поля излучателя (антенны устройства считывания) и по воздействию на антенну транспондера эквивалентно воздействию переменного магнитного поля [1, с. 63].

Использование переменного магнитного поля в низкочастотных системах RFID обусловило классифицирование таких систем в качестве систем с индуктивной связью между считывателем и транспондером. Иногда такие системы также называются системами с удаленной связью [2, с. 67].

Дальность действия систем с индуктивной связью может достигать 1 м и определяется рядом взаимозависимых конструктивных параметров, зависящих, в том числе, и от рабочей частоты f_0.

Определенный научный интерес представляет выбор критериев расчета конструктивных параметров низкочастотной системы RFID для обеспечения необходимой дальности действия.

Важным конструктивным элементом такой системы является антенна считывателя RFID. Для упрощения анализа можно принять, что антенна имеет форму цилиндрической катушки с числом витков N и радиусом r, величина которого намного превосходит диаметр поперечного сечения провода и высоту катушки. Тогда аксиальная составляющая напряженности магнитного поля на расстоянии z от катушки, в которой протекает ток I, может быть представлена выражением [3, с. 123]:

$$H_Z = \frac{I \cdot N \cdot r^2}{2\sqrt{\left(r^2 + z^2\right)^3}}. \qquad (1)$$

Выражение (1) свидетельствует о том, существует нелинейная зависимость напряженности магнитного поля в заданной точке на вертикальной оси z от радиуса антенны, причем максимальное значение H_Z достигается при выполнении соотношения [1, с. 90]

$$r_0 = \sqrt{2} \cdot z. \qquad (2)$$

Однако при оптимизации радиуса антенны следует учитывать обратную тенденцию, которая заключается в уменьшении $H_Z(r_0)$ при увеличении радиуса антенны. Для нормальной работы транспондера же требуется значение напряженности магнитного поля в диапазоне от 18 до 600 А/м при пороговой величине 4 А/м [4].

Согласно выражению (1) регулировка напряженности магнитного поля, создаваемого антенной считывателя RFID, возможна при изменении тока I в антенне и количества витков N. При этом нужно учитывать, что антенна в низкочастотном считывателе RFID является составной частью последовательного резонансного контура и характеризуется индуктивностью L. Для цилиндрической катушки (соленоида) индуктивность вычисляется по формуле [5, с. 247]

$$L = \frac{\pi}{4}\mu_0 N^2 \frac{d^2}{h} K_\alpha, \qquad (3)$$

где μ_0 – магнитная постоянная; N – число витков; d – диаметр катушки; h – длина катушки; K_α – табулированный коэффициент, зависящий от отношения h/d. Отсюда следует, что увеличение напряженности магнитного поля за счет увеличения числа витков антенны приводит к увеличению индуктивности L. При этом резонансная частота контура должна оставаться постоянной и равной рабочей частоте f_0 считывателя RFID.

Увеличение индуктивности в контуре ведет к увеличению его добротности Q, так как

$$Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R}, \qquad (4)$$

где C – емкость контура; R – активное сопротивление контура [1, с. 373]. Активное сопротивление контура представляет собой сумму сопротивления потерь контура $R_П$, выходного сопротивления $R_{ВЫХ}$ цепи согласования с антенной и последовательного сопротивления $R_{ПОС}$.

Важным фактором, требующим учета, является также скорость передачи данных от транспондера к считывателю RFID или в обратном направлении. Скорость передачи данных жестко связана с рабочей частотой f_0 и может принимать значения f_0 /32 или f_0 /64 для ряда транспондеров, получивших широкое распространение. Для того чтобы обеспечить допустимые искажения информационного сигнала, полоса частот приемной цепи должна в 2 – 3 раза превосходить скорость передачи данных, выраженную в Гц.

В свою очередь, полоса частот последовательного резонансного контура зависит от его добротности и определяется выражением

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}. \qquad (5)$$

Для f_0 = 125 КГц, f_0 /32 = 3,9 КГц и согласно выражению (5) добротность должна иметь фиксированное значение в пределах Q_{fix} = 8 ÷ 12.

Переменный ток I_A, протекающий в антенне, в случае последовательного контура связан с

амплитудой выходного напряжения U_A цепи согласования с антенной следующим соотношением

$$I_A = \frac{U_A}{R}. \quad (6)$$

Используя выражения (4), (6) и формулу для резонансной частоты в контуре, получим систему уравнений

$$\begin{cases} Q_{fix} = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \frac{1}{R} \\ I_A = \frac{U_A}{R} \\ f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{cases} \quad (7)$$

Решение этой системы позволяет выразить амплитудное значение тока в антенне через индуктивность L следующим образом

$$I_A = \frac{Q_{fix} U_A}{2\pi f_0 L}. \quad (8)$$

Как видно из выражения (8), между током в антенне считывателя RFID и индуктивностью антенны наблюдается обратная зависимость. При заданной геометрии антенны и, соответственно, фиксированном значении L единственной возможностью увеличения напряженности магнитного поля, создаваемого антенной, является увеличение напряжения U_A.

Для соленоида диаметром d = 0,155 м; длиной h = 0,01 м; числом витков N = 44; индуктивностью L = 0,684 мГн; при U_A = 3,18 В, R = 62 Ом и Q_{fix} = 12 дальность действия составляет около 8 см. При уменьшении активного сопротивления контура до 20 Ом дальность действия снижается до 4 см, что можно объяснить значительными искажениями сигнала за счет уменьшения полосы пропускания, хотя напряженность магнитного поля, создаваемого антенной, возрастает. Приведенные результаты свидетельствуют о правильности предложенного критерия.

Еще одним фактором, который следует учитывать, является уменьшение коэффициента индуктивной связи между антеннами считывателя RFID и транспондера при увеличении расстояния между ними. Это приводит к уменьшению глубины модуляции и вызывает необходимость использования дополнительного усилителя [6].

Таким образом, оптимизация дальности действия низкочастотных пассивных систем RFID достигается при выполнении следующих условий:

- выбор геометрии антенны, учитывающей расстояние до транспондера;

- фиксацию добротности входного контура в соответствии с требуемой полосой пропускания и нахождении индуктивности антенны для заданного значения напряженности магнитного поля;

- использование малошумящего предварительного усилителя для выделения сигналов с малой глубиной модуляции.

1. Финкенцеллер, К. RFID-технологии. Справочное пособие. — М.: Додэка-XXI, 2010. – 496 с.
2. Дшхунян, В.П. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты. — М.: ООО «Издательство АСТ», 2004. — 695 с.
3. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. — М.: Высш. шк., 1986. — 263 с.
4. Standard Read/Write ID Transponder with Anticollision TK5551. - Atmel Corporation, 2010 - Mode of access: http://www.atmel.com. - Date of access: Feb. 12, 2014.
5. Калантаров, П.Л., Цейтлин, Л.А. Расчет индуктивностей: Справочная книга. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. — 488 с.
6. Extended RFID Reading Distance by Using U2270B with an Additional Preamplifier. Application Note. . - Atmel Corporation, 2002 - Mode of access: http://www.atmel.com. - Date of access: Oct. 17, 2012.

УДК 621.317.799:621.382

АНАЛИЗАТОР ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В., Бруек А.А.
Открытое акционерное общество “МНИПИ”
Минск, Республика Беларусь

В рамках научно-технической программы “Эталоны и научные приборы”, в ОАО “МНИПИ” разработан и изготовлен как единичное изделие “Анализатор вольтамперных характеристик силовых полупроводниковых приборов” для эксплуатации в ЦКП "Радиационный центр" при ГО "НПЦ НАН Беларуси по материаловедению".

Анализатор, внешний вид которого представлен на рисунке 1, предназначен для измерения и наблюдения вольтамперных характеристик (ВАХ) силовых полупроводниковых приборов в

диапазоне напряжений от 0,05 В до 3000 В и в диапазоне токов от 0,1 нА до 100 А.

Рисунок 1 – Анализатор вольтамперных характеристик силовых полупроводниковых приборов

Анализатор содержит три измерительных канала С (коллектора или стока), В (базы или затвора) , S (подложки) и канал нулевого потенциала Е (канал эмиттера или истока) и обеспечивает двухпроводное подключение объекта тестирования по основным каналам С, В, Е.

В приборе реализован режим высокого напряжения (до 3000 В при мощности испытательного сигнала до 150 ВА), в котором испытательный сигнал формируют с помощью трансформатора непосредственно из переменного напряжения сети и режим большого тока (до 100 А при мощности испытательного сигнала до 5000 ВА), в котором испытательный сигнал формируют за счет разряда конденсатора.

Анализатор работает под управлением резидентного ПО функционирующего на базе встроенного компьютера. Для работы с прибором не требуется специальных знаний в области программирования. Прибор снабжен цветным ЖК-экраном 12.1’’ с разрешение 1024 х 768. Внешний вид главного окна управляющей программы показан на рисунке 2.

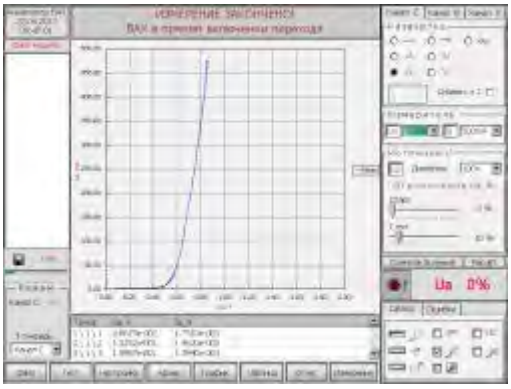


Рисунок 2 - Внешний вид окна управляющей программы

Основные функции анализатора :

Динамическое отображение графика ВАХ, при регулировке напряжения повторяющейся развертки вручную.

– Однократное измерение ВАХ по внутреннему или внешнему сигналу запуска развертки.

– Ограничение тока и напряжения на электродах объекта тестирования по заранее установленным порогам в каналах С, В, S.

– Отображение измеренных и расчётных характеристик в виде графиков и таблиц. Сохранение таблиц в электронном виде.

– Формирование отчета по результатам измерения, расчета и допускового контроля параметров с указанием признака годности.

– Наличие библиотеки стандартных тестов для измерения параметров стандартных полупроводниковых приборов.

– Возможность создания библиотеки пользовательских тестов путем задания параметров условий измерения.

– Возможность создания собственных моделей измерения по принципу: изделие, тестируемый элемент, тест.

– Создание собственного архива эталонных графиков с возможностью наложения эталонной ВАХ на измеренную характеристику.

– Измерение по маркерам, построение секущей (касательной).

– Инверсия полярности осей X и Y.

Измерение ВАХ осуществляется:

- **в режиме повторяющейся развертки** (режим характериографа), когда график ВАХ на экране прибора динамически отслеживает плавную регулировку максимального напряжения развертки, с помощью круглой рукоятки расположенной под ЖК-экраном;

- **в режиме однократной развертки,** когда ВАХ запоминается и отображается в виде графика или таблицы, в результате однократного измерения.

При запуске режима однократной развертки внешним сигналом прибор может быть использован в составе автоматизированной системы.

В канале С (коллектора) реализованы следующие виды разверток испытательного напряжения:

- полуволна синусоидального напряжения (длительность сигнала 10 мс);

- три периода синусоидального напряжения (длительность сигнала 60 мс);

- импульсы возрастающей амплитуды, причем длительность импульсов (от 50 мс до 2 мс) определяется установленным диапазоном напряжения;

- ступенчато-изменяющееся напряжение;

- регулируемое постоянное напряжение.

Интервал между сигналами в канале С для первых трех видов развертки, не менее 60 мс.

Анализатор измеряет ток в цепи коллектора, а не в цепи эмиттера исследуемого транзистора. Это позволяет измерять в наноамперном диапазоне не только токи утечки в диодном включении, но и ВАХ транзисторов в микрорежиме.

Технические характеристики:

Таблица 1 – Источник напряжения коллектора (Uc):

Диапазоны напряжения	Максимальный (пиковый) ток	Длительность импульса	Rвнутр.
Режим большого тока			
0 - + 50 В	100 А	0,05÷0.2 мс	≈0.05 Ом
0 - – 50 В	100 А	0,05÷0.2 мс	≈0.05 Ом
Режим высокого напряжения			
0 - ±100 В	2 А	0.5 мс	≈4.0 Ом
0 - ±500 В	0,4 А	1 мс	60 Ом
0 - ±3000 В	0,06 А	2 мс	4800 Ом

Диапазоны измерения тока коллектора (Ic):

- от ±10 нА до ±2 А (±100 В, ±500 В, ± 3000 В),
- от ±2 А до ±100А (+50 В и –50 В), согласно ряду 1, 2, 5, 10;
- минимальный дискрет - 0.005 нА;

Диапазоны измерения напряжения (Uc):

- от ±0.5 В до ±5000 В, согласно ряду 1, 2, 5, 10;
- максимальное входное напряжение - ± 3000 В;
- минимальный дискрет – 0.2 мВ;

Генератор ступеней тока (напряжения) канала базы:

- количество ступеней – от 0 до 10;
- ступени тока от 2нА/ступ до 0.5А/ступ
- ступени напряжения от 50мВ/ступ до 2В/ступ, согласно ряду 1, 2, 5, 10;
- десятикратное уменьшение ступеней (× 0.1);
- диапазон тока (напряжения) смещения - ±10·Iступ (±10·Uступ);
- макс. выходной ток - ±0,1 А, при Uвых ≤ 40В;
- макс. выходной ток - ±2.5А (в импульсе - ±10 А), при Uвых ≤ 4В;
- макс. выходное напряжение - ±40 В, при Iвых ≤ 0.1А;
- Rвх измерит. напряжения не менее 10^{10} Ом, при Iступ = 2нА/ступ.

Диапазоны измерения тока канала базы (Ib):

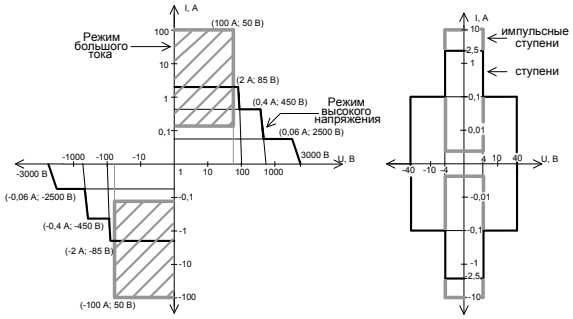
- от ± 40нА до ± 10А, согласно ряду 1, 2, 4, 10;
- минимальный дискрет – 0.02нА;

Диапазоны измерения напряжения (Ub):

- от ± 1 В до ± 40 В, согласно ряду 1, 2, 4, 10;
- минимальный дискрет – 0.5мВ;

Базовая погрешность измерения тока и напряжения составляет 1,5% ÷ 2%.

Для наглядности на рисунке 3 представлено графическое изображение диапазонов испытательного сигнала в каналах коллектора и базы.



Канал С **Канал В**

Рисунок 3 - Диапазоны выходного тока и напряжения каналов С и В.

Общие характеристики:

– стандартное расположение гнезд С, С', В, В', Е, Е'.

– Наличие USB, Ethernet.

– Напряжение питания: 230 В / 50 Гц., мощность: 450 В·А.

– Диапазон рабочих температур: от +10° до +35°С.

Габариты (Ш × В × Г): 470 × 330× 570 мм, масса: 45 кг.

УДК 621.317.799:621.3.049.77

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМ, НАХОДЯЩИХСЯ В УДАЛЕННОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ

Лисенков Б.Н.[1], Чеховский В.А.[2], Дятлов В.Л.[1], Грицев Н.В.[1]

[1] Открытое акционерное общество "МНИПИ", Минск, Республика Беларусь

[2] Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий Белгосуниверситета, Минск, Республика Беларусь

При создании интегральных схем (ИС) для работы в жестких условиях эксплуатации возникает задача контроля и измерения параметров ИС, находящейся в испытательной камере под действием некоторого внешнего воздействующего фактора (ВВФ).

Если в качестве ВВФ рассматривается ионизирующее излучение, то расстояние между тестируемой ИС и контрольно-измерительной ап-

паратурой, предназначенной для формирования и регистрации измерительных сигналов, может достигать десятков метров. В этом случае, в качестве основного фактора, определяющего выбор методики измерения динамических параметров ИС, выступают затраты на состав измерительной аппаратуры для её осуществления.

В настоящее время, для контроля функционирования и измерения статических и динамических параметров ИС в процессе производства используются специализированные тестеры ИС, представляющие собой многоканальные аппаратно-программные комплексы высокой производительности и сравнительно высокой стоимости [1, 2]. Причем, некоторые из них имеют в своем составе выносной измерительный модуль и позволяют устанавливать его на расстоянии до 2-х метров от тестируемой ИС без потери точности.

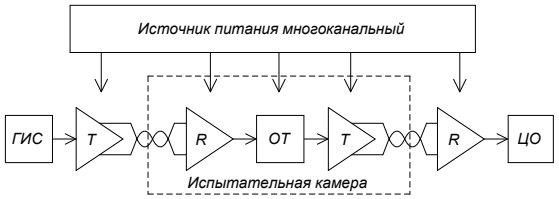
Методика измерения временных параметров микросхем памяти, с помощью тестирующего оборудования фирмы National Instruments в составе модуля PXI-7953R и многоканального адаптера NI 6581 на базе модульной платформы PXI-1033, в условиях радиационного эксперимента предложена в работе [3]. Однако, при исследовательских испытаниях работоспособности ИС в рамках выполнения НИР, данная методика является избыточной, с точки зрения затрат на дорогостоящее многоканальное оборудование.

Для проведения экспериментальных исследований влияния ионизирующего излучения на работоспособность ИС разработана оригинальная методика контроля их функционирования.

Согласно данной методике широкополосный стимулирующий сигнал генератора преобразуют в парафазный сигнал, передают в испытательную камеру и восстанавливают к первоначальному виду перед подачей на объект тестирования. Выходной сигнал тестируемой ИС, возникающий в ответ на стимулирующий сигнал генератора, также преобразуют в симметричный парафазный сигнал, передают за пределы испытательной камеры и восстанавливают к первоначальному виду на входе цифрового запоминающего осциллографа с помощью дифференциального приемника парафазного сигнала.

Передачу широкополосных парафазных сигналов осуществляют с помощью кабеля на основе витой пары проводников (англ. twisted pair) широко применяемого в системах связи. Например, кабель категории CAT 5 содержит 4 пары проводников и обеспечивает передачу сигналов в полосе частот до 100 МГц, кабель категории CAT 7a – до 1200 МГц. Кабель подключается к сетевым устройствам при помощи разъёма RJ45 (8P8C).

Структурная схема измерительной установки, обеспечивающей контроль функционирования цифровых и аналоговых ИС в удаленной испытательной камере в ходе радиационного воздействия, представлена на рисунке 1. Функционирование ИС определяют на основании параметров сигнала зарегистрированного в памяти цифрового осциллографа (ЦО).



ГИС – генератор испытательного сигнала, Т – передатчик парафазного сигнала, R – приемник парафазного сигнала, ОТ – объект тестирования, включающий ИС с элементами, обеспечивающими её работоспособность, ЦО – цифровой осциллограф.

Рисунок 1- Структурная схема измерительной установки для контроля функционирования ИС

Если парафазный сигнал является симметричным и полностью сбалансированным, а витая пара также хорошо сбалансирована, то потери в кабеле пренебрежимо малы. При этом внешние электромагнитные наводки проявляются как синфазный сигнал и подавляются дифференциальным приемником [4].

В качестве приемников и передатчиков парафазного сигнала целесообразно использовать микросхемы специализированных операционных усилителей, которые способны осуществлять прием-передачу сигнала на расстояние в десятки метров в полосе частот до сотен мегагерц. Источник питания многоканальный, показанный на рисунке 1, обеспечивает питание тестируемой ИС и связанных с ней приемников и передатчиков парафазного сигнала соответствующими напряжениями.

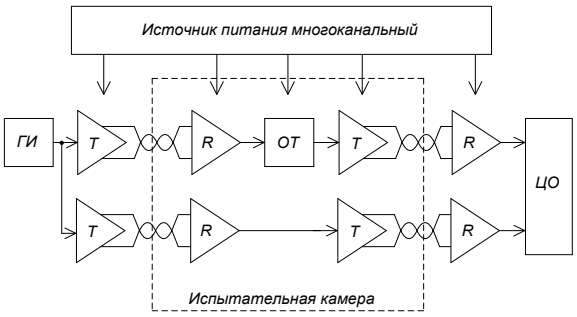
Данная методика использована в измерительном комплексе, предназначенном для экспериментального исследования стойкости биполярных ИС к воздействию электронного облучения. Преобразование измерительного сигнала с выхода объекта тестирования в парафазный и обратно осуществлялось с помощью ИС передатчика AD8132 и ИС приемника AD8130. При этом парафазный сигнал передавался за пределы испытательной камеры по витой экранированной паре на расстояние свыше 10 метров [5].

Для измерения динамических параметров цифровых и аналоговых ИС и оценки их изменений в ходе радиационного эксперимента раз-

работана методика, включающая подачу на один из каналов ЦО выходного сигнала ИС, а на другой – опорного сигнала с выхода генератора, согласно стандартным методам измерения динамических параметров ИС [6; 7; 8].

Методика построена с учетом того, что в радиационном эксперименте более информативным является относительное изменение интересующего параметра, характеризующее его стабильность, а не абсолютное значение этого параметра.

Структурная схема измерительной установки, обеспечивающей измерения динамических параметров цифровых и аналоговых ИС, подверженных действию ВВФ в удаленной испытательной камере, представлена на рисунке 2. Динамические параметры ИС определяют на основании соответствующих параметров измеряемого и опорного сигналов зарегистрированных в памяти ЦО согласно требованиям стандартных методов измерения [7; 8].



ГИ – генератор импульсов, Т – передатчик парафазного сигнала, R – приемник парафазного сигнала, ОТ – объект тестирования, включающий ИС с элементами, обеспечивающими её работоспособность, ЦО – двухканальный цифровой осциллограф.

Рисунок 2 - Структурная схема измерительной установки для измерения динамических параметров цифровых и аналоговых ИС

Предлагаемые методики будут востребованы на предприятиях электронной отрасли при отработке технологии изготовления ИС и на предприятиях приборостроительной отрасли, при создании радиоэлектронной аппаратуры повышенной надежности.

1. Универсальные тестеры FORMULA 2Khttp://www.form/ru. - Дата доступа: 02.05.2014
2. Тестер ВЕКТОР-М - [Электронный ресурс]. - Режим доступа - http://www.cime/ru. - Дата доступа: 14.06.2014
3. Боруздина, А.Б. Дозовая деградация динамических параметров микросхем памяти / А.Б. Боруздина, А.В.Уланова, Н.Г.Григорьев, А.Ю.Никифоров // Микроэлектроника. – 2012 - том41, №4. - с. 284-290
4. AN-584, Using the AD813x., Application Note -[Электронный ресурс]. - Режим доступа - http://www.analog.com -Дата доступа: 07.02.2014
5. Дворников, О.В. Прогнозирование стойкости биполярных микросхем к различным видам проникающих излучений / О.В. Дворников, В.А. Чеховский, В.Л. Дятлов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский // Материалы 23-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Севастополь, 8-13 сент. 2013 г.). – Т.2. –с.925-927.
6. ГОСТ 23089.10-83 Микросхемы интегральные. Метод измерения максимальной скорости и времени нарастания выходного напряжения операционных усилителей. – М.; Издательство стандартов, 1983. – 8с.
7. ГОСТ 23089.14-88 Микросхемы интегральные. Методы измерения времени задержки включения и выключения компараторов напряжения. – М.; Издательство стандартов, 1988. – 19с.
8. ГОСТ 18683.2-83 Микросхемы интегральные цифровые. Методы измерения динамических электрических параметров. – М.; Издательство стандартов, 1983. – 9с.

УДК 681.362

СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Медведев Н.В., Чичварин Н.В.
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация

Любое несанкционированное подключение к оптоволокну не может осуществляться без того, чтобы не выдать это каким-либо признаком. Существует несколько основных демаскирующих признаков, характеризующих подключение к оптоволокну [1].

Исследования целостности оболочки проводятся, например, при помощи мегомметров, или мегаомметров. Так называются приборы для измерения больших значений сопротивлений. Его отличительной особенностью в ряду похожих приборов является то, что измерения сопротив-

ления производятся на высоких напряжениях, которые прибор сам и генерирует (обычно 100, 500, 1000 или 2500 вольт) [2].

Для оценки влияния несанкционированного доступа к волоконнооптической линии связи (ВОЛС) предложено:

- разработать и создать макет прототипа тестера, контролирующего информационной безопасности ОК с ВОЛС.
- Провести теоретико – экспериментальные исследования с использованием разработанной инженерной методики и вышеуказанного макета.

На рисунке 1 представлена структурная схема тестера:

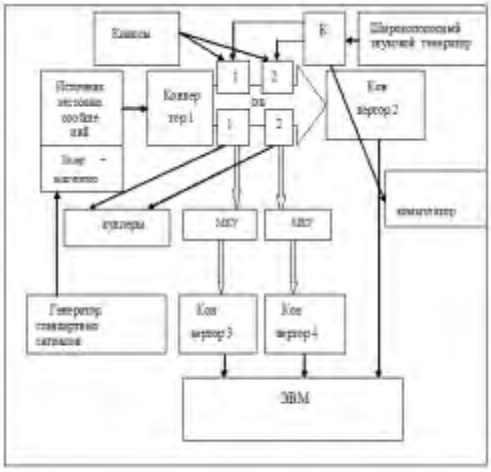


Рисунок 1

Рис. 1: Клипсы – источники акустического излучения.

Клипса 1 предназначена для создания микроизгиба в инспектируемом ОВ.

Клипса 2 предназначена для создания акустической дифракционной решетки, с помощью которой нарушается условия полного внутреннего отражения в ОВ.

Коммутатор К обеспечивает переключение сигнала с широкополосного генератора. Источник тестовых сообщений формирует оптический сигнал с помощью генератора тестовых сигналов и модулятора лазерного излучения.

Конвертор 1 формирует излучение, соответствующего протоколу ВОЛС.

Конвертор 2 преобразует излучение, снимаемое с ОВ.

Куплеры 1 и 2 осуществляют съем излучения из ОВ, возникающего на микроизгибах и акустической дифракционной решетке.

Микроканальные усилители (МКУ) осуществляют усиление излучения, снятого куплерами. Это излучение преобразуется конверторами 1 и 2 в электрический сигнал, поступающий для последующего анализа в ЭВМ.

Макет позволяет:

- выработать проектные решения по техническому облику разрабатываемого тестера,
- оценить предполагаемые тактико-технические характеристики тестера.

1. Sandra Kay Miller, «Hacking at the Speed of Light », Security Solutions Magazine, April 2006
2. R. Jedidi and R. Pierre, High-Order Finite-Element Methods for the Computation of Bending Loss in Optical Waveguides, lLT, Vol. 25, No. 9, pp. 2618-30, SEP 2007

УДК 620.179.14

ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ АНАЛИЗАТОР МНОГОПАРАМЕТРОВЫЙ ИМА-М И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Мельгуй М.А.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

При импульсном магнитном методе контроля испытуемое изделие намагничивают магнитным полем короткого соленоида, ось которого перпендикулярна поверхности испытуемого изделия, а по обмотке пропускают серию импульсного тока. В классическом варианте указанная серия содержит импульсы одинаковой амплитуды [1]. Измеряют один параметр – градиент ∇H_{rn} напряженности поля остаточной намагниченности изделия вдоль оси симметрии намагничивающего поля, по величине которого и заранее установленном однопараметровом линейном уравнении корреляционной связи между контролируемой характеристикой и величиной ∇H_{rn} определяют расчетную характеристику. Приборы типа ИМА [2] широко используются для контроля механических свойств листового проката низкоуглеродистых сталей.

Отличительной особенностью импульсного магнитного метода является низкая чувствительность к зазору между преобразователем и контролируемым изделием, которая у приборов типа ИМА не превышает 2 % при изменении зазора на 0,1 мм [3].

Однако однопараметровый ИМА-метод, не позволяет решать многие задачи контроля качества изделий машиностроения: контроль качества среднего и высокого отпуска изделий из сталей, содержащих углерода более 0,3 %, контроль качества упрочненных слоев после цементации или ТВЧ закалки, контроль качества за-

калки и отпуска инструментальных сталей и т.п.

Для их решения предложен импульсный магнитный многопараметровый метод неразрушающего контроля [4-6] и прибор типа ИМА-М (Импульсный магнитный анализатор многопараметровый) для реализации метода.

Импульсный магнитный многопараметровый анализатор ИМА-М

Общий вид прибора показан на рисунке 1. Функциональная схема опубликована [7]. Здесь мы остановимся на возможностях ИМА-М.

Рисунок 1 – Общий вид прибора

При наборе статистических данных управление работой ИМА-М осуществляется от ПЭВМ с помощью специальной программы **«ИМА-М»**.

Поиск уравнения множественной корреляционной связи между контролируемой характеристикой и измеренными магнитными параметрами осуществляется на ПЭВМ с помощью программы **«make Regression»** в виде:

$$У=a_0+a_1\nabla H_{rnm}+a_2\nabla H_{rns}+a_3\nabla H_{rn0}+ +a_4\nabla H_{rni}+a_5\nabla H_{rn0i}+a_6\nabla H_{rnmi} \quad (1)$$

с указанием величины коэффициентов a_0, $a_1 \ldots a_6$, где У - контролируемая характеристика.

Примеры задач решаемых с помощью импульсного магнитного анализатора многопараметрового ИМА-М

1. Контроль качества термообработки рессорно-пружинной стали 60С2 [8] и 50ХГФА [9].

2. Контроль качества высокотемпературного отпуска изделий из среднеуглеродистых сталей, содержащих углерода более 0,3 %, сталь 35 [10] и сталь 45 [11].

3. Контроль качества закалки ТВЧ.

Исследования проведены [12] на штоках гидравлических амортизаторов, изготавливаемых из стали 45 одним из ОАО Республики Беларусь.

4. Контроль качества цементации [13].

Исследования проведены для червячного вала 64226-3501141 из стали 20ХН3А.

Установлено, что использование прибора ИМА-М позволяет определять расчетные величины: глубину слоя цементации на вершине зуба, на боковой стороне и во впадине между зубьями; твердость после закалки; твердость после отпуска.

5. Контроль качества закалки и отпуска инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 Установлена [14] возможность осуществить расчет:

– температуры закалки $t_{закр}$ в интервале (1000-1280) °С

– твердость при тех же режимах закалки

– температуру отпуска $t_{отпр}$ после закалки от 1225 °С и отпуска в интервале температур (300-700) °С.

1. Мельгуй, М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей. – Минск // Наука и техника. – 1980. – 184 с.
2. Матюк, В.Ф. Импульсный магнитный анализатор ИМА-4М / В.Ф.Матюк, М.А. Мельгуй, А.А.Осипов, В.Д.Пиунов, В.Н.Кулагин // Дефектоскопия. – 2003. - № 3. – С. 47-53.
3. Мельгуй, М.А. Погрешность, вносимая изменением зазора при импульсном локальном магнитном контроле / М.А.Мельгуй, В.Д.Пиунов // Дефектоскопия. – 1984. - № 2. – С. 41-45.
4. Патент РБ G01N27/80, G01R33/12 МПК, 2006, Матюк В.Ф., Мельгуй М.А., Пинчуков Д.А. Способ импульсного магнитного многопараметрового контроля твердости изделия из ферромагнитного материала. – Официальный бюллетень. – № 5. – 2007. – С. 135.
5. Патент РБ 10698, G01N27/72, G01N27/80, G01B7/02, G01R33/12, МПК 2006. Матюк В.Ф., Мельгуй, М.А., Пинчуков Д.А. Способ контроля толщины и твердости поверхностно-упрочненного слоя изделия из ферромагнитного материала. – Официальный бюллетень, № 3, 2008. – С. 151-152.
6. Патент России № 2330275. G01N27/80. МПК. 2006.01. Способ контроля качества поверхностно-упрочненного слоя изделий из ферромагнитных материалов. Матюк, В.Ф., Мельгуй, М.А., Пинчуков, Д.А. // Б.И. России. – 2008. – № 21.
7. Матюк, В.Ф. Разработка нового прибора для магнитной структуроскопии на основе особенностей гистерезиса остаточной намагниченности при импульсном перемагничивании изделия. / Матюк В.Ф., Мельгуй М.А. // Приборы и методы измерений. – 2011. – № 1 (2). – С. 17-24.
8. Матюк, В.Ф. Контроль прочностных характеристик и качества термической обработки ферромагнитных изделий по параметрам петли гистерезиса остаточной намагниченности при их локальном намагничивании импульсами магнитного поля изменяющейся амплитуды. II. Сталь 60С2 / В.Ф. Матюк, М.А. Мельгуй, Д.А. Пинчуков, А.Л. Люба-

рец // Дефектоскопия. – 2005. – № 5. – С. 14-23.
9. Матюк, В.Ф. Контроль прочностных характеристик и качества термообработки ферромагнитных изделий по параметрам петли гистерезиса остаточной намагниченности при их локальном намагничивании и перемагничивании импульсным магнитным полем изменяющейся амплитуды. III. Сталь 50ХГФА. Матюк В.Ф., Мельгуй М.А., Пинчуков Д.А., Любарец А.Л // Дефектоскопия. – 2005. – № 8. – С. 57-67.
10. Матюк, В.Ф Новые возможности импульсного магнитного метода контроля изделий из ферромагнитных сталей. / Матюк В.Ф., Мельгуй М.А., Пинчуков Д.А., Аброскина С.А. // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2006. – № 2. – С. 114-120.
11. Матюк, В.Ф. Контроль качества высокотемпературного отпуска изделий из среднеуглеродистой стали 45 многопараметровым импульсным магнитным методом. / Матюк В.Ф., Мельгуй М.А., Пинчуков Д.А., Аброскина С.А // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2006. – № 3. – С. 113-118.
12. Мельгуй, М.А., Матюк, В.Ф. Контроль качества закалки ТВЧ импульсным магнитным многопараметровым методом. / Материалы 3-ей международной научно-технической конференции «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Могилев, 23-25 сентября. – 2009 г. – С. 138-140.
13. Мельгуй, М.А. Контроль качества поверхностно-упрочненных слоев изделий импульсным магнитным методом. / Материалы международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», Могилев, Белорусско-Российский университет. – 2011. Ч.2. – С. 210-211.
14. Мельгуй, М.А. Использование магнитного многопараметрового анализатора ИМА-М для контроля качества термообработки быстрорежущих сталей. Материалы 6-ой Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2013», 20-22 ноября 2013г., Минск, БНТУ. – 2013. – С. 207-209.

УДК 614.842

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ, ОПОВЕЩЕНИЯ О ПОЖАРЕ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ

Мисюкевич Н.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Существующие технические нормативные правовые акты (ТНПА) рассматривают автоматические системы пожарной сигнализации (СПС), системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией (СОУЭ) как отдельные самостоятельные системы, уделяя незначительное внимание лишь передаче сигналов управления от СПС к СОУЭ. Введенный в действие с 01.01.2011 года приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 19 апреля 2010 года № 115 ТКП 45-2.02-190-2010 [1] установил строительные нормы проектирования пожарной автоматики зданий и сооружений различного назначения и его областью применения является строительство и реконструкция пожарной автоматики. В данном ТНПА есть также требования к системам дымоудаления, оповещения о пожаре и управления эвакуацией. Возникла коллизия. С одной стороны, на момент введения в действие ТКП-45-2.02-190-2010 [1] пожарной автоматикой по СТБ 11.0.02-1995 [2] являлись лишь системы пожарной сигнализации и пожаротушения. С другой стороны, с введением в действие с 01.07.2011 изменения № 3 к СТБ 11.0.02 [2] к пожарной автоматике относятся системы оповещения, а также передачи извещения о пожаре. Наконец, если рассматривать ТКП-45-2.02-190-2010 [1], как ТНПА по проектированию систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией и систем передачи извещений о пожаре, то окажется, что в нем отсутствуют все существенные требования к данным системам, кроме электроуправления. Требования к организации управления эвакуацией отсутствуют также в ТКП 45-2.02 279-2013 [3] и других ТНПА.

Автоматические и автоматизированные СОУЭ образуют вместе с СПС единую систему, и для такой системы необходимо рассматривать все ее компоненты как отдельные составные части, предназначенные для выполнения задачи данной системы. Они являются составной частью автоматизированных систем обеспечения пожаровзрывобезопасности объекта и предназначены для решения задач системы пожарной безопасности. Такой подход позволяет построить технически эффективную систему с минимумом экономических затрат.

Задача СОУЭ – реализация разработанных планов эвакуации в целом по всему для выбора начальных участков и направления эвакуации.

Исследование процесса эвакуации показы-

вает, что наименьшее время эвакуации на участке достигается при плотности потока близкой к максимальной. В случае достижения максимального значения плотности потока возможно резкое изменение скорости движения из-за возникновения задержки движении. Время эвакуации увеличивается более чем в два раза в сравнении с движением с докритической плотностью потока. Необходимо пространство для накопления людей перед участком, на котором произошла задержка. Задержка недопустима на участках с изменяющимся уровнем расположения участка, когда движение потока осуществляется сверху вниз (пандусы, лестничные клетки и т. п.). При высокой плотности потока случайное падение одного человека на таком участке может вызвать цепную реакцию потери равновесия впереди идущих людей в потоке (эффект домино). Остальные, подталкиваемые сзади, вынуждены будут пройти по лежащим. Такое развитие ситуации, аналогично трагедии 1999 г. на переходе станции метро «Немига» в Минске, должно исключаться при проектировании маршрутов движения людей и систем управления эвакуацией.

При эвакуации людей из помещения целесообразно определить критический участок, ограничивающий скорость эвакуации (увеличивающий время эвакуация). Таким участком внутри помещения может являться путь эвакуации или эвакуационный выход. Натурные наблюдения за процессом эвакуации в помещениях с массовым пребыванием людей (театры, кинотеатры, актовые залы) показывают, что задержка эвакуации, увеличивающая продолжительность эвакуации из помещения происходит, как правило, при движении через дверные проемы. Следовательно, для исключения задержки движения людского потока на выходе из помещения и уменьшения общего времени эвакуации, целесообразно ограничить скорость движения к эвакуационным выходам, обеспечив пропускную способность дверных проемов с интенсивностью ниже максимальной. Анализ конструктивного исполнения путей эвакуации, требований ТНПА и математическое моделирование процесса эвакуации из помещений с массовым пребыванием людей показывает, что ситуация по эвакуации из помещений улучшается при уменьшении ширины эвакуационных путей на начальных участках пути движения в помещении. Расстояние в 0,45 м между рядами кресел, стульев, скамеек в зрительном зале (минимально необходимое по ТНПА) обеспечивает быстрое движение между рядами и создает задержки движения на путях
зданию (сооружению), а при необходимости – последовательно или выборочно в отдельных его частях (этаж, секция и т.п.). Конечная цель – безопасная эвакуация людей. Достижению именно этой цели должны быть подчинены затраты на систему СПС-СОУЭ.

Действующие ТНПА предписывают проводить оповещение людей о пожаре в системах СО-3, СО-4, СО-5 сначала обслуживающего персонала, а затем всех остальных (при необходимости по специально разработанной очередности) [4]. Персонал, который осуществляет постоянный прием сигналов от приемно-контрольного оборудования называется дежурным или оперативным. Именно он получает вначале сигнал оповещения. Обычно, если в течение 5 с не последовало отмены сигнала «Пожар», начинается оповещение. Ложное включение систем управления эвакуаций может нарушить жизнедеятельность большого количества людей, находящихся в здании, что уже является чрезвычайной ситуацией по закону [5]. Очевидно, что чрезвычайные ситуации в рамках нормальной жизнедеятельности, в том числе и при получении ложных сигналов о пожаре, должны исключаться. Это является насущной задачей, т.к. анализ поступающих сообщений в настоящее время показывает, что действительным сигнал «Пожар» является лишь в менее 1% случаев.

Чем больший объем защищает СПС, тем более вероятно ложное формирование сигнала «Пожар» извещателями (возрастает их количество) с последующим выдачей сигнала СОУЭ. Практика эксплуатации больших зданий: к примеру, Национальной библиотеки показывает, что при этом СОУЭ выдает сигнал эвакуации для всех людей, находящихся в здании, нарушая их нормальную жизнедеятельность, создавая в данном случае (нарушены условия жизнедеятельности свыше 500 человек) республиканскую чрезвычайную ситуацию.

Целесообразно минимизировать негативные последствия ложных тревог путем разбивки объекта на логические зоны и определения очередности и времени включения СОУЭ зон в зависимости от места возникновения пожара. От места возникновения пожара будут зависеть и возможные сценарии вынужденной эвакуации людей, которые необходимо установить при расчете времени эвакуации людей эвакуации, в том числе в дверных проемах. С одной стороны, большое расстояние между рядами сокращает возможности использования объема помещения по назначению (количество мест), с другой стороны, ухудшает возможность экстренной эвакуации людей из помещения в целом. На действующих объектах данное расстояние меньше, что положительно влияет и на использование помещения по назначению, и на условия эвакуации.

При построении объединенной СПС-СОУЭ следует определиться с пространственной конфигурацией логических зон: управления эвакуацией, оповещения, эвакуации, контроля опасных

факторов пожара (ОФП). При этом придется учитывать логические взаимосвязи между задачами, решаемыми в каждой из зон, исключив взаимонеприемлемые для технических средств разных логических зон варианты их пространственного расположения. Самый простой вариант – совпадение пространственной зоны с разными логическими. Тогда СПС контролирует ОФП в пределах выделенного(ых) помещения(ий). При появлении ОФП СПС задействует прибор пожарный управления (ППУ) и в помещение(я) подается сигнал о пожаре, управление проводится по заданному алгоритму с учетом принятого сценария. Если имеется большое открытое пространство (стадион, зал и т.п.), то оповещение в силу особенностей современной аппаратуры акустического оповещения будет проводится одновременно для всех людей в данной зоне (зоне оповещения), а эвакуация в различных направлениях, т.е. зона оповещения и зоны эвакуации будут пространственно различаться.

1. ТКП-45-2.02-190-2010 (02250) Пожарная автоматика зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования.
2. СТБ 11.0.02-95 Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность. Общие термины и определения.
3. ТКП 45-2.02-279-2013 (02250) Здания и сооружения. Эвакуация людей при пожаре. Строительные нормы проектирования.
4. СНБ 45-2.02-02-01 Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре.
5. Закон Республики Беларусь от 5 мая 1998 № 141–З О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

УДК 681.2

СИНТЕЗАТОР С МАЛЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ УРОВНЕЙ ПОБОЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И ШАГА СЕТКИ ЧАСТОТ

Муравьёв В.В.[1], Наумовича Н.М.[1], Кореневский С.А.[1], Стануль А.А.[2]
[1]Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
[2]НПО ООО «СКТБ ТСП», Минск, Республика Беларусь

Многие радиотехнические задачи для своего решения требуют качественных сверхвысокочастотных синтезаторов частоты.

Так в радиолокации требуются синтезаторы с низкими уровнями фазовых шумов (ФШ), т.к. шумы передатчика затрудняют обнаружение доплеровских целей на фоне неподвижных объектов, а побочные спектральные составляющие (ПСС) могут восприниматься системой обработки как ложные цели. В телекоммуникации при большом уровне ФШ невозможно использовать модуляции высоких порядков, что приводит к снижению скорости передачи.

В метрологии сигнал опорной частоты должен иметь параметры превышающие по классу точности (качества) измеряемый сигнал. Этими параметрами могу являться уровни ПСС, фазовых шумов, точность и шаг установки частоты.

Так же часто важна скорость перестройки частоты синтезатор, т.к. она может влиять на помехозащищённость и скрытность (радиолокация и телекоммуникация), время измерения (метрология)

Одним из основным способом формирования СВЧ сигнала на сегодня является способ умножения частоты опорного генератора (часто кварцевого) в несколько раз (а то и сотен раз) на петле фазовой автоподстройки частоты. Простейшая ФАПЧ имеет в составе целочисленный делитель частоты, коэффициент деления которого и равен коэффициенту умножения частоты кварца на петле. В такой системе шаг сетки частот равен частоте кварца, что вызывает необходимость уменьшать частоту опорного сигнала. С другой стороны уменьшение частоты опорного сигнала приведёт к увеличению коэффициента деления частоты (низкая частота работы фазового детектора), что приведёт к увеличению уровня фазовых шумов выходного сигнала.

Этих недостатков лишены дробночисленные (фракционные) делители частоты. Они позволяют делить частоту на дробный переменный коэффициент, что позволяет добиться малого шага сетки частот при малом коэффициенте деления (высокая частота работы фазового детектора). Однако дробночисленный делитель частоты порождает множество побочных составляющих, часть из которых проходит ФНЧ перед ГУНом и попадает в выходной сигнал.

Проведённый анализ схем показал, что качественный синтезатор, удовлетворяющий множеству требований можно изготовить на 2-х петлевой схеме (рисунок 1).

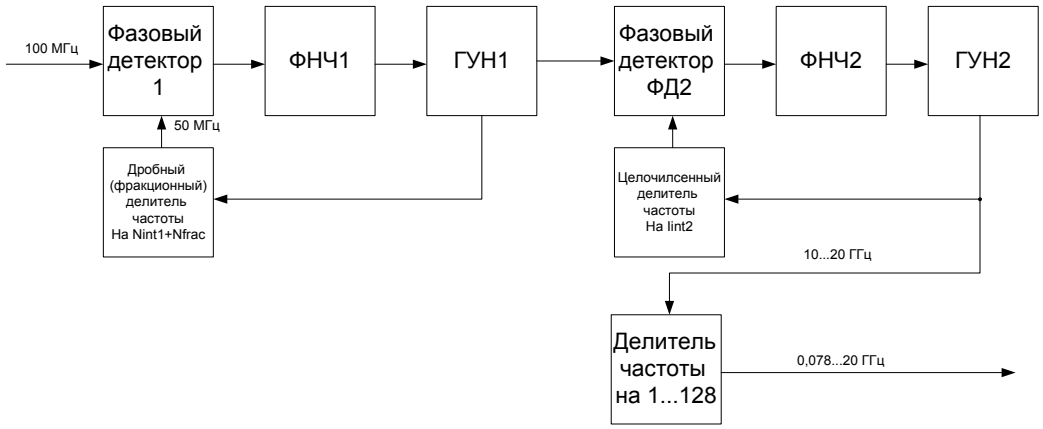


Рисунок 1 – Структурная схема синтезатора

1-я петля выполнена на микросхеме синтезатора частоты с фракционным делителем частоты с выходной частотой 90..100 МГц. Использование фракционного делителя обеспечивает очень малый шаг по частоте, менее десятка Гц.

Далее сигнал умножается на петле ФАПЧ2 в целое число раз до необходимой рабочей частоты. Благодаря высокой рабочей частоте обоих фазовых детекторов ФНЧ1 и ФНЧ2 имеют довольно широкие полосы, что помимо низких фазовых шумов обеспечивает быструю перестройку частоты

Синтезатор имеет 2 степени свободы: можно управлять 1-м фракционным делителем частоты и 2-м целочисленным делителем. Таким образом, одну и ту же частоту можно получать множеством комбинаций этих параметров. Установленный на плате микроконтроллер реализует довольно сложный алгоритм расчета оптимальных коэффициентов деления, при которых ПСС в сигнале будут минимальными.

Использование современных управляемых делителях частоты на выходе и октавного ГУН позволили расширить полосу выходного сигнала.

Разработанный синтезатор (рисунок 2) имеет следующие параметры:

- Диапазон рабочих частот 78 - 20 000 МГц
- Максимальный уровень ПСС -65 дБс
- Шаг сетки частот 1 Гц
- Время перестройки 10 мкС

Рисунок 2 – Внешний вид синтезатора

Типичные значения уровня фазовых шумов (частота 11 002 МГц) приведёны на рисунке 3. Так же на рисунке видно, что в спектре отсутствуют ПСС на отстройке до 10 МГц от несущей частоты.

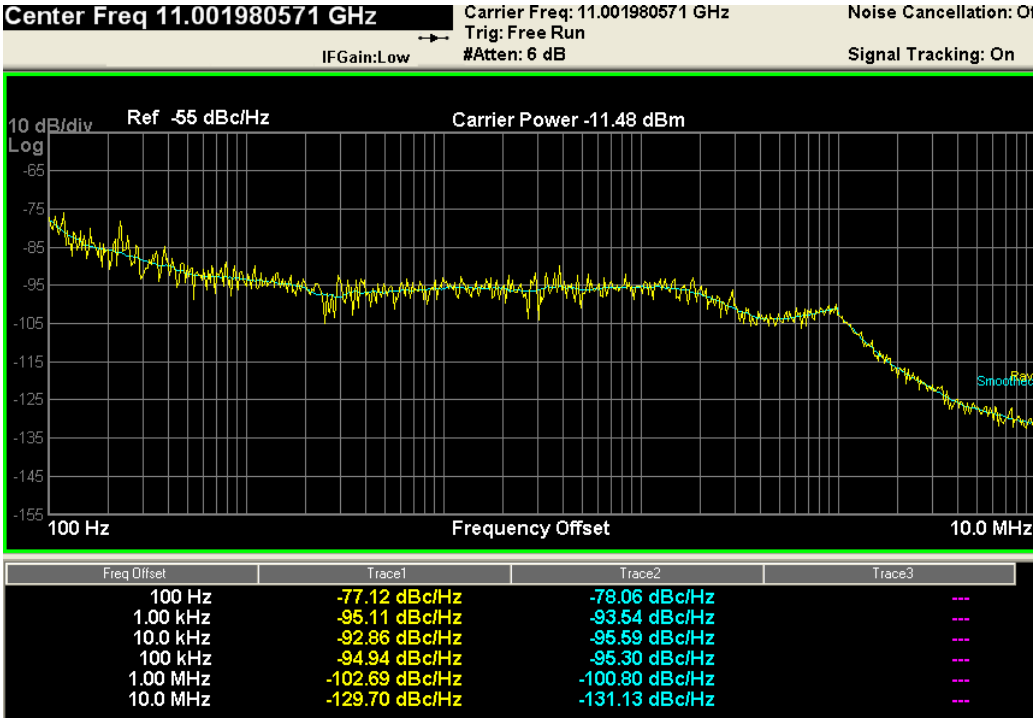


Рисунок 3 – Фазовый шум на частоте 11,002 ГГц

1. Ченакин А., Частотный Синтез: Текущие Решения и Новые Тенденции: Пер. с англ. «Microwave Journal», май 2007. – с.256-266
2. Домашняя страница фирмы Hittite [Электронный ресурс] / информация о выпускаемых продукции: техническое описание HM834LP6E / Hittite microwave corp. версия 01.0911 [2013] – Режим доступа https://www.hittite.com/content/ documents/data_sheet/hmc834lp6.pdf, свободный. - Загл. с экрана. – Дата доступа: 10.02.2014. – Яз. англ.

УДК 628.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В КОРИДОРЕ ЗДАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Невдах В.В., Антошин А.А., Зуйков И.Е.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Моделирование динамики опасных факторов на их начальной стадии в помещениях различного назначения обычно осуществляется для обоснования выбора типов пожарных извещателей и их расположения при разработке эффективных систем пожарной сигнализации, основной задачей которых является минимизация гибели людей и материальных потерь от возможных пожаров в таких помещениях. Известно, что на динамику начальной стадии пожаров в помещениях оказывают существенное влияние ряд параметров, таких как мощность пожара и скорость его развития, высота расположения источника возгорания над уровнем пола, наличие естественной вентиляции помещения, площадь и высота расположения вентиляционных отверстий [1, 2]. Специфика зданий образовательных учреждений заключается в их планировке. Особенностью каждого этажа таких зданий является наличие длинного коридора, с обеих сторон которого обычно расположены учебные и другие помещения, соединенные дверями с коридором. Так как основной пожарной нагрузкой в образовательных учреждениях является мебель, учебная литература и возможно электроприборы и эта нагрузка обычно сосредоточена именно в этих помещениях, то вероятность возникновения пожара в них намного выше, чем в коридоре. При возникновении пожара в одном из боковых помещений дым попадает в коридор, распространяется по нему и может попадать в другие помещения, создавая опасность для находящихся там людей. Кроме того, коридоры обычно являются важной частью путей эвакуации, и знание динамики изменения опасных факторов пожара в коридорах при возникновении пожара в боковых

помещениях необходимо для расчетов времени эвакуации людей из здания.

Целью настоящей работы являлось компьютерное моделирование с помощью программы FDS поведения опасных факторов пожаров на их начальном этапе в коридоре многоэтажного здания образовательного учреждения при их возникновении в боковом помещении, находящемся в начале коридора. Программа FDS, в которой реализована полевая модель пожара, лучше всего подходит для моделирования пожара в помещениях большой длины. В этой программе численно решаются модифицированные уравнения Навье-Стокса для тепломассопереноса при горении в выбранные моменты времени для каждой кубической ячейки в прямоугольной системе координат [3,4]. Результаты моделирования отображаются программой визуализации Smokeview [5].

С помощью специального графического интерфейса PyroSim в прямоугольной расчетной сетке с кубическими ячейками с ребром 0.1 м была создана модель этажа здания образовательного учреждения, состоящего из коридора с размерами 2.5×40×3 м с прилегающими к нему с двух сторон объемами шириной по 5 м, разделенные на учебные помещения разных размеров, которые соединяются с коридором дверными проемами размерами 1×2 м.

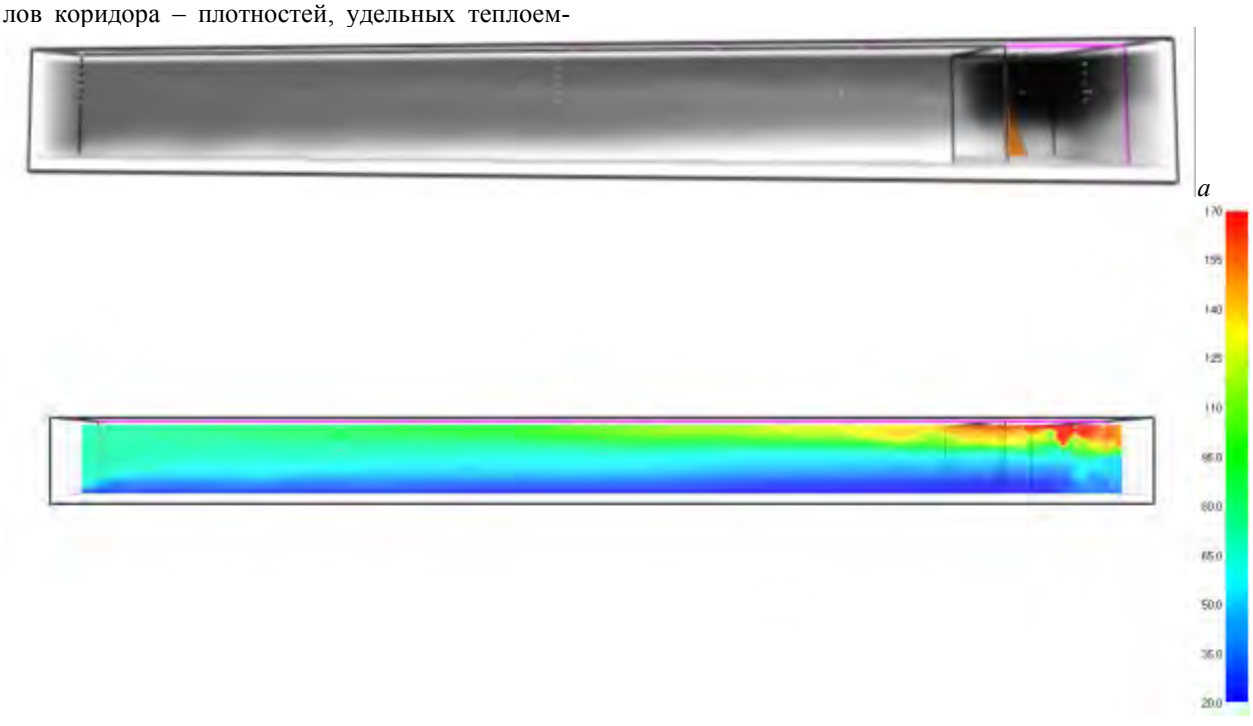
Пол толщиной 0.3 м и потолок толщиной 0.2 м сделаны из бетона, все стены толщиной 0.2 м – из пеноблоков. В модели использовались справочные значения параметров, определяющих тепловую инерцию конструкционных материалов коридора – плотностей, удельных теплоемкостей и коэффициентов теплопроводности. Источник пожара мощностью 500 кВт с размерами 0.5×0.5 м располагался на полу помещения на расстоянии 3.5 м от открытой двери в коридор.

Моделировалась динамика температуры, давления и затемнения воздуха в закрытом с торцов коридоре на начальном этапе квазистационарного по тепловыделению пламенного пожара, возникающего в помещении, находящемся в начале коридора. Такой коридор вместе с помещением образовывал закрытое пространство, пожар в котором протекал по сценарию пожаров, контролируемых содержанием кислорода – процесс горения продолжался до тех пор, пока в комнате хватало кислорода [1].

Параметры пожара - температура воздуха в коридоре, изменение его давления и затемнение контролировались наборами соответствующих датчиков, располагавшихся на вертикальных осях по центру коридора на расстояниях 2, 10, 20, 30 и 39 м от его начала. Пример картины пожара на его 111-й секунде, а также пространственные распределения температуры воздуха и изменения давления на продольной оси коридора представлены на рисунках 1 (*а-в*).

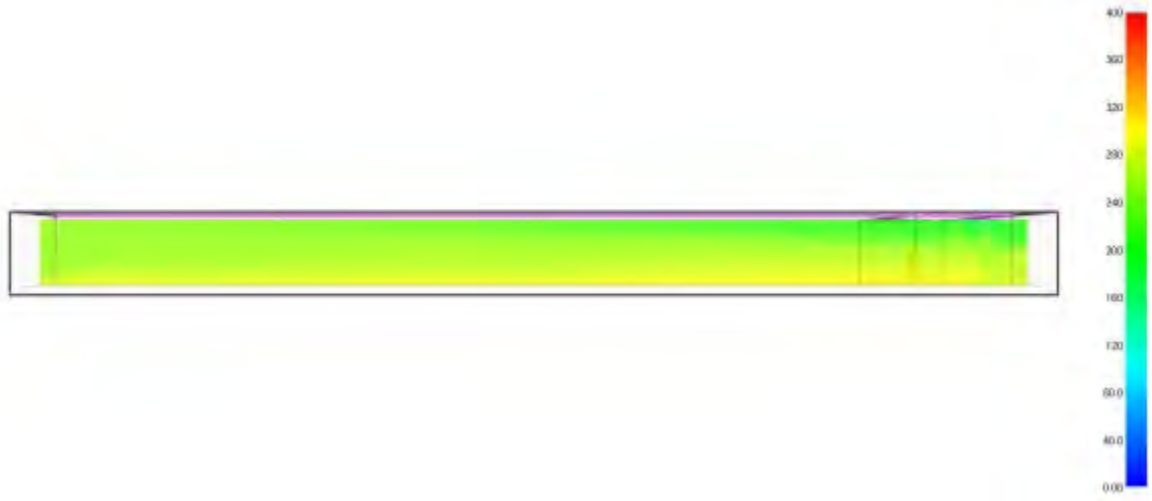
Характер изменения распределения контролируемых параметров по длине и высоте коридора иллюстрируют рисунки 2-7.

Из сравнения зависимостей на рисунках 2, 3 с зависимостями на рисунках 3, 4 видно, что в коридоре устанавливается пространственное распределение температуры воздуха с практически не меняющимися со временем горизонтальными и вертикальными градиентами,



а

б



в

Рисунок 1 – Вид коридора на 111-й секунде пожара мощностью 500 кВт с источником на полу в комнате в начале коридора: заполнение коридора дымом (*а*), распределения температуры воздуха (*б*) и изменения давления (*в*) в вертикальной плоскости по продольной оси коридора

тогда как дым, заполняющий верхнюю зону коридора, почти однороден по оптической плотности, как по длине, так и по высоте. Заполнение осуществляется слоем толщиной ~ 0.5 м, движущимся под потолком от помещения с источником пожара в конец коридора, опускающемся в конце ниже и затем двигающемся в обратном направлении.

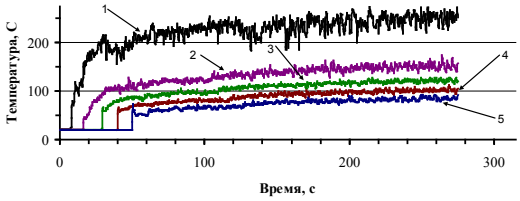


Рисунок 2 - Зависимости температуры воздуха в коридоре от времени на высоте 2,4 м на расстоянии 2 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4) и 39 м (5) от начала коридора

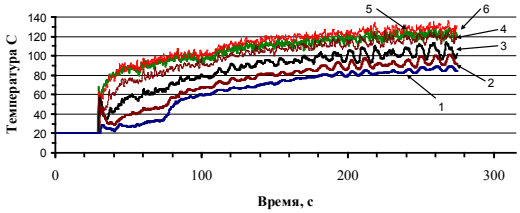


Рисунок 3 - Зависимости температуры воздуха в коридоре от времени на расстоянии 20 м от начала коридора на высоте 1.4 (1), 1.6 (2), 1.8 (3), 2.0 (4), 2.2 (5) и 2.4 м (6)

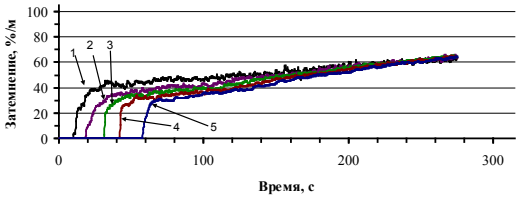


Рисунок 4 - Зависимости затемнения воздуха в коридоре от времени на высоте 2,4 м на расстоянии 2 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4) и 39 м (5) от начала коридора

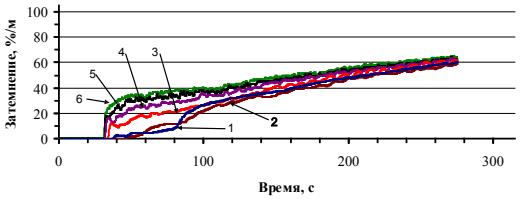


Рисунок 5 - Зависимости затемнения воздуха в коридоре от времени на расстоянии 20 м от начала коридора на высоте 1.4 (1), 1.6 (2), 1.8 (3), 2.0 (4), 2.2 (5) и 2.4 м (6)

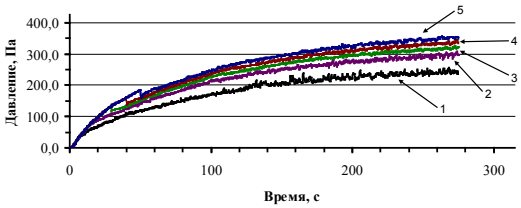


Рисунок 6 - Зависимости изменения давления воздуха в коридоре от времени на высоте 2,4 м на расстоянии 2 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4) и 39 м (5) от начала коридора

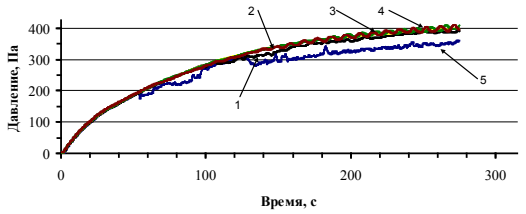


Рисунок 7 - Зависимости изменения давления воздуха в коридоре от времени на высоте 0.1 м на расстоянии 2 (1), 10 (2), 20 (3), 30 (4) и 39 м (5) от начала коридора

Такое движение дыма происходит благодаря складывающемся при пожаре пространственному распределению изменения давления по отношению к начальному атмосферному (см. рисунки 6 и 7).

Таким образом, моделирование показало, что на начальном этапе пожара в коридоре здания образовательного учреждения пространственные распределения температуры и затемнения воздуха имеют различную динамику. Нелинейность тепловыделения обуславливает газодинамические процессы, приводящие к установлению пространственных распределений температуры воздуха и его давления с противоположными градиентами по высоте помещения, величины которых зависят от мощности источника пожара. Это следует учитывать при планировании эвакуации людей из здания.

1. Драйздейл, Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К.Г. Бомштейна; Под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
2. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
3. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide / K. McGrattan, H. Baum, R. Rehm, et all // NIST Special Publication 1018-5. – 2009. – 94 p.
4. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide / K. McGrattan, B. Klein, S. Hostikka, J. Floyd // NIST Special Publication 1019-5. – 2009. – 176 p.
5. Forney G. User's Guide for Smokeview Version 5 – A Tool for Vizualizing Fire Dynamics Simulation Data / G. Forney // NIST Special Publication 1017-1, August 2007.

УДК 62-9+621.86

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНОГО АГРЕГАТА

Несмиянов И.А., Токарев В.И., Захаров Е.Н.
Волгоградский государственный аграрный университет
Волгоград, Российская Федерация

Эффективность использования погрузочно-разгрузочной техники, как правило, оценивается по объёму грузопереработки за час, смену, сезон и оценивается по количеству погруженных или разгруженных грузов на конечных пунктах. Однако универсальные погрузчики могут использоваться в течение смены на разных работах и с разными грузами. Отсутствие точного учёта грузопереработки одним погрузочным агрегатом снижает эффективность его рационального применения, усложняет учёт энергозатрат на операцию и оптимального использования на различных технологических операциях разгрузки-погрузки [1].

Эксплуатационно-технологический мониторинг погрузочно-разгрузочных и транспортных работ, на которых задействованы мобильные погрузчики, является не только средством повышения производительности, качества работ, комфорта и безопасности труда, но и средством повышения потребительских качеств техники.

На настоящее время в России и странах СНГ на выпускаемых сельскохозяйственных навесных погрузчиках и манипуляторах средства автоматизации практически отсутствуют, а если и оснащаются, то заимствуются от промышленных, строительных и военных кранов-манипуляторов**.** Следует отметить, что для погрузочных манипуляторов с пространственным исполнительным механизмом параллельной кинематики вообще нет разработок в области систем автоматизации контроля и обеспечения безопасного управления технологическим процессом грузопереработки из-за оригинальности кинематического строения исполнительных механизмов [2, 3].

Одним из способов повышения производительности погрузочного агрегата может быть выработка оптимальных режимов погрузочных операций и их планирование, направленное на уменьшение суммарного времени простоев погрузчика за смену и время холостого перемещения рабочего органа. Регистрируемое время различных этапов при выполнении технологического процесса погрузочным агрегатом позволяет определить коэффициент загруженности погрузочного агрегата, его фактическую производительность и эффективность использования на конкретной технологической операции.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс мониторинга работы погрузочного агрегата построен по блочно-модульному принципу, где каждый функциональный блок может ис-

пользоваться как автономно, так и интегрироваться с другими блоками-модулями (рис. 1) [4].

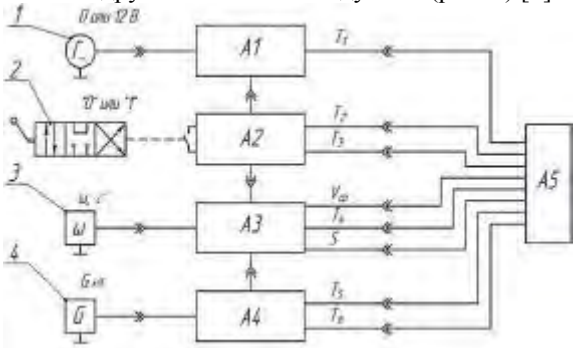


Рисунок 1 – Функциональная схема программно-аппаратного комплекса мониторинга работы погрузочного агрегата

Блок *A1* (рис.1) регистрирует время работы двигателя T_1 на основе сигнала от генератора 1, т.е. таймер включается как только появляется напряжение на клеммах генератора. Рукоять гидрораспределителя 2 кинематически связана с контактами включателя блока *A2*, который фиксирует время работы гидропривода T_3 при замыкании контактов и время простоя погрузочного агрегата при включенном двигателе T_2 в нейтральном положении золотника гидрораспределителя. Причем для регистрации времени простоя агрегата T_2 совместно используются блоки A_1 и A_2. На валу колеса трактора, агрегатирующего погрузочный манипулятор, установлен датчик угловой скорости 3, сигнал от которого поступает на блок *A3*, который регистрирует время движения агрегата T_4, вычисляет пройденный погрузочным агрегатом путь S и среднюю скорость при движении погрузочного агрегата $V_{ср}$. От датчика грузоподъемности 4, размещенного на крюковой подвеске, сигнал поступает на блок *A4*, регистрирующий время нагруженного грузом рабочего оборудования T_6 и время движения погрузочного агрегата с грузом T_5, последний параметр регистрируется посредством совместной работы блоков *A3* и *A4*. Все параметры обрабатываются и сохраняются в блоке *A5*, а при необходимости выводятся на сегментный индикатор.

По умолчанию на индикаторе высвечивается текущее время работы двигателя T_1, для индикации остальных параметров используются кнопки 2 и 3 на лицевой панели прибора (рис.2).

Блоки *A1, A2, A3, A4* и *A5* могут интегрироваться друг с другом и работать как единая система, но могут работать и автономно друг от друга, однако при этом функциональность некоторых блоков может снижаться. Блок *A1* полностью автономный и интегрируется с блоками *A2* и *A5*. Блок *A2* интегрируется с *A1*, *A3* и *A5*, при отсутствии блока *A3* будет невозможна регистрация времени простоя погрузочного агрегата. Блок *A3* полностью автономен и интегрируется с блоками *A2*, *A4* и *A5*. Блок *A4* интегрируется с *A3* и *A5*, при отсутствии блока *A3* регистрирует только время нагруженного грузом рабочего оборудования. Аппаратная часть прибора выполнена на микроконтроллере *PIC16F877a*.

1-сегментный индикатор; 2 – кнопки переключения режимов индикации текущего времени T_2, T_3, T_5, T_6; 3- кнопки переключения режимов индикации T_4, S, $V_{ср}$; 4 – разъем питания прибора; 5 – разъем для подключения датчиков.

Рисунок 2 – Внешний вид прибора системы мониторинга работы погрузочного агрегата

Алгоритм опроса датчиков построен на процедурах прерываний и реализован на Ассемблере. В процессе выполнения программы постоянно производится опрос состояния контактов кнопок переключения режимов индикации. Прибор позволяет беспрерывно регистрировать эксплуатационно-технологические параметры в течение 9 часов 59 минут, предусмотрена возможность переноса регистрируемых и расчетных параметров на компьютер после каждой смены.

Регистрируемые эксплуатационно-технологические показатели работы погрузочного агрегата:

- Время работы двигателя погрузочного агрегата T_1;
- Время простоя погрузочного агрегата при включенном двигателе T_2;
- Время работы гидропривода T_3;
- Средняя скорость при движении погрузочного агрегата $V_{ср}$;
- Время движения агрегата T_4;
- Пройденный погрузочным агрегатом путь S;
- Время движения погрузочного агрегата с грузом T_5;
- Время нагруженного грузом рабочего оборудования T_6.

На основе регистрируемых параметров рассчитываются показатели эффективности использования погрузочного агрегата на конкретном виде работ:

- Коэффициент использования гидропривода погрузочного агрегата $K_1=T_3/T_1$;
- Время холостого позиционирования рабочего оборудования $T_7=T_3-T_6$;
- Время холостых переездов и переезды к месту (от места) работ $T_8=|T_4-T_5|$;
- Коэффициент полезного использования погрузочного агрегата на погрузочно-разгрузочных (погрузочно-транспортных) работах $K_2=T_6/T$;
- Коэффициент простоя агрегата $K_1=T_2/T_1$.

Предложенный программно-аппаратный комплекс и методика определения эксплуатационно-технологических показателей эффективности использования погрузочного агрегата могут применяться практически на всех сельскохозяйственных погрузчиках и манипуляторах вследствие универсальности аппаратной части. Апробация программно-аппаратного комплекса мониторинга работы погрузочного агрегата проводилась как в лабораторных условиях, так и на погрузочном манипуляторе НПМ-0,6 на базе самоходного шасси Т-16МГ.

1. Несмиянов, И.А. Направления развития роботизированных погрузочных манипуляторов для АПК [Электронный ресурс]/ И.А. Несмиянов, В.И. Токарев // Современная техника и технологии. – Октябрь, 2012. – Режим доступа: http://technology.snauka.ru/2012/10/1382.
2. Герасун, В.М., Системы управления манипуляторами на основе пространственных исполнительных механизмов./ Герасун В.М., Несмиянов И.А..// Мехатроника, автоматизация, управление. №2 – 2010.- с.24-28.
3. Nesmiyanov, I. A. The control system of the manipulator agricultural robot/ I.A. Nesmiyanov, V.V.Zoga, V.E.Pavlovskiy, N.S. Vorobyeva // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2014.- №3(35). – С.232-237.
4. Патент №140869 РФ, МПК G01C 9/00, B66F9/06. Бортовая информационная система контроля положения погрузочного агрегата/ И.А. Несмиянов, В.И. Токарев, Е.Н. Захаров. – Опубл.20.05.2014.

УДК 621.0

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ АЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Белый И.В., Кучинский П.В., Новик А.Н., Тамашевич С.Г.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Минск, Республика Беларусь

Республика Беларусь, как одна из наиболее пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС, уделяет большое внимание ликвидации последствий для безопасности проживания и жизнедеятельности населения на территории Государства.

Необходимость радиационно-экологического контроля территории обусловлено, также, наличием вблизи границ четырех АЭС сопредельных государств и строительством в республике своей АЭС.

В НИИПФП им.А.Н. Севченко БГУ разработана программно-аппаратная структура и изготовлен опытный образец оборудования автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) окружающей среды АЭС с применением спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения.

АСКРО АЭС состоит из сети автоматических пунктов измерения (АПИ), располагаемых в зоне влияния ядерно-опасного объекта, и центров реагирования (ЦР) регионального и национального уровней. Структура базового комплекса представляет собой иерархическую информационную сеть, состоящую из территориально разнесенных узлов различных типов, имеющих различные функциональные возможности и различные информационные каналы, обеспечивающие интеграцию узла в пространство сети. Каждый узел сети включает в себя аппаратные и программные средства различающиеся по составу и выполняемым функциям, в зависимости от типа узла.

Программное обеспечение АСКРО АЭС имеет распределенную архитектуру и состоит из встроенного ПО АПИ и ПО ЦР, которое использует векторные многослойные электронные карты в формате ГИС MapInfo и современную СУБД, имеющую клиент-серверную архитектуру.

Функционирование АПИ осуществляется под управлением терминального контролера на основе ATxmega 256A3. В качестве блоков детектирования гамма-излучения применяются блоки типа БДКГ-22 и спектрометрический блок БДКГ-11М. Спектрометрический блок детектирования представляет собой высокочувствительный сцинтилляционный интеллектуальный блок детектирования гамма-излучения, предназначенный для поиска, быстрого обнаружения и локализации источников гамма-излучения с чувствительностью по ^{137}Cs 1960 (имп/с)/(мкЗв/ч), измерения спектра гамма-излучения (проведение идентификации радионуклидного состава), а также для измерения мощности амбиентной эквивалентной дозы и дозы гамма-излучения в диапазоне энергий 20 кэВ – 3 МэВ.

Сцинтилляционный блок имеет следующие характеристики:

- детектор сцинтилляционный NaI(Tl) 63x63 мм;
- диапазон измерения мощности амбиентной эквивалетной дозы гамма-излучения: 0,01 - 100 мкЗв/ч;
- погрешность измерения не более ± 20 %;
- энергетическая зависимость чувствительности ± 20 %;
- диапазон энергии 20 кэВ - 3 МэВ;
- число каналов АЦП 512;
- относительное энергетическое разрешение по гамма-линии 662 кэВ не более 9,5 %;
- чувствительность по ^{137}Cs 1960 имп•с$^{-1}$/мкЗв•ч$^{-1}$;
- диапазон рабочих температур - 20 + 50°С;

Аппаратура АПИ функционирует под управлением встроенного программного обеспечения, которое обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- поддержка интерфейсов RS485 или RS-232 для опроса детекторов гамма-излучения;
- предварительная обработка спектра гамма-излучения и подготовка к передаче по каналам связи GSM/GPRS или радио;
- управление GSM/GPRS или радио модемом канала связи с ЦР;
- поддержка протокола пакетной цифровой приемо-передачи для GSM/GPRS или радио канала;
- постоянный контроль и синхронизация работы

программных модулей, выполняющих заданные

функции;

- поддержка управления настроечными параметрами функционирования ПО и сохранение их в энергонезависимой памяти контролера АПИ;
- поддержка протоколов TCP/IP,UDP/IP,IP-адресации.

Коммуникационные модули ПО АПИ, проводят обмен информацией с удаленным центром реагирования (ЦР) через сеть интернет или по радио каналу, используя различные протоколы стека TCP/IP.

ПО ЦР обеспечивает функционирование сервера узлов контроля и обработки информации в иерархической информационной сети. Аппаратная структура сервера построена с учетом обеспечения 100% горячего резерва и состоит из двух ПЭВМ, объединенных в локальную сеть с установленным ПО зеркального накопления информации в базах данных. Программное обеспечение компьютеров сервера функционирует в среде операционной системы Windows, используя векторные много-слойные электронные карты в формате ГИС MapInfo.

Накопление информации сервер ЦР осуществляет в базах данных клиент-серверной архитектуры типа FireBird. Там же происходит обработка спектра гамма-излучения, принятого с АПИ, и отдельный программный модуль осуществляет идентификацию радионуклидов. Для этого предполагается наличие информационной базы (библиотеки) g-спектров. Размер этой базы данных представляет собой конечное множество, состоящее из данных об энергиях и интенсивностях всех полезных для идентификации гамма линий изотопов. В упрощенном виде идентификация радионуклидов заключается в математической обработке путем сравнения принятого спектра гамма-излучения с библиотечными данными из базы спектров нуклидов и получения результатов сравнения с заданной вероятностью.

Основные функции программного обеспечения Центра реагирования:

- опрос АПИ;
- накопление информации в базах данных;
- сравнение величин параметров с заданными порогами, перевод системы в тревожный режим и выдача звуковой сигнализации;
- коммуникация между серверами национального, региональных и локальных Центров реагирования ;
- управление режимами работы как отдельного сервера, так и системы в целом;
- обеспечение возможности настройки параметров функционирования системы;
- обеспечение визуализации данных в удобном для оператора виде и управления базами данных;
- самотестирование аппаратных средств с выдачей сообщений о неисправностях.
- автоматическая идентификация радионуклидов и выдача результатов с заданной вероятностью.
- накопление в базах данных и визуализация в графическом виде измеренных гамма-спектров блоками детектирования из состава АПИ.

Разработанная система характеризуется следующими параметрами:

- оличество автоматических пунктов измерения (АПИ) в составе АСКРО – не ограничено;
- количество датчиков (радиационных, метеорологических и др.) на одном АПИ – до 128;
- количество и иерархия центров обработки информации, отображения и принятия решений – в зависимости от структуры АСКРО – не ограничено;
- режим работы оборудования АСКРО: автоматический, непрерывный, всепогодный, с дублированием и автоматической поддержкой исправного состояния;
- измерения в широком диапазоне мощности дозы гамма-излучения;
- два режима работы АСКРО – «нормальный» и «аварийный»;
- передача информации по GSM/GPRS или радио каналу связи с применением стека протоколов TCP/IP;
- надежность и помехозащищенность передачи данных;
- внешние информационные табло;
- звуковая и световая сигнализация;
- энергоснабжение компонентов АСКРО от источников бесперебойного питания;
- низкое энергопотребление;
- полная адресная диагностика работоспособности оборудования;
- измерение метеорологических параметров;
- измерение спектра гамма-излучения и автоматическая идентификация радионуклидов;
- защищенность от неблагоприятных атмосферных и климатических явлений;
- надежность программного обеспечения функционирования и возможность сопряжения с информационными каналами других систем радиационно-экологического мониторинга;
- дистанционное изменение параметров и установок системы;
- отображение результирующей оперативной информации на серверах ЦР в реальном масштабе времени с использованием ГИС.

Проведенные испытания аппаратуры АПИ в соединении с моделью центра реагирования показали правильность конструктивных и программных решений.

1. Коган Р.М., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Основы гамма-спектрометрии природных сред. - М.:Атомиздат, 1969. – 468 с.
2. Дорошенко ГГ, Шлягин К.Н. Справочник по идентификации гамма-излучающих нуклидов. - М.:Атомиздат, 1980. – 144 с.

УДК 535.3+528.88

МАКЕТ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ

Катковский Л.В., Орлов Д.С., Есипович Д.Л., Казак А.А., Курикина Т.М.
Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь

Основной задачей пожарной охраны различных объектов и территорий является обеспечение оперативного обнаружения возгораний.

Разработка недорогой и надежной системы дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров в реальном времени, применяемой как в стационарных условиях, так и с различных подвижных платформ является актуальной задачей.

Тенденцией последних лет становится расширяющееся применение видеотехнологий в задачах обеспечения пожарной безопасности, поэтому недорогие системы, объединяющие в себе цифровые видеокамеры для получения изображений в нескольких спектрозональных каналах и одноэлементные (и соответственно недорогие) датчики ИК диапазона, становятся перспективными с точки зрения раннего и надежного обнаружения пожаров.

Предлагаемая нами система дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров состоит из цветной цифровой видеокамеры, одноэлементных (либо, в варианте исполнения, малоформатных матриц с небольшим числом элементов) приемников излучения среднего и теплового ИК диапазонов, с полями зрения соответствующими полю зрения видеокамеры, блоков питания, управления и обработки, помещенных в общий корпус (рис. 1).

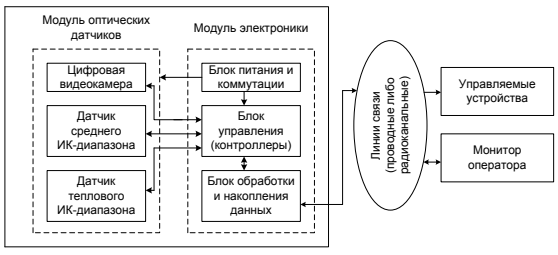
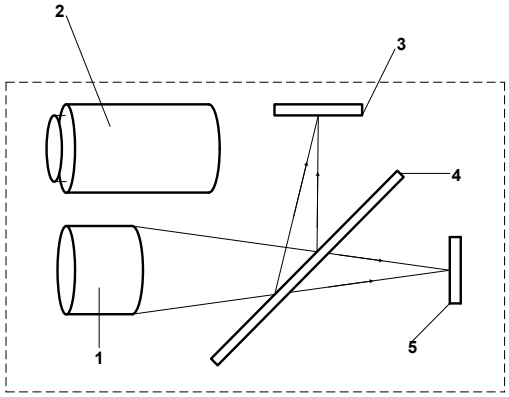


Рисунок 1 – Структурная схема системы дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров

Модуль оптических датчиков системы (рис. 2), включающий входной ИК объектив, цифровую цветную телевизионную камеру, полупрозрачное (светоделительное) зеркало, датчик теплового ИК диапазона, датчика среднего

ИК диапазона, отличается от аналогов тем, что в качестве входного ИК объектива для двух ИК датчиков используется линзовый объектив, датчики среднего и теплового ИК диапазонов являются одноэлементными, входные объективы видеокамеры и ИК датчиков расположены друг над другом, оптические оси которых параллельны, а поля зрения совпадают, частота кадров видеокамеры и частоты опроса ИК датчиков синхронизованы. Все это в совокупности увеличивает светосилу и поле зрения системы, приводя к уменьшению вероятности ложных срабатываний, уменьшению времени и увеличению дальности и надежности обнаружения пожаров.



1 – входной ИК объектив, 2 – цветная цифровая ТВ-камера, 3 – одноэлементный приемник среднего ИК диапазона, 4 – полупрозрачное (светоделительное) зеркало, 5 – одноэлементный приемник теплового ИК диапазона.

Рисунок 2 – Структурная схема модуля оптических датчиков

Датчик среднего ИК диапазона (3 – 5 мкм) наиболее функционален для обнаружения пожаров, поскольку этот диапазон имеет минимальное атмосферное ослабление и максимальную чувствительность. Излучение пожара здесь максимально, при этом само пламя и дым почти прозрачны для излучения в этом диапазоне. В ряде реальных атмосферных ситуаций и условий пожара предпочтительным оказывается использование теплового ИК канала (8 – 14 мкм). Использование в совокупности с цифровой видеокамерой двух ИК каналов, лежащих в среднем и тепловом ИК диапазонах (недорогие одноэлементные приемники), значительно повышает надежность (как из-за многоканальности, так и за счет простоты одноэлементных ИК датчиков) и вероятность правильного обнаружения пожара.

Поток излучения от наблюдаемой сцены в пределах совпадающих полей зрения ИК датчиков и видеокамеры одновременно поступает на входные объективы ИК датчиков и видеокамеры. После входного ИК объектива 1 (рис. 2) поток излучения светоделительным зеркалом 4 делится на два равных по величине потока, один из которых (прямопрошедший через полупрозрачное зеркало) фокусируется на одноэлементном приемнике теплового ИК диапазона 5, а второй (отраженный полупрозрачным зеркалом под прямым углом к входному пучку) фокусируется на одноэлементном приемнике среднего ИК диапазона 3. Сигналы с ИК датчиков после обработки сравниваются с предыдущими записанными сигналами этих же датчиков, что позволяет обнаружить изменения без участия оператора.

Одновременно происходит обработка и анализ видеопотока кадров с цветной цифровой видеокамеры 2, синхронизованного с частотой опроса ИК датчиков. Цветовые (*R, G, B*) данные пожара и движение (временные изменения) используются для идентификации областей пожара и не-пожара в последовательности кадров видео серий в реальном масштабе времени. Программное обеспечение (ПО) обработки данных анализирует заданную последовательность видеокадров на предмет появления дыма и/или пламени на изображениях.

Таким образом, ПО производит анализ сигналов с двух ИК датчиков и синхронизованных с ними по времени кадров видеоизображений. ПО обработки данных вырабатывает сигналы о наличии (отсутствии) пожара.

Разработанный и созданный макетный образец автоматической системы дистанционного обнаружения и мониторинга пожаров представлен на рис. 3. Макет состоит из внешнего блока питания, цветной цифровой видеокамеры Zavio, ИК системы регистрации на основе одноэлементного приемника среднего ИК диапазона (одноэлементный фоторезистор УФРО2), блока электроники. Роль блока управления и обработки информации с видеокамеры и ИК системы выполняет стандартный ноутбук. ПО обнаружения пожара обрабатывает цветные (*R, G, B*) изображения видеокамеры и сигналы ИК системы в реальном масштабе времени. Решение об обнаружении пожара принимается при подтверждении факта обнаружения обеими подсистемами регистрации: видео и ИК системой.

Проведены лабораторные и натурные испытания макетного образца системы дистанционного обнаружения пожаров в соответствии с требованиями СТБ по разработанной программе и методике испытаний.

Предельные дальности обнаружения малоразмерного пожара (площадью 1 м^2) одноэлементным приемником в ИК диапазоне составляют до 50 м без объектива ИК системы регистрации и составят (по расчетным данным) с применением стандартного объектива до 7 – 8 км для чистой атмосферы и до 2 – 3 км в условиях плохой видимости.

Рисунок 3 – Макетный образец системы

При автоматическом обнаружении очагов по видео изображению в реальном времени пропуски очагов не наблюдались, таким образом, вероятность правильного обнаружения составила не менее 98 %.

Макет не содержит движущихся частей, что также повышает его надежность, уменьшает габариты и энергопотребление.

Разработанная система может совмещаться с системами охранного видеонаблюдения и пожарной сигнализации в единое решение визуального контроля пространства, что позволяет значительно уменьшить конечную стоимость оборудования. Система осуществляет автоматическое обнаружение дыма и пламени без участия оператора.

Передача данных с системы дистанционного обнаружения пожаров может осуществляться через проводную сеть, Интернет, каналы мобильной связи.

Система обнаружения и методика обнаружения пожара позволят обеспечить низкий процент ложных тревог, вести мониторинг пожаров в реальном времени и прогнозировать его развитие, что приведет к снижению затрат на обнаружение и ликвидацию пожаров.

УДК 620.18

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ

Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Жарин А.Л.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Высокая химическая стойкость, корозионность, устойчивость к радиации делают полимерные материалы незаменимыми в соответствующих отраслях техники. Кроме того, полимерные материалы обладают относительно высокой механической прочностью в сочетании с малым удельным весом, достаточной твердостью, хорошими диэлектрическими свойствами, низкой гигроскопичностью. Повышение их функциональных свойств достигается вследствие синтеза полимеров с определенными функциональными группами, молекулярной и надмолекулярной структуры, а также в результате их физической и химической модификации.

В зависимости от комплекса свойств, одни полимерные материалы имеют хорошие фрикционные свойства, другие наоборот антифрикционные. Однако, для тех и других, за исключением отдельных видов, характерна проблема высокой электризуемости и накопления электростатического заряда на поверхности при трении, что в ряде случаев снижает область их применения.

Поэтому исследования механизмов накопления и распределения электростатического потенциала поверхностей полимеров, а также поиск путей управления контактной электризуемостью представляет собой актуальную задачу.

Одним из перспективных методов исследования пространственного распределения поверхностного потенциала является бесконтактный сканирующий метод вибрирующего конденсатора, известный также как метод Кельвина-Зисмана.

В методе Кельвина-Зисмана измерительный зонд и заряженная поверхность диэлектрического образца формируют обкладки конденсатора. Важными особенностями метода являются отсутствие разрушающих воздействий на образец и механического контакта с исследуемой поверхностью, нулевое среднее значение тока в измерительной цепи, что позволяет измерять малые значения поверхностного потенциала без нарушения зарядового состояния. Метод обеспечивает достаточно высокую локальность измерений, что позволяет использовать его для построения карт распределения поверхностного заряда исследуемого образца.

Для настоящих исследований использовались образцы антифрикционных материалов на основе фторопласта–4 модифицированные углеволокнами, известные под марками Флувис (ТУ РБ 03535279.071-99) и Суперфлувис (ТУ BY 400084698.178-2006), разработанные в ИММС НАН Беларуси и отличающиеся друг от друга, в основном концентрацией углеволокна.

Образцы испытывали на трибосовместимость в контакте с металлическим контробразцом на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вал – частичный вкладыш». В качестве контробразца

использовались ролики из стали 45 твердостью 32…36 HRCэ, Ra =0,32 мкм. Коэффициент взаимного перекрытия пары трения ролик – вкладыш составлял 0,125. Механическое воздействие на поверхность задавалось последовательным увеличением нагрузки P из диапазона от 200 до 800 Н с шагом 100 Н и при увеличении скорости скольжения V для каждого нового образца от 1,0 до 3,0 м/с с шагом 0,5 м/с. За критерий прекращения испытаний принимались потеря формостабильности образцов (рисунок 1- а).

По завершению трибоиспытаний, исследовали пространственное распределение поверхностного потенциала образцов собранных в обойму (рисунок 1 - б) и сегмента контробразца, размером 15х15 мм. По результатам измерений строились трехмерные карты пространственного распределения поверхностного потенциала для всей группы образцов Флувис (рисунок 2), Суперфлувис (рисунок 3), а также для контробразца из стали 45 (рисунок 4).

Анализ карт пространственного распределения поверхностного потенциала показал, что метод может быть использован при контроле электрических свойств полимерных материалов.

Регистрируемый потенциал в основном имеет отрицательное значение. Это соответствует традиционным представлениям о трении металлополимерных сопряжений, то есть металл в трибоконтакте выступает в качестве донора электронов, который при разрушении соединения приобретает положительный заряд, а поверхность полимера заряжается отрицательно. Последнее указывает на то, что регистрируемый заряд приобретен в процессе сопряжения с металлом. Однако, верхние участки поверхностей имеют повышенный заряд. Вероятно, в этих областях были созданы условия для стекания заряда за счет контакта с заземленными проводящими элементами.

В целом регистрируемый потенциал отражает распределение неоднородностей на поверхности трения, образованных вследствие различных режимов формирования поверхности и имеют различное значение потенциала.

Увеличение значения потенциала наблюдается у образцов, поверхность трения которых формировалась при более высоких скоростях скольжения. Эти различия могут быть объяснены с учетом характера изменения механических свойств при трении фторопластов. Происходит дефрагментация их надмолекулярной структуры, переориентация и деструкция молекулярных цепей, приводящие к изменению прочностных свойств материала, приводящие к расслаиванию микроструктур. Вероятно, с увеличением скорости изнашивания происходит более интенсивная электризация поверхности расслаивания. Однако для установления объективной оценки требуются дополнительные исследования, заключающиеся в наборе статистических данных, разработке более строгих критериев отбора и подготовки образцов.

Аналогичным образом исследовалась поверхность металлического контробразца. Область с низким значением потенциала указывают на образование в процессе трения на поверхности металла полимерной пленки переноса. Высокие значения потенциала указывает на несплошность пленки, которая объясняется механизмом разрушения исследуемых образцов. В процессе трения по шероховатой поверхности отделившиеся полимерные частицы износа заполняют углубления микропрофиля, фрикционный разогрев способствует намазыванию продуктов износа и росту площади пленки переноса, однако в области максимального отклонения профиля возможны разрывы, которые наблюдаются на рисунке 4. Данное утверждение также требует проведения дополнительных исследований процесса пленкообразования.

а б

а – образец после испытаний на трение и износ,
б – сборка из всех образцов

Рисунок 1 – Образцы из материала Флувис

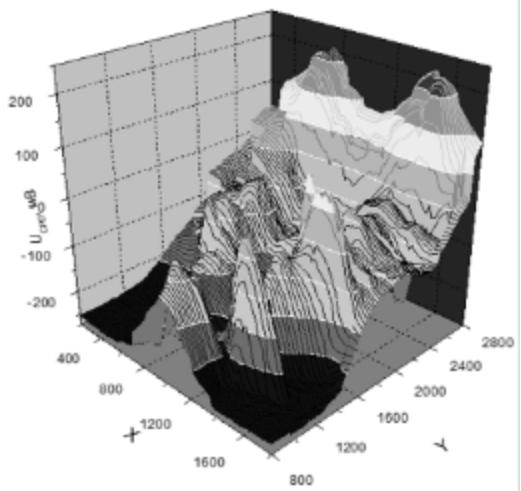


Рисунок 2 – Топология пространственного распределения поверхностного потенциала образцов материала Флувис

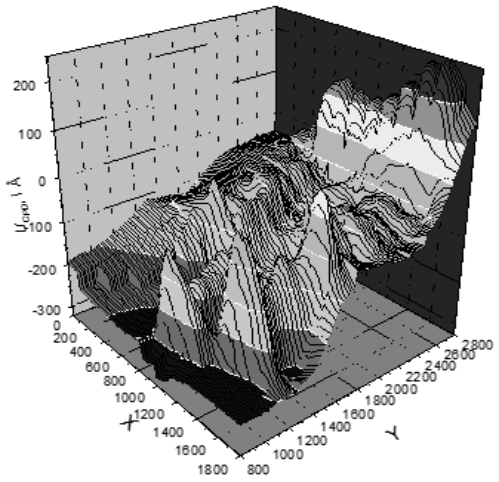


Рисунок 3 – Топология пространственного распределения поверхностного потенциала образцов материала Суперфлувис

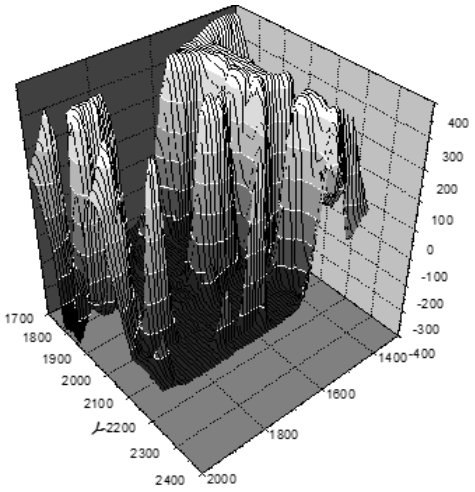


Рисунок 4 – Топология пространственного распределения потенциала на сегменте контртела из стали 45

УДК 681.2

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИЦЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЛЁГКОГО ВООРУЖЕНИЯ

Конон Д.И., Петрович И.П., Шкадаревич А.П.
Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»
Минск, Республика Беларусь

Серьёзный прогресс в повышении боевой мощи современного легкого вооружения (в первую очередь, тяжелых пулеметов и ручных гранатометов), а так же одновременный рост стоимости боеприпасов, ставит новые задачи в создании современных прицельных систем и комплексов. В этой связи логичным и уместным является заимствование идеологии баллистических вычислителей, которые до недавних пор использовались преимущественно в тяжелом и среднем вооружении (артиллерия, бронетанковая техника), и создание на её основе, так называемых, «интеллектуальных» прицелов.

В течение последних лет «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО» успешно разрабатывает данное направление, в рамках которого создан типоряд подобных прицелов.

Первым в этом ряду является прицел GS−1 [1], который был разработан для российско-иорданского гранатомета РПГ−32.

В этом прицеле дальность до цели определяется внешними средствами или с помощью дальномерной сетки и вводится в прицел вручную путем вращения подвижного зеркала, и тем самым устанавливается необходимый угол прицеливания оружия.

Внешний вид прицела показан на рис.1, а его технические характеристики приведены в таблице 1.

Рисунок 1 – Общий вид прицела GS−1

Более усовершенствованной моделью является прицел GS−2 (см. рис.2 и таблицу 1). В этом прицеле используется лазерный дальномер на основе полупроводниковых излучателей, обеспечивающий дальность измерения до цели размеров 2х6 м. до 2 км. Полученная информация о дальности до цели вместе с данными о типе оружия и боеприпаса, а так же метеоданными от встроенных датчиков подается на баллистический вычислитель, который перемещает прицельную марку, формируемую с помощью специального жидкокристаллического индика-

тора. Подобные прицелы созданы для большинства известных гранатометов (РПГ−7, РПГ−29, РПГ−32, СПГ−9, АТ−4 и др.).

Рисунок 2 – Общий вид прицела GS−2

Оба прицела предусматривают возможность установки насадки ночного видения на основе ЭОП, что позволяет вести стрельбу не только днем, но и ночью. Серийный выпуск прицела GS−1 начат с 2012 г., а прицела GS−2 в 2014 г.

Ещё более современным является прицел GS−3, который находится в стадии разработки (опытные образцы переданы на испытания заказчику в середине этого года).

Внешний вид прицела показан на рис.3, а технические характеристики приведены в таблице 1.

Рисунок 3 – Общий вид прицела GS−3

Таблица 1

№п/п	Параметр	GS-1	GS-2	GS-3
1.	Максимальная дальность прицельной стрельбы.	700 м	700 м	1000 м
2.	Погрешность отработки угла прицеливания.	15 угл. мин. (вручную)	3 угл. мин. (автомат)	2 угл. мин. (автомат.)
3.	Учет условий прицеливания по баллистике	Дальность, температура	Дальность, температура, атм. давление	Дальность, температура, ветер, давление, продольная и поперечная скорости цели

Отличительной особенностью прицела GS−3 является возможность прицельной стрельбы по движущимся целям за счет измерения не только дальности до цели, но и продольной и поперечной составляющих её скорости.

Результаты стрельбовых испытаний показали эффективность использования баллистических вычислителей в системах легкого вооружения, так как позволяют повысить вероятность поражения цели на предельных дальностях боевой эффективности оружия (0,7 − 1,5 км.).

1. Оптический прицел для легкого вооружения. Евразийский патент №016373B1 от 30.01.2012 / Авторы: Бахвалов Б.П., Манвелян С.Б., Петрович И.П. и др.
2. Оптический прицел-дальномер. Заявка на выдачу евразийского патента №201300867 от 18.08.2014 / Авторы: Петрович И.П., Конон Д.И., Бахвалов Б.П. и др.

УДК 621.317.39 : 532.574.6

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Погребенник В.Д.[1,2], Политыло Р.В. [1], Александер М. [2], Карпинский М.П. [2]
[1]Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина
[2]Государственная высшая техническая школа, Новы Сонч, Польша

Введение. Оперативный экологический контроль водной среды предусматривает наблюдение в реальном времени за параметрами отдельных объектов в районах аварий и зонах чрезвычайной экологической ситуаций, а также принятие решений по их ликвидации. Известные сейчас системы экологического контроля (СЭК) имеют низкую оперативность, временную и пространственную разрешающую способность, точность, чувствительность и надежность. Все это

обуславливает необходимость разработки автоматизированных СЭК с улучшенными метрологическими характеристиками.

Теорию СЭК разрабывали ученые Канады, США, Франции, Германии, России, Литвы, Эстонии, Беларуссии и других стран.

В настоящее время количество загрязняющих веществ в воде достигает сотен тысяч. Селективные средства контроля могут определять только один компонент загрязнения. Поэтому для оперативного определения состояния водной среды целесообразно использовать интегральные параметры. Критерием загрязнения является общее содержание неорганических и органических примесей в воде. Сейчас актуальным является повышение точности оперативного интегрального метода для определения общего содержания примесей в воде.

Особенностью СЭК является исследование мелкомасштабных процессов, минимальные пространственные и временные параметры которых ограничено значениями 0,1 м и 1 с. Это ставит очень высокие требования к времени измерений (менее 0,05 с) и минимальных размеров первичных измерительных преобразователей (менее 0,1 м). Высокая эффективность современных СЭК водной среды зависит от разрешения противоречия между необходимостью обеспечения одновременного измерения параметров различных физических полей, которые изменяются как в пространстве, так и во времени – с одной стороны, и необходимостью обеспечения повышения точности определения параметров воды – с другой стороны.

Целью работы является разработка новых методов и средств повышения точности компьютерных СЭК водной среды.

Методы и компьютерные средства оперативного экологического контроля интегральных параметров водной среды.

Рассмотрена модель водной среды, которая включает: приводной слой атмосферы, слоистое водную среду и донные отложения. Водная среда характеризуется наличием примесей и мелкомасштабных вихрей, а также скорости движения. Для данной модели предложена методология построения оперативных СЭК, которая заключается в одновременном измерении его интегральных, селективных, гидрофизических параметров и географических координат.

Предложена новая классификация методов и систем оперативного контроля параметров водной среды [1]. В результате системного осмотра установлено, что наиболее перспективным и вместе с тем менее разработанным является ультразвуковой метод. Его преимуществами являются: практическая безынерционность, отсутствие искажения исследуемого поля, значительный объем и разнообразие получаемой информации, экспрессность, возможность проведения как зондирующих, так и дистанционных измерений.

Предложен новый инвариантный ультразвуковой метод измерения общей концентрации примесей в воде, в основу которого положено измерение временных параметров ультразвуковых многократно отраженных сигналов в двух эталонных и исследуемой средах, что позволило уменьшить на порядок погрешности измерений концентрации [2].

Выполнен эвристический синтез структурной схемы СЭК водной среды, которая содержит модули измерения интегральных, селективных и гидрофизических параметров. Каждый из модулей содержит измерительные каналы, которые состоят из сенсоров, вторичного измерительного и аналого-цифрового преобразователя [2].

Получены новые зависимости составляющих методической и инструментальной погрешностей определения общей концентрации водной среды и на этой основе минимизировано суммарную погрешность измерения СЭК.

Разработан новый метод помехоустойчивого измерения временных параметров ультразвуковых импульсных сигналов на основе двухканального интегрирующего развертывающего преобразования с переменным коэффициентом, который позволяет повысить на порядок помехоустойчивость и точность измерений; на основе этого метода синтезировано помехоустойчивое устройство, которое имеет высокое быстродействие и точность.

Разработана СЭК водной среды, в которой использованы ультразвуковой, кондуктометрический и ионометрический методы. Как алгоритмический метод повышения точности определения общей концентрации примесей в воде предложен метод образцовых сигналов, что позволяет уменьшить систематическую погрешность.

Ультразвуковой канал СЭК реализовано в виде трехканального устройства, в двух каналах которого находятся образцовые растворы воды в анализируемой жидкости, соответствующие началу и окончанию диапазона измерения, а в третьем – измеряемая жидкость.

Следовательно, использование дополнительного измерительного канала и метода образцовых сигналов позволяет уменьшить на порядок погрешности измерений общей концентрации примесей в воде.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны компьютерные СЭК, что позволило автоматизировать процессы опредения интегральных параметров водной среды, повысить точность измерений, значительно сократить время измерений, проводить первичную обработку данных, оперативно передавать информацию и вести текстовый диалог с

удаленными участниками посредством телекоммуникационной технологии CDMA [3].

Основные преимущества СЭК: экспресс-контроль непосредственно на месте исследований; одновременный анализ температуры, удельной электропроводности, pH, общей концентрации примесей, концентрации хлора, нитратов и других ингредиентов; наличие микроконтроллера, ПК, развитой измерительной периферии, которая воспринимает и использует априорную и информацию, принимает решение, контролирует свою работоспособность. Компьютерная СЭК позволяет обрабатывать, при необходимости, сигналы десятков сенсоров, тогда одна шина данных по очереди будет обрабатывать сигналы нескольких сенсоров [2–4].

Полученные экспериментальные данные подтвердили реальную возможность оперативного определения параметров водной среды и позволили оценить порядок их случайных флуктуаций в различных условиях [5].

Разработано программное обеспечение методов и средств экспериментального исследования параметров водной среды на базе языка C + +, преимуществами которого являются высокая производительность и эффективность использования памяти, удобство доступа к данным по протоколу HTTP, работа в реальном времени, одновременное обработки результатов измерений и передачи данных по заданному адресу, что важно при выявлении и предотвращении техногенных катастроф.

Выводы. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны компьютерные СЕК, что позволило автоматизировать процессы контроля параметров водной среды, повысить точность и значительно сократить время измерений, проводить первичная обработка данных, оперативно передавать информацию и вести текстовый диалог с удаленными участниками мониторинга с помощью телекоммуникационной технологии CDMA.

1. Погребенник, В.Д. Оперативне вимірювання інтегральних параметрів водного середовища та донних відкладів: монографія. – Львів : Вид-во «СПОЛОМ», 2011. – 280 с.
2. Погребенник, В.Д., Романюк, А.В. Комп'ютерні вимірювально-інформаційні системи для оперативного екологічного моніторингу водного середовища: монографія. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2013. – 160 с.
3. Volodymyr Pohrebennyk, Anatoliy Romanyuk, Roman Politylo. The computerized system for operational environmental monitoring of the aquatic medium // XV International PhD Workshop OWD, 2013, 19-22 October. – P. 334-337.
4. Volodymyr Pohrebennyk, Anatoliy Romanyuk. Operative determination of integrated parameters of water environment // Gazeta Cukrownicza. – Warczawa, 2009, N 10. – P. 262-263.
5. Заплатинський, М.В., Погребенник, В.Д., Романюк, А.В., Щербак, Н.Г. Динаміка зміни гідрохімічних характеристик підземних вод водозабору "Плугів" // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Ресурси природних вод Карпатського регіону. Проблеми охорони та раціонального використання". – Львів: ЛвЦНТЕІ, 2008. – С. 106-110.

УДК 681.2

ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Подмастерьев А.К., Подмастерьев К.В.
ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
Орел, Российская Федерация

Будучи наиболее распространенными элементами механических систем, подшипники качения (ПК) во многом определяют эксплуатационные характеристики машин и механизмов. Фактическое состояние ПК в изделии формируется под влиянием многих факторов, при этом существенный вклад оказывает начальный период эксплуатации – приработка. При приработке происходят сложные процессы, приводящие к изменению шероховатости и физико-химических свойств рабочих поверхностей деталей, перераспределению и изменению свойств смазочного материала (СМ) и др., что во многом формирует будущую работоспособность опоры и изделия.

Для обеспечения требуемой надежности целесообразно завершить процесс приработки ПК до ввода изделия в эксплуатацию. Для этого проводят технологические операции обкатки, прикатки и т.п., которые реализуются, как правило, многоступенчато при последовательном изменении частоты вращения и (или) нагрузки. При этом критерием изменения режимов или окончания приработки является стабилизация процессов в зонах трения. Таким образом, для управления указанными технологическими операциями и обеспечения их эффективности необходимы методы, обеспечивающие получение достоверной информации о процессах, происходящих в зонах трения ПК при приработке.

Для решения этой задачи сегодня применяются, в основном, тепловые, а иногда - вибрационные методы. Эти методы инерционны и имеют невысокую чувствительность к изменению состояния ПК при приработке.

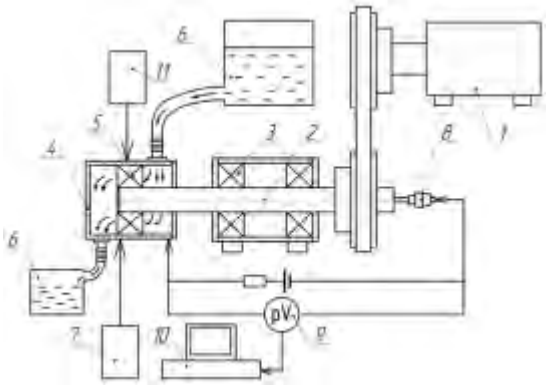
Нами предлагается электрорезистивный метод, основанный на оценке состояния ПК по статистическим характеристикам его флуктуирующего электрического сопротивления.

Сущность заключается в следующем. При работе ПК между телами качения и кольцами формируется устойчивая пленка СМ. СМ является диэлектриком, поэтому при изменении толщины смазочной пленки и при ее разрушении в контактах микронеровностей (микроконтактировании) существенно изменяется электрическое сопротивление зоны трения и ПК в целом. Это и фиксируется измерительной аппаратурой. Таким образом, флуктуационные процессы взаимодействия деталей в зонах трения ПК формируют адекватные флуктуационные изменения его электрического сопротивления.

Электрорезистивные методы обладают рядом неоспоримых преимуществ, среди которых: безынерционность по отношению к процессу трения, простота реализации (не требуются специальные преобразователи, электронное средство диагностирования подключается непосредственно к деталям контролируемого узла), простота формирования и обработки сигналов измерительной информации (электрический сигнал о состоянии объекта контроля поступает непосредственно из зон трения, легко преобразуется, оценивается и обрабатывается с помощью типовых электронных цепей). В этой связи методы данной группы интенсивно развиваются, и в настоящее время с их помощью эффективно решаются такие задачи, как входной контроль новых и дефектация бывших в эксплуатации ПК, контроль качества сборки опор качения, контроль эффективности системы смазывания, функциональный контроль ответственных изделий для предотвращения их аварийных отказов и т.п. Для решения этих задач разработан комплекс средств диагностирования и контроля.

В настоящее время нами ведутся исследования по разработке электрорезистивного метода контроля процесса приработки ПК. Теоретическими предпосылками применения электрорезистивного принципа является проведенный теоретический анализ и разработанная математическая модель, которые показали идентичность факторов, влияющих на условия и характер взаимодействия контактирующих поверхностей деталей работающего ПК, с одной стороны, и на значение электрического сопротивления зоны трения, с другой стороны. Согласно выдвинутой гипотезе изменение состояния подшипника в процессе его приработки за счет изменения шероховатости и свойств рабочих поверхностей, реологических свойств и количества СМ, температуры зон трения должно приводить к адекватному изменению электрического сопротивления.

Для экспериментального подтверждения данной гипотезы проведены комплексные экспериментальные исследования. Установка, схема которой представлена на рис. 1, обеспечивает возможность исследования радиальных подшипников различных типоразмеров при вращении внутреннего кольца подшипника с заданной частотой, заданном радиальном нагружении, использовании жидкого или пластичного смазочного материала, при этом система смазывания, включающая герметичную масляную камеру, обеспечивает возможность изменения объема масла и системы его подачи Электронная аппаратуры подключается с помощью высокостабильного ртутного соединителя Mercotac 110.



1 - регулируемый привод; 2- вал; 3-шпиндельный узел; 4- масляная камера; 5 – контролируемый подшипник; 6 – система смазывания; 7 – устройство радиального нагружения; 8 - электрический соединитель; 9 - плата сбора данных (осциллограф); 10 – ПК; 11 – виброанализатор.

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

На рис. 2 и рис. 3 представлены примеры характерных реализаций флуктуирующего сопротивления и зависимостей их статистических оценок, полученные при приработке ПК 1000900 (нагрузка 100 Н, частота вращения 1200 об/мин, масло индустриальное И-20 в количестве 0,1 мл, частота дискретизации при записи – 10 кГц).

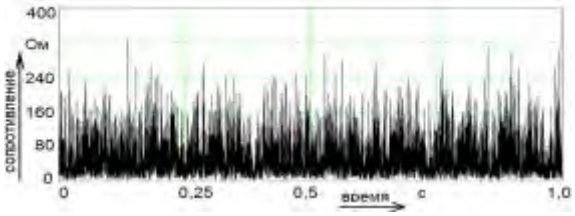
На основании анализа проведенных экспериментальных исследований сделаны выводы.

1.Электрическое сопротивление работающего ПК в зависимости от его состояния изменяется случайным образом (флуктуирует) с высокой частотой в широком диапазоне - от единиц Ома при граничной смазке и микроконтактировании до сотен и тысяч килом при формировании пленки СМ в зонах трения.

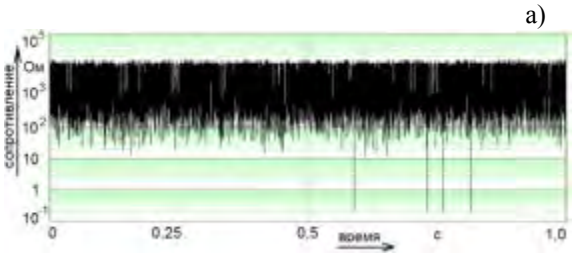
2. В процессе приработки подшипника характер флуктуаций его электрического сопротивления однозначно изменяется, что характеризуется изменением закона распределения сопро-

тивления, монотонным возрастанием среднего значения с последующей его стабилизацией и снижения коэффициента вариаций. Данные изменения свидетельствуют об улучшении состояния рабочих поверхностей и условий смазывания в зонах трения и соответствуют триботехническим процессам в ПК при приработке.

3.Электрическое сопротивление ПК и его статистические параметры - среднее значение, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариаций объективно и с высокой чувствительностью характеризуют фактическое состояние ПК и могут использоваться в качестве диагностических при контроле приработки.

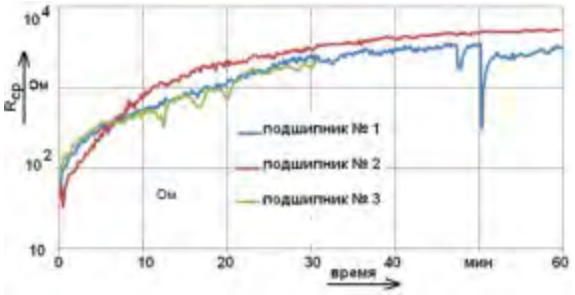


а)

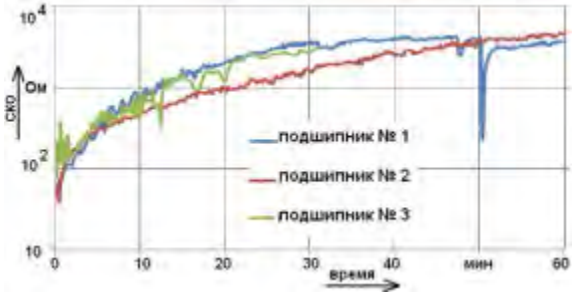


б)

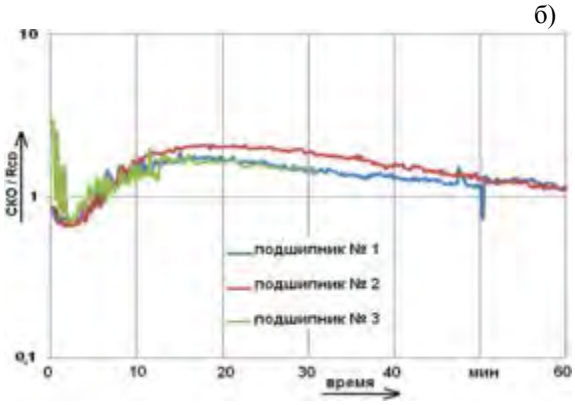
Рисунок 2 – Примеры реализаций флуктуаций сопротивления подшипника во времени до приработки (а) и после часовой приработки (б)



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Зависимости среднего сопротивления $R_{ср}$ (а), среднего квадратического отклонения сопротивления СКО (б) и коэффициента вариаций СКО/$R_{ср}$ (в) от времени приработки для трех ПК 1000900 одной партии

УДК 681.2

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕБОЛЬШИХ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ

Поклонский Н.А., Сягло А.И., Шнитко В.Т., Ковалев А.И.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Авторами [1] предложена схема установки для бесконтактного измерения на сверхвысоких частотах (СВЧ) электромагнитного излучения параметров небольших образцов, например округлой формы диаметром до 7 мм. Установка состоит из СВЧ тракта с рабочим резонатором, персонального компьютера (ПК), специализированного контроллера [2] и позволяет измерять мощность отраженного от резонатора СВЧ излучения при пролете образца через резонатор (рис. 1).

Обмен данными между программой и специализированным контроллером осуществляется по принципу «запрос-ответ» с использованием протокола Modbus/ASCII [3] через интерфейс RS-232. Команда Modbus/ASCII протокола включает в себя символ начала сообщения, номер устройства, код функции, адрес отправки, набор 8-битных ASCII символов данных, контрольную сумму и символы окончания сообщения.

В данной работе представлено краткое описание программы для сопряжения специализирован-

ного контроллера с ПК. Программа разработана в пакете Borland C++.

Рисунок 1 – Внешний вид (принципиальная схема) установки: *1* – рабочий СВЧ резонатор с отверстиями в виде запредельных волноводов, *2* – СВЧ тракт, *3* – специализированный контроллер, *4* – персональный компьютер

Рабочее окно программы (рис. 2) содержит панели «Настройка порта», «Установки прибора», «Измерения», «MODBUS команды».

Панель «Настройка порта» предназначена для обеспечения связи ПК с контроллером через порт обмена данных. С помощью инструментов панели можно выбрать номер устройства, порт обмена данными, скорость передачи данных *BaudRate* (по умолчанию *BaudRate* = 19200 бит/с), а также произвести проверку связи контроллера с ПК.

Панель «Установки прибора» предназначена для установки настроек контроллера. С помощью инструментов панели можно произвести считывание с контроллера или запись в контроллер значений регистров настроек, а также установить значения регистров в соответствии со значениями следующих параметров: напряжения питания генератора на диодах Ганна, тока смещения детектора, частоты дискретизации f_{discr} аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), времени задержки передачи данных t_{del} и *BaudRate*. При нажатии на расположенную на панели кнопку «Чтение регистров» в контроллер посылается команда запроса регистров контроллера, после чего от контроллера принимается сообщение, содержащее байты со значениями регистров, соответствующих установкам контроллера. При нажатии на кнопку «Запись регистров» в контроллер передаются значения регистров.

Панель «MODBUS команды» предназначена для непосредственной передачи команд Modbus/ASCII протокола в контроллер, а также показывает считываемые с контроллера команды. Инструменты панели можно использовать также для реализации функций контроллера, которые не предусмотрены в программе.

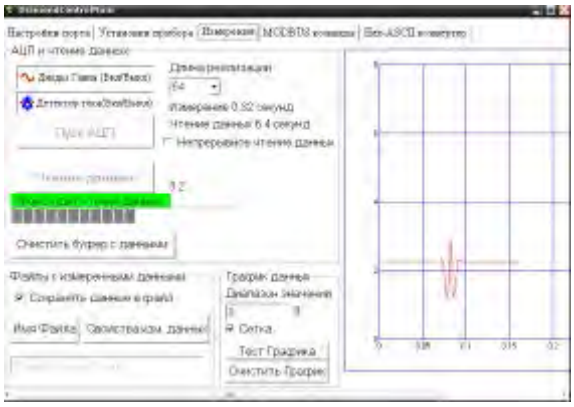


Рисунок 2 – Интерфейс управляющей программы

Панель «Измерения» (рис. 2) предназначена для проведения измерений. На этой панели находятся:

- Кнопка «Диоды Ганна (Вкл/Выкл)». При нажатии на эту кнопку, в контроллер посылается команда, включающая или выключающая питание диодов Ганна.

- Кнопка «Детектор тока (Вкл/Выкл)». При нажатии на эту кнопку, в контроллер посылается команда, включающая или выключающая ток смещения детектора.

- Список «Длина реализации» указывает число N_{blocks} блоков данных (по 32 отсчета), считываемых с АЦП контроллера за одно измерение. Временной интервал между отсчетами равен $1/f_{\text{discr}}$. При изменении N_{blocks} на экране программы автоматически отображается время, в течение которого данные измерения записываются в буфер АЦП контроллера T_{mea} (длительность реализации), а также время, необходимое для чтения данных, полученных при измерении T_{read}. Длительность одной реализации равна $T_{\text{mea}} = 32N_{\text{blocks}}/f_{\text{discr}}$ ($32N_{\text{blocks}}$ – число отсчетов в каждой реализации). При изменении «Длины реализации» в контроллер посылается команда, устанавливающая число блоков.

- Кнопка «Пуск АЦП». При нажатии на эту кнопку включается АЦП контроллера. При этом в контроллер посылается команда включения АЦП, и в течение времени T_{mea} проводится «оцифровка» напряжения на его входе и запись результатов в буферное оперативно запоминающее устройство (ОЗУ) контроллера.

- Кнопка «Чтение данных» позволяет считать из буферного ОЗУ данные временной реализации сигнала детектора. При считывании данных в контроллер посылаются команды запроса данных каждого блока, а на COM-порт компьютера передаются блоки данных, содержащих результаты измерений, хранящихся в буферном ОЗУ контроллера.

Длительность чтения данных измерения, записанных в буфер АЦП, равна $T_{\text{read}} = N_{\text{blocks}}$*(((32*4 +

+15 + 25)*10)/*BaudRate* + t_p + t_{del}), где 32 – число отсчетов измерений в каждом блоке, 4 – число байт с данными для каждого отсчета измерений, 15 – число дополнительных байт в принимаемом сообщении, 25 – число байт команды запроса данных, 10 – число бит в байте Modbus/ASCII протокола, t_p – время, затрачиваемое контроллером на подготовку данных с результатами измерения для передачи в ПК. Например, для f_{discr} = 6400 Гц, N_{blocks} = 64, *BaudRate* = 19200 бит/с, и t_p = 0.013 с, измерение проходит в течение T_{mea} = 0.32 с, считывание данных в течение T_{read} = 6.4 с; для N_{blocks} = 2 и *BaudRate* = 19200 бит/с: T_{mea} = 0.01 с, T_{read} = 0.2 с; для N_{blocks} = 512 и *BaudRate* = 115200 бит/с: T_{mea} = 2.56 с, T_{read} = 14 с.

Считываемые данные измерений отображаются на графике программы и записываются в файл.

- Флажок «Непрерывное чтение данных» позволяет непрерывно запускать АЦП и считывать данные измерений, что можно использовать для настройки СВЧ тракта или для измерения изменения отражения при медленном помещении объектов в рабочий резонатор. При непрерывном чтении данных происходят действия, выполняющиеся при последовательном нажатии кнопок «Пуск АЦП» и «Чтение данных». Если «Длина реализации» составляет один блок, то каждое измерение происходит менее, чем за 0.3 с.

Возможный порядок работы установки:

1. При запуске программы появится окно программы с активной панелью «*Настройки порта*». Необходимо выбрать порт связи с контроллером и открыть порт. При открытии порта автоматически происходит сброс данных на контроллере.

2. Согласовать значения регистров контроллера с параметрами программы. Для этого в панели «Установки прибора» выбрать «Чтение регистров» или «Запись регистров».

3. Для проведения измерений на СВЧ тракте необходимо включить диоды Ганна и ток на детекторе. Для этого в панели «Измерения» нажать на соответствующие кнопки.

4. Для настройки СВЧ тракта необходимо установить флажок «Непрерывное чтение данных». При этом непрерывно проводятся и отображаются на графике измерения входного напряжения, позволяя вручную настраивать СВЧ тракт.

5. Перед проведением измерений с пролетом образцов через СВЧ резонатор необходимо выбрать значение параметра «Длина реализации», при этом величина T_{mea} отобразится на экране программы.

Для проведения измерений с пролетом образцов через СВЧ резонатор необходимо запустить АЦП контроллера программно (клавишей «Пуск АЦП») или подав импульс на соответствующий вход контроллера. Далее за время T_{mea} необходимо пробросить исследуемый образец через рабочий резонатор, после чего нажать на кнопку «Чтение данных». Считанные данные временной реализации сигнала детектора будут отображены на графике программы и записаны в файл.

1. Экспресс-методика бесконтактного измерения электрических параметров небольших образцов на сверхвысоких частотах / Н.А. Поклонский [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 1(6) . – С. 64–71.
2. Специализированный контроллер для сопряжения с компьютером при бесконтактных микроволновых измерениях параметров материалов / Н.А. Поклонский [и др.] // Приборостроение-2013: матер. 6-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–22 ноября 2013 г. / редкол.: О.К. Гусев (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 104–106.
3. Modicon Modbus Protocol Reference Guide. – MODICON, Inc., Industrial Automation Systems, 1996. – 115 p.

УДК 681.2

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ В ДИСКРЕТНОМ БАЗИСЕ ФУРЬЕ

Пономарев В.А., Пономарева О.В., Пономарев А.В.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Рассмотрим современные методы дискретных косвенных измерений спектрально-временных характеристик детерминированных сигналов на конечных интервалах (частотных спектров и частотно-временных спектров) с помощью цифровой фильтрации – альтернативного направления развития цифровой обработки сигналов (ЦОС).

В приложениях дискретных измерений частотных спектров детерминированных сигналов на конечных интервалах при решении задач обнаружения и (или) измерения параметров отдельных гармонических компонент (тональных компонент) применение дискретного преобразования Фурье (ДПФ), даже реализуемого алгоритмами быстрого преобразования Фурье (БПФ),

становится крайне неэффективным, так как большинство значений спектра оказываются невостребованными.

Эффективным методом дискретных измерений спектров на определенных частотах является фильтр Герцеля (называемый также алгоритмом Герцеля), структуры которого приведены на (рис.1 а, б). Алгоритм Герцеля позволяет измерять спектр, меняя резонансную частоту фильтра в диапазоне от $\overline{0, N/2}$ и представляет собой БИХ-фильтр второго порядка с двумя действительными коэффициентами обратной связи (слева от пунктирной линии) и одним комплексным коэффициентом в цепи прямой связи (справа от пунктирной линии) (рис. 1,а).

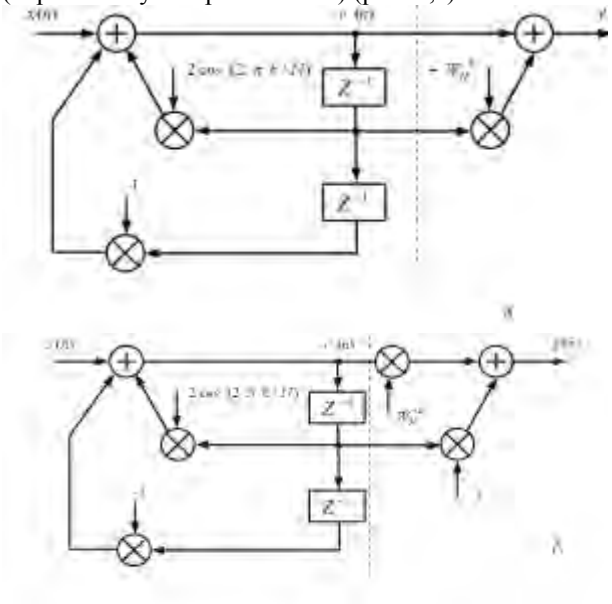


Рисунок 1 – Структуры БИХ - фильтров, а,б, реализующих алгоритм Герцеля

Фильтр Герцеля позволяет находить значение *k*-го бина N - точечного ДПФ:

$$S_N(k) = \sum_{k=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \ . \qquad (1)$$

Сигнал на выходе фильтра Герцеля $y(n)$ (рис.1) равен значению k-го бина N-точечного ДПФ $S_N(k)$ при достижении дискретной переменной *n* значения *N*. Отметим, что возможен вариант алгоритма Герцеля в виде БИХ-фильтра, структура которого приведена на рис.1,б. Варианты отличаются друг от друга реализацией прямой цепи фильтра.

Во многих приложениях дискретных измерений приходится иметь дело с дискретными измерительными сигналами, частотный спектр которых меняется во времени. Такой частотный спектр называется частотно-временным спектром (скользящим или текущим спектром). На практике также часто возникает необходимость измерять последовательные значения частотно-временного спектра на определенной частоте (или на множестве определенных частотах). Метод, позволяющий проводить такие измерения, называется скользящим спектральным измерением и заключается в измерении частотно-временного спектра сигнала на k-ой частоте в скользящем временном окне в N отсчетов. Окно называется скользящим, так как перед повторным спектральным измерением оно смещается на один отсчет. Одним из методов осуществления скользящих измерений на k-той частоте является использование одной секции обобщенного комплексного фильтра на основе частотной выборки (ФОЧВ) [1], которая в свою очередь является частным случаем структуры Лагранжа [2].

В основе ФОЧВ лежит возможность реализации КИХ-фильтра с N ответвлениями в виде последовательного соединения гребенчатого фильтра и банка из N комплексных резонаторов, одна секция которого приведена на рис. 2 [1]. ФОЧВ позволяет эффективно осуществлять скользящие спектральные измерения на фиксированном множестве частот: $\{2\pi k/N\}$, где: $k = \overline{0, N-1}$, N - число отсчетов сигнала задержки входной последовательности $x(n)$ в гребенчатом фильтре.

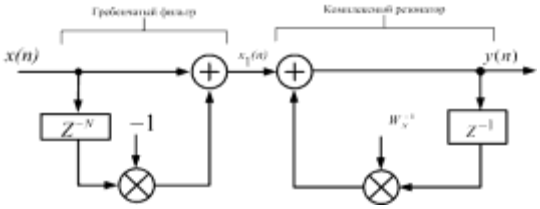


Рисунок 2 – Одна секция комплексного ФОЧВ

Скользящие спектральные измерения на *k*-той частоте могут естественно осуществляться и методом ДПФ (вычисление k-го бина ДПФ) в скользящем окне длительностью в N отсчетов (r - число отсчетов, на которое сдвигается окно в *N* отсчетов вправо по сигналу $x(n)$):

$$S_N^{(k)}(r) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n+r) W_N^{kn} \ ; \qquad (2)$$

где: $k = \overline{0, N-1}$, $r = 0,1,2,...$ Однако проведение скользящих измерений на k-ой частоте фильтром на основе частотной выборки (рис.2.) более эффективно, чем методом ДПФ. Это связано с тем, что структура, ФОЧВ в отличие от ДПФ, дает возможность использовать метод рекуррентного расчета значений спектра на выходе комплексного резонатора. Действительно, из анализа структуры секции ФОЧВ (рис.2.2) непосредственно следует, что в этом случае для вы-

полнения скользящего спектрального измерения на k-ой частоте необходимо выполнить всего два комплексных умножения на входной отсчет (при выполнении ДПФ необходимо выполнить N комплексных умножений). В [1] рассмотрен метод однобинового скользящего ДПФ (СДПФ), который позволяет рекуррентно вычислять значение k-го бина N-точечного ДПФ из скользящего окна в N отсчетов. Предлагаемый алгоритм более эффективен (с точки зрения вычислений), чем алгоритм Герцеля. В результате появляется возможность проводить спектральные измерения с той же частотой, с какой приходят входные отсчеты. Разностное уравнение СДПФ имеет вид [ ]:

$$S_N^k(n) = W_N^{-k}\ [S_N^k(n-1) + x(n) - x(n-N)], (3)$$

где $S_N^k(n)$-значение k-го бина N-точечного ДПФ в момент времени n.

Реализация соотношения (3) приводит к КИХ–фильтру, структура которого приведена на рис. 4.

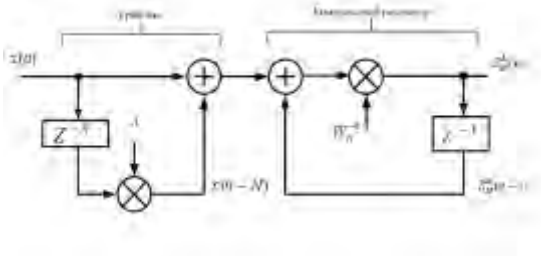


Рисунок 3 – Структура КИХ-фильтра однобинового скользящего ДПФ

Сравнивая структуры фильтров, приведенных на рис. 2 и рис. 3, нетрудно видеть их эквивалентность. Их некоторые отличия объясняются различиями в методике вывода, проведенного либо на основе метода частотной выборки (рис.2), либо метода ДПФ (рис.3).

Общим недостатком рассмотренных методов является ***фиксированность множества частот***, на которых можно осуществлять скользящие спектральные измерения. Необходимо отметить, что указанное свойство рассмотренных методов скользящих спектральных измерений, существенно ограничивает их практическое применение в дискретных косвенных измерениях, в том числе и реализуемых процессорными измерительными средствами (ПрИС).

В [2] рассмотрен метод однобинового скользящего ДПФ-П (СДПФ-П), который позволяет рекуррентно вычислять значение k-го бина N-точечного ДПФ-П из скользящего окна в N отсчетов. Разностное уравнение СДПФ-П в общем виде имеет вид (сравни с (3)):

Запишем разностное уравнение СДПФ-П в общем виде (сравни с (3)):

$$S_N^{(k+\theta)}(n) = W_N^{-(k+\theta)} \times$$
$$\times \left[S_N^{(k+\theta)}(n-1) + x(n) - x(n-N)\exp(-j2\pi\theta)\right] (4)$$

Данное уравнение может быть реализовано в виде обобщенного КИХ-фильтра, структура которого приведена на рис.4.

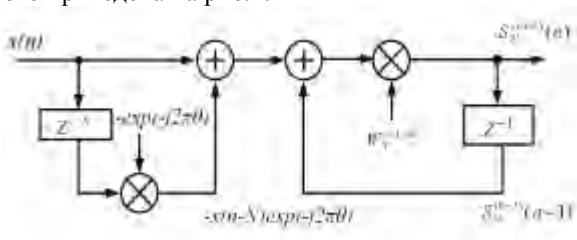


Рисунок 4 – Структура обобщенного КИХ-фильтра, реализующая однобиновое скользящее СДПФ-П на $(k+\theta)$-ой частоте, при $0 \le \theta \le 1$, z^{-q} – задержка на q отсчетов

При $\theta = 0$ СДПФ-П переходит в СДПФ, которое предложенно в [1], рис.3. При $\theta = 1/2$ структура модифицированного КИХ-фильтра преобразуется в структуру, приведенную на рис.5. Интересно отметить, что этот частный случай СДПФ-П в [1] отмечен как малоизвестное свойство СДПФ.

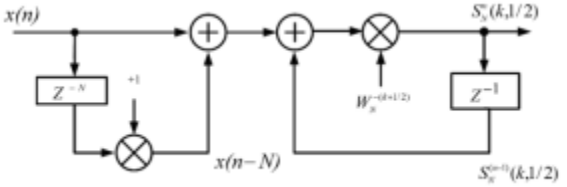


Рисунок 5 – Структура модифицированного КИХ-фильтра, реализующая СДПФ-П на *k*-й частоте, при $\theta = 1/2$.

Отметим при этом, что именно существование обобщения ДПФ в виде параметрического ДПФ [2] и проведенный авторами анализ скользящего ДПФ-П, позволили вскрыть сущность происходящих явлений.

1. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ.-М.: ООО «Бином-Пресс», 2007.-656 с.
2. Пономарев В.А., Пономарева О.В. Теория и применение параметрического дискретного преобразования Фурье // Цифровая обработка сигналов.-2011.-№ 1.- С.2-6.

УДК 681.2

МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕМЕННЫХ СПЕКТРОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ В ДИСКРЕТНОМ БАЗИСЕ ФУРЬЕ

Пономарева О.В.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Рассмотрим вопросы измерения временных спектров детерминированных дискретных сигналов на конечных интервалах.

Введем в теорию дискретных измерений спектров детерминированных сигналов на конечных интервалах в дискретном базисе Фурье еще одну форму преобразования Фурье – **дискретно-частотное преобразование Фурье (ДЧПФ).**

Пусть задана некоторая последовательности $S(k),\ k=\overline{-\infty,+\infty}$, ДЧПФ которой определим следующим образом:

$$y(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}S(k)\cdot\exp(+j2\pi\cdot k\cdot t);\qquad(1)$$

$$-\infty\le t\le+\infty.$$

Соотношением (1) определяется непрерывный временной спектр, соответствующий дискретной последовательности $S(k),\ k=\overline{-\infty,+\infty}$. Несложно видеть, что дискретный измерительный сигнал, заданный на конечном интервале $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$, равен значениям непрерывного временного спектра, задаваемого ДЧПФ взвешенной последовательности $S_N(k),\ k=\overline{0,N-1}$ в точках $n=\overline{0,N-1}$:

$$x(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}S_N(k)\cdot\exp(+j2\pi\cdot k\cdot t)=$$

$$=\sum_{k=0}^{N-1}S_N(k)\cdot\exp(+j2\pi\cdot k\cdot t),\ 0\le t\le1.\qquad(2)$$

Таким образом, исходный дискретный измерительный сигнал $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$, являясь, одним из возможных временных спектров дискретного измерительного сигнала $x(n)$, не отвечает на вопрос, каковы значения временного спектра, определяемого ДЧПФ последовательности $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$, между точками $n=\overline{0,N-1}$ во временной области, порождая тем самым эффект названный автором **«эффектом частокола во временной области».**

При дискретных измерениях временных спектров детерминированных сигналов на конечных интервалах для определения значений временного спектра, задаваемого ДЧПФ взвешенной последовательности $S_N(k),\ k=\overline{0,N-1}$ в промежутках между значениями $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$ применяется искусственное увеличение интервала определения $S_N(k),\ k=\overline{0,N-1}$ за счет добавления нулевых отсчетов в частотной области [1 – 3]. Назовем данную операцию операцией дополнения нулями в частотной области (ОДНЧ).

ОДНЧ позволяет уменьшить влияние эффекта частокола во временной области на результаты дискретных измерений временных спектров. ОДНЧ позволяет за счет уменьшения шага дискретизации во времени измерять временные спектры, задаваемые ДЧПФ. Однако, ОДНЧ имеет следующие существенные недостатки, которые проявляются при реализации ОДНЧ процессорными измерительными средствами (ПрИС):

- необходимость существенного расширения оперативной памяти ПрИС для хранения нулевых значений спектра;
- проведение непроизводительных вычислений ПрИС с нулевыми значениями спектра;
- фиксированность шага дискретизации по времени при измерении временного спектра.

Рассмотрим изменение базиса обратного ДПФ (ОДПФ) в результате применения операции дополнения нулями в частотной области.

ОДПФ в матричной форме задается следующим выражением:

$$X_N=F_N^*S_N,\qquad(3)$$

где * – знак комплексного сопряжения, $X_N=\left[x(0),x(1),.....,x(N-1)\right]^T$ - представление дискретного сигнала $x(n)$, $n=\overline{0,N-1,}$ в виде вектора N - мерного линейного пространства;
T - знак транспонирования;
$S_N=\left[s(0),s(1),...,s(N-1)\right]^T$ - вектор коэффициентов разложения X_N по системе ДЭФ, задаваемой матрицей:

$$F_N^*=\begin{array}{c}\\0\\1\\.\\.\\(N-1)\\k\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccccc}0&1&.&.&(N-1)&n\end{array}\\\begin{bmatrix}1&1&.&.&1\\1&W_N^{-1}&.&.&W_N^{-(N-1)}\\.&.&.&.&.\\.&.&.&.&.\\1&W_N^{-(N-1)}&.&.&W_N^{-(N-1)(N-1)}\end{bmatrix}\end{array}$$

Пусть спектр действительного измерительного сигнала *x(n)*, $n=\overline{0,N-1}$, $S_{N\cdot r}$ содержит $N(r-1)/r$ нулей:

$$S_{N\cdot r}=[s(0),...,s(N/2-1),\underbrace{0,...,0}_{N(r-1)},s(N/2),...,s(N-1)]^T$$

Выполнение согласно (2.29) измерительного преобразования ОДПФ спектра $S_{N\cdot r}$ приводит к усечению «средних» столбцов матрицы $F^*_{N\cdot r}$ и превращению ее из квадратной матрицы в прямоугольную матрицу $H^*_{Nr\times N}$.

Обозначим множество номеров строк матрицы $H^*_{Nr\times N}$ через $B: B=\{0,1,2,...,(Nr-1)\}$. Применим к множеству B отношение сравнимости по модулю r. В силу того, что это отношение является отношением эквивалентности, т.е. обладает свойствами рефлексивности, симметричности и транзитивности, оно разбивает множество A на r классов вычетов по модулю r:

$B_0=\{0,r,...,r(N-1)\}$,

……

$B_{r-1}=\{r-1,r+(r-1),...,r(N-1)+(r-1)\}$

$B_i\neq\varnothing;\ B_i\bigcap_{i\neq j}B_j=\varnothing;\qquad\bigcup_{i=0}^{r-1}B_i=B.$

Используя полученное разбиение и умножая предварительно вторую половину спектра S_N действительного измерительного сигнала $x(n)$, где $S_N=[s(0),...,s(N/2-1),s(N/2),...,s(N-1)]^T$ на поворачивающий множитель C:

$c_i=C=W_N^{-N\cdot(r-1)\cdot\xi}$; для $\forall\ i\in\overline{0,N-1}$

представим матрицу $H^*_{Nr\times N}$ в виде r квадратных матриц $F^*_{N,\xi}$, размерность каждой из которых N, номера строк являются классами вычетов по модулю r, а элементы соответствующих строк равны элементам матрицы $H^*_{Nr\times N}$:

$$F^*_{N,\xi}=\begin{array}{c}\\0\\1\\.\\.\\N-1\\n\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccccccc}0&1&.&N/2-1&..&N-1&k\end{array}\\\begin{bmatrix}1&W_N^{-\xi}&.&W_N^{-\xi(N/2-1)}&..&W_N^{-\xi(N-1)}\\1&W_N^{-(1+\xi)}&.&W_N^{-(1+\xi)(N/2-1)}&..&W_N^{-(1+\xi)(N-1)}\\.&.&.&.&..&.\\.&.&.&.&..&.\\1&W_N^{-(N-1+\xi)}&.&W_N^{-(N-1+\xi)(N/2-1)}&..&W_N^{-(N-1+\xi)(N-1)}\end{bmatrix}\end{array}$$

где $\xi=0,\ 1/r,\ ...,(r-1)/r$; $k,n=\overline{0,(N-1)}$.

Дискретные функции (строки матрицы $F^*_{N,\xi}$) вида:

$$def_{pM}(k,n,\xi)=W_N^{-k(n+\xi)}=\exp\left[+j\frac{2\pi}{N}k(n+\xi)\right],$$

$k,n=\overline{0,(N-1)},\ 0\le\xi<0,$

назовем модифицированными параметрическими дискретными экспоненциальными функциями (МДЭФ-П).

Рассмотрим основные свойства МДЭФ-П.

1. МДЭФ-П как и ДЭФ-П не являются функциями двух равноправных переменных k и n. Следовательно, матрица МДЭФ-П $F^*_{N,\xi}$ ассиметрична;

2. МДЭФ-П являются периодическими по переменной n и параметрически периодическими по переменной k с периодом N:

$def_{pM}(k,(n\pm pN),\xi)=def_{pM}(k,n,\xi)$,

$def_{pM}((k\pm pN),n,\xi)=def_{pM}(k,n,\xi)W_N^{\pm\xi\cdot N\cdot p}$;

3. система МДЭФ-П не мультипликативна по переменной n и мультипликативна по переменной k;

4. среднее значение МДЭФ-П по переменной n равно нулю при $k\neq0$;

5. $\sum_{n=0}^{N-1}def_{pM}(k,n,\xi)=\exp\left(-j\frac{2\pi}{N}\xi\ k\right)\frac{1-\exp(-j2\pi\ k)}{1-\exp(-j\frac{2\pi}{N}k)}$,

а по переменной k не равно нулю;

6. система МДЭФ-П ортогональна по обеим переменным;

7. система МДЭФ-П является полной системой, так как число линейно независимых функций равно размерности множества дискретных сигналов.

Разложение по базисной системе МДЭФ-П назовем ***модифицированным параметрическим дискретным преобразованием Фурье (МДПФ-П)***, которое позволяет эффективно измерять временные спектры детерминированных сигналов на конечных интервалах.

1. Пономарева О.В. Развитие теории спектрального анализа дискретных сигналов на конечных интервалах в базисе параметрических экспоненциальных функций // Цифровая обработка сигналов. – 2010. – № 2. – С.7–11.
2. Пономарев В.А., Пономарева О.В. Теория и применение параметрического дискретного преобразования Фурье // Цифровая обработка сигналов. – 2011. – № 1. – С.2–6.
3. Пономарева О.В. Быстрое параметрическое дискретное преобразование Фурье действительных последовательностей // Цифровая обработка сигналов**.** – 2012. – № 2. – С.2–5.

УДК 681.2

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ В ДИСКРЕТНОМ БАЗИСЕ ФУРЬЕ

Пономарева О.В., Алексеев В.А., Пономарева Н.В.
Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

Дискретный базис Фурье (базис дискретных экспоненциальных функций (ДЭФ)), благодаря ряду преимуществ перед другими базисами, занимает важное место в косвенных измерениях спектров сигналов и корреляционных функций на конечных интервалах. Широкое применение дискретного преобразования Фурье в анализе стационарных процессов и систем главным образом основано на фундаментальном свойстве, отмеченном Н. Винером – свойстве инвариантности экспоненциального базиса к циклическому сдвигу. Кроме того, благодаря свойству мультипликативности базисной системы ДЭФ (по обеим переменным) возможно построение, так называемых, быстрых преобразований - быстрых преобразований Фурье (БПФ). Отметим, что БПФ это не новая форма преобразования Фурье, а название целого ряда алгоритмов эффективного вычисления ДПФ.

Разложение сигнала по системе ДЭФ носит название дискретного преобразования Фурье (дискретного преобразования Фурье), которое при дискретных косвенных измерениях является измерительным преобразованием [1,2,3]. Пара преобразований дискретного преобразования Фурье задается в обычной форме следующими соотношениями:

прямое ДПФ: $S_N(k) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\ W_N^{kn}$;

обратное ДПФ: $x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} S_N(k)\ W_N^{-kn}$;

где $W_N = \exp(-j\frac{2\pi}{N})$, $k = \overline{0,(N-1)}$.

Теория дискретных измерений частотных спектров сигналов на конечных интервалах базируется на трех основных и взаимосвязанных положениях [3]:

1. определение сигнала на конечном множестве N точек;
2. определение сдвига сигнала как некоторой перестановки его отсчетов;
3. определение системы дискретных базисных функций.

В рамках ДПФ определены все вышеперечисленные положения теории дискретных измерений спектров:

- сигнал $x(n)$ задается на конечном интервале $\overline{0,N-1}$;
- сдвиг сигнала $x(n)$ определяется как циклическая перестановка его отсчетов внутри интервала;
- в качестве базисной системы определена система дискретных экспоненциальных функций $def_p(k,n) = \exp(-j\frac{2\pi}{N}k\cdot n)$; $k,n = \overline{0,N-1}$.

С точки зрения практического применения аппарата ДПФ отметим следующий важный момент. Несмотря на то, что ДПФ последовательности $X(n), n = \overline{0,N-1}$ в принципе может рассматриваться как некоторое приближение к преобразованию Фурье от функции, порождающей последовательность $X(n)$, однако, и это следует подчеркнуть, свойства ДПФ являются точными и не являются приближенными, основанными на свойствах преобразования Фурье непрерывных сигналов.

В случае использования ДПФ дискретного измерительного сигнала $x(n)$ различают временную область – область дискретной переменной n и частотную область $S_N(k)$ – область переменной k, а в случае непрерывного преобразования Фурье (НПФ) непрерывного измерительного сигнала $x(t)$ также различают временную область – область непрерывной переменной t и частотную область $S(f)$ – область переменной f.

В теории ЦОС доказаны следующие положения [1,2,4]:

- определение (дискретной или непрерывной) функции на конечном интервале (операция взвешивания) в одной из областей, приводит к свертке (фильтрации) в другой области с функцией вида $\frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$;
- выполнение операции дискретизация функции в одной области приводит к операции периодизации (периодического продолжения) в другой;
- операции дискретизации и взвешивания являются линейными и коммутативными операциями.

Из того, что дискретно-временное преобразование Фурье (ДВПФ) некоторой последова-

тельности $y(n),\ n=\overline{-\infty,+\infty}$ задает ее непрерывный спектр и ДВПФ определяется как z-преобразование последовательности $y(n),\ n=\overline{-\infty,+\infty}$ на единичной окружности:

$$S_y(f)=S_y(z)\ \big|_{z=\exp(-j2\pi f)}=$$

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n)\cdot\exp(-j2\pi\cdot f\cdot n),\qquad -\infty\le f\le\infty,$$

а также с учетом указанных выше положений, следует вывод о том, что коэффициенты ДПФ $S_N(k)$ последовательности $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$ равны значениям ДВПФ взвешенной последовательности $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$ (взвешенное ДВПФ) в точках $\frac{2\pi}{N}k,\ k=\overline{0,N-1}$ на единичной окружности:

$$S(f)=S(z)\ \big|_{z=\exp(-j2\pi f)}=$$

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)\cdot\exp(-j2\pi\cdot f\cdot n)=$$

$$=\sum_{n=0}^{N-1} x(n)\cdot\exp(-j2\pi\cdot f\cdot n);\ 0\le f\le 1. \quad (2.7)$$

Таким образом, ДПФ, являясь косвенным измерительным преобразованием, позволяет измерять в дискретном множестве точек $\frac{2\pi}{N}k$, $k=\overline{0,N-1}$ непрерывный спектр, задаваемый взвешенным ДВПФ.

При практическом применении ДПФ возникает ряд проблем, появление которых связано с проявлением специфических эффектов, сопровождающих его использование [3].

Отметим три из них.

1. ДПФ не дает ответа на вопрос: каковы значения спектра, определяемого ДВПФ последовательности $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$, между точками $\frac{2\pi}{N}k,\ k=\overline{0,N-1}$ на единичной окружности порождая тем самым известный в ЦОС «эффект частокола».

2. Применению ДПФ сопутствует также «эффект размывания спектральных составляющих», «leakage») (часто называемый «эффектом утечки»). Проявление данного эффекта связано с тем, что при выполнении спектрального анализа исследуемой функции мы измеряем циклическую свертку спектра исследуемой функции с функцией вида $\frac{\sin(N\cdot x/2)}{N\sin(x/2)}$, которая не локализована, а размыта по частоте (отсюда и название эффекта).

3. При применении ДПФ возникает также «эффект паразитной амплитудной модуляции спектра» (называемый в иностранной литературе также «гребешковым эффектом»). Проявление данного эффекта связано с тем, что, так как частотные характеристики фильтров, соответствующих коэффициентам ДПФ (бинам ДПФ) имеют вид $\frac{\sin(N\cdot x/2)}{N\sin(x/2)}$, то это приводит к флуктуации общего амплитудного спектра при N - точечном ДПФ (флуктуации достигают 4 дБ).

При дискретных измерениях спектров детерминированных сигналов на конечных интервалах для определения значений ДВПФ последовательности $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$ между значениями отсчетов ДПФ применяется искусственное увеличение интервала определения $x(n),\ n=\overline{0,N-1}$ за счет добавления нулевых отсчетов во временной области [1]. Данную операцию назовем операцией дополнения нулями во временной области. (ОДНВ).

ОДНВ позволяет уменьшить влияние эффектов паразитной амплитудной модуляции спектра и частокола на результаты дискретных измерений спектров. Отметим, что ОДНВ не улучшает разрешающую способность ДПФ по частоте, как часто утверждается в работах по ЦОС [2]. ОДНВ позволяет за счет уменьшения шага дискретизации по частоте измерять частотные спектры между отсчетами ДПФ, а также улучшать условия выявления и измерения частот скрытых периодичностей [4]. Отметим следующие существенные недостатки ОДНВ, проявляющиеся при ее реализации процессорными измерительными средствами (ПрИС):

- необходимость существенного расширения оперативной памяти ПрИС для хранения нулевых значений сигнала;
- проведение непроизводительных вычислений ПрИС с нулевыми значениями сигнала;
- фиксированность шага дискретизации по частоте при измерении спектра.

1. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ.-М.: ООО «Бином-Пресс», 2007.-656 с.
2. Рабинер Л., Гоулд Б.Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер. с англ.-М.: «Мир», 1978.-834 с.
3. Пономарева О.В. Развитие теории спектрального анализа дискретных сигналов на конечных интервалах в базисе параметрических экспоненциальных функций // Цифровая обработка сигналов.-2010.-№ 2.- С.7-11.
4. Пономарева О.В., Алексеев В.А., Пономарев А.В. Цифровой периодограммanализ и проблемы его практического применения // Вестник Ижевского Государственного Технического Университета. 2013. - №2.(58). - С. 130-133.

УДК 535.37

РЕГИСТРИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕТОДА РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ

Попечиц В.И.

Научно-исследовательское учреждение "Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко" Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

Для проведения радиационного неразрушающего контроля различных материалов и изделий используются источники ионизирующих излучений, методы и приборы радиационной физики и радиационной химии [1]. Растворы органических красителей в органических и неорганических растворителях, а также в полимерных матрицах имеют интенсивные полосы поглощения в видимой области спектра, что определяет возможность их применения в качестве детекторов радиационной дозы [2, 3]. В некоторых многокомпонентных растворах под действием ионизирующего излучения происходит изменение цвета раствора, зависящее от времени облучения, исходной концентрации и химической природы красителей, физико-химических свойств используемого растворителя, спектрального состава и радиационной дозы ионизирующего излучения [4, 5].

Если между источником ионизирующего излучения и многокомпонентным раствором красителей поместить материал или изделие определенного состава и структуры, то изменение цвета раствора в определенном месте будет коррелировать с величиной радиационной дозы, воздействовавшей на данный участок раствора, следовательно, по цветовой структуре отпечатавшегося на растворе изображения можно судить о внутренней структуре объекта исследования (о наличии полостей, вкраплений и других дефектов) [5]. Глаз человека точнее реагирует на изменение цвета, чем на изменение контраста черно-белого изображения [6].

В данной работе приведены результаты исследования радиационной стойкости и фэдинга многокомпонентных растворов красителей различных классов с целью определения возможности их использования в качестве регистрирующих систем для визуального радиационного неразрушающего контроля внутренней структуры материалов и изделий.

Объектами исследования служили жидкие и твердые многокомпонентные растворы органических красителей различных классов: арилметановые, ксантеновые, акридиновые, кислотные, тиазиновые, полиметиновые и др. Применялись спектроскопические чистые красители. В качестве растворителей использовалась дистиллированная вода, этанол, изопропанол, поливиниловый спирт и др. Растворы облучались на гамма-установке "МРХγ-25М", в которой в качестве источника гамма излучения используется ^{60}Co (мощность дозы облучения изменялась в диапазоне 2 – 0,5 Гр/с), а также на рентгеновской установке ДРОН 2 (напряжение на рентгеновской трубке – 22 кВ, электрический ток в трубке – 10 мА). На спектрофотометре PV 1251 "Solar" перед облучением, непосредственно после облучения и через определенное время после облучения записывались спектры поглощения растворов.

На рисунке 1 представлены в относительных единицах спектры поглощения необлученного и облученного в течение различного времени водного раствора, содержащего два красителя, один из которых поглощает в коротковолновой, а другой – в длинноволновой области видимого спектра. Подобные изменения спектров поглощения наблюдались для водно-спиртовых и спиртовых многокомпонентных растворов, только скорости радиационной деструкции красителей в водно-спиртовых растворах были ниже, чем в водных, а в чисто спиртовых ниже, чем в водно-спиртовых. Наибольшая скорость радиационной деструкции красителей характерна для водных многокомпонентных растворов. В твердых растворах (окрашенных полимерных пленках) характерные скорости радиационной деструкции красителей примерно на два порядка меньше, чем в водных растворах.

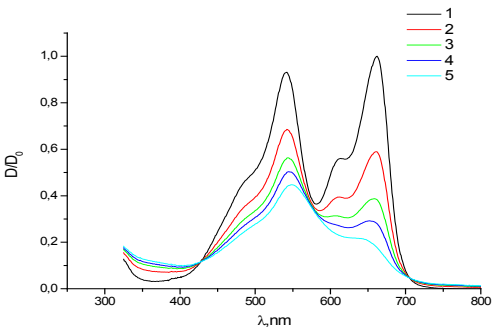


Рисунок 1 – Спектры поглощения раствора фуксин основание + метиленовый голубой в воде: необлученный раствор (1), облученный в течение 5 (2), 10 (3), 15 (4), 20 минут (5). Мощность дозы гамма облучения – 72 Р/с. (0,63 Гр/с)

Проведенные исследования показали, что необратимая радиационная деструкция красителей в растворах происходит в результате окисления красителей короткоживущими кислородсодержащими радикалами и ион-радикалами (OH, OH^-, HO_2, и др.), а также относительно стабильным продуктом радиолиза растворителей – пероксидом водорода [2 – 4].

При практическом применении многокомпонентных растворов красителей в качестве регистрирующих систем радиационной дозы важно, чтобы растворы красителей обладали низким фэдингом. Для определения фэдинга растворов двух красителей были проведены исследования зависимости интенсивностей спектров поглощения наполовину обесцвеченных растворов (по красителю, имеющему более интенсивную полосу поглощения в видимой области спектра) в зависимости от времени хранения раствора в темноте. Растворы хранились в темноте, чтобы исключить возможную их фотодеструкцию. Результаты такого исследования для раствора родамин 6Ж + малахитовый зеленый в воде представлены на рисунке 2.

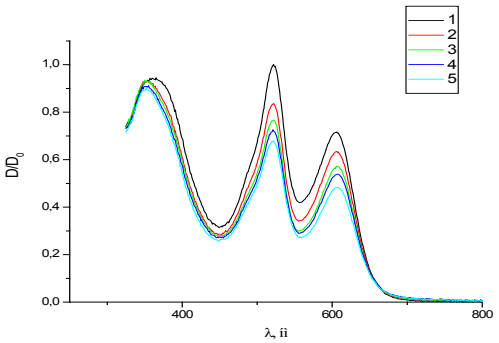


Рисунок 2 – Спектры поглощения раствора родамин 6Ж + малахитовый зеленый в воде через 0 (1), 10 (2), 30 (3), 55(4), 60 суток (5)

Также было исследовано влияние пероксида водорода на обесцвечивание растворов красителей. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода. В раствор добавлялся 3% раствор пероксида водорода в соотношении 10 мл раствора красителя на 5 мл раствора пероксида водорода. Спектры поглощения записывались через определенные промежутки времени.

Органические красители по обесцвечиванию под действием пероксида водорода условно можно разделить на 3 группы: быстро обесцвечивающиеся (высокий фэдинг): красители класса полиметиновых, малахитовый зелёный, фуксин основание, бриллиантовый зелёный, и др. (обесцветились более чем в 10 раз за 3 суток); средне обесцвечивающиеся (средний фэдинг): родамин 6Ж, эозин-натрий, флуоресцеин, акридиновый желтый, метиленовый голубой и др. (обесцветились вдвое в течение примерно 10 суток); относительно стойкие к влиянию пероксида водорода (низкий фэдинг): желтый светопрочный, ланазоль оранжевый Г, родамин С, кислотный ярко-голубой 3, трипафлавин, конго красный, метиловый оранжевый, кислотный зелёный антрахиноновый Н2С и др. (по прошествии 10 суток эти красители обесцветились менее чем на треть).

Исходя из указанных выше критериев отбора многокомпонентных растворов красителей в качестве регистрирующих систем для целей радиационной дефектоскопии, были отобраны определенные растворы, содержащие два органических красителя, имеющие различные скорости радиационной деструкции. Проведенные с тестовыми структурами испытания (тестовые структуры накладывались на растворы и облучались на рентгеновской установке ДРОН 2) показали, что эти растворы вполне пригодны для использования в качестве визуализаторов жестких излучений при проведении неразрушающего контроля материалов и изделий.

1. Пикаев, А.К. Современная радиационная химия. Основные положения. Экспериментальная техника и методы / А.К. Пикаев // – М.: Наука, 1985. – 375 с.
2. Попечиц, В.И. Влияние гамма-облучения на спектры поглощения растворов кислотных красителей / В.И. Попечиц // Журнал прикладной спектроскопии. – 2003. – Т. 70, № 1. – С. 34 – 37.
3. Гончаров, В.К. Исследование воздействия высокоэнергетического излучения на вещество с целью создания новых материалов и технологий / В.К. Гончаров, К.В. Козадаев, В.И. Попечиц, М.В. Пузырев // Вестник БГУ. Серия 1. – 2010. – № 1. – С. 3 – 10.
4. 4.Попечиц, В.И. Влияние гамма-излучения на твердые и жидкие растворы ксантеновых красителей / В.И. Попечиц // Актуальные проблемы физики твердого тела: Сборник докладов Международной научной конференции. В 3 томах. / Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению. – Минск, 2011. – Т. 3. – С. 200 – 202.
5. Попечиц, В.И. Дефектоскопия материалов и изделий с помощью многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Достижения физики неразрушающего контроля: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции / Институт прикладной физики НАН Беларуси. – Минск, 2013. – С. 284 – 289.
6. Кухарчик, Л.В. Цвет в ЖК дисплее, модели цвета, цветовосприятие / Л.В. Кухарчик, Д.И. Сагайдак, В.И. Попечиц, Г.И.Тимофеева // Мн.: БГУ, 2003. – 199 с.

УКД 629.7.05

БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Распопов В.Я.
Тульский государственный университет
Тула, Российская Федерация

Разработка бесплатформенной системы ориентации (БСО), которая может использоваться как в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), так и в качестве резервной БСО (РБСО) в пилотируемой авиации, является задачей востребованной. Применение инерциальных датчиков (гироскопов и акселерометров), изготовленных с применением технологий микросистемной техники (МСТ), позволяет обеспечить выполнение требований к БСО по массе, габаритам и времени готовности. В литературе [1] инерциальные датчики, полностью изготовленные по технологиям МСТ (MEMS), называют микромеханическими гироскопами (ММГ) и акселерометрами (ММА). Выходные сигналы инерциальных датчиков, как любых датчиков физических величин, помимо информативной (полезной) составляющей содержат погрешности, вызванные инструментальными и эксплуатационными причинами. Исследование инструментальных причин, влияющих на характеристики инерциальных датчиков, является важным этапом их разработки. Обычный подход при этом заключается в том, что математические модели (ММ) ЧЭ представляются в виде системы с сосредоточенными параметрами.

По результатам исследования ММ и их экспериментальной проверки устанавливаются наиболее значимые конструктивные, кинематические и динамические параметры, влияющие на метрологические характеристики датчиков, а также уточняются параметры ММ и устанавливаются характеристики, которые расчётным путём установить затруднительно. Объединение достоинств микросистемных ЧЭ инерциальных датчиков, прежде всего, таких как высокая чувствительность к измеряемой физической величине, настройка параметров с помощью функциональной электроники, малые масса, габариты и стоимость с достоинствами некоторых элементов схемотехники, выполненных по макротехнологиям, привело к созданию, так называемых, интегральных датчиков. Интегральные гироскопы и акселерометры по массе и габаритам превосходят ММГ и ММА, но сохраняют все преимущества, обусловленные микросистемным ЧЭ, и располагают более широкими возможностями настройки динамических характеристик по сравнению с ММГ и ММА. Кроме того, для большинства применений инерциальных датчиков небольшое увеличение массы и габаритов не является критичным.

В информационно-измерительных системах авионики ЛА комплексируются датчики различных физических величин, в том числе и в системах ориентации БПЛА [2]. Общепринятым математическим аппаратом комплексирования является Калмановская фильтрация. Дискретный фильтр Калмана (ФК) обеспечивает оценку погрешностей выработки в бесплатформенной системе, в общем случае, трех координат положения БПЛА, трех составляющих скорости и углов ориентации, а также смещений в сигналах гироскопов и акселерометров.

Принцип функционирования БСО заключается в выявлении корреляции между показаниями гироскопов и акселерометров с целью компенсации накапливаемой погрешности с одной стороны и возникающих в процессе движения линейных перегрузок с другой.

Неинвариантная схема комплексирования в БСО гироскопов и акселерометров на основе ФК имеет резерв повышения точности за счет введения блока предварительной обработки информации с гироскопов, устраняющего влияние линейных ускорений на накапливаемую погрешность, и блока отключения акселерометров по заданному критерию [3].

В задачу БСО, корректируемой по вертикали, – бесплатформенной гировертикали входит определение углов тангажа θ и крена γ летательного аппарата в процессе полета.

Данная задача решается путем совместной обработки информации с датчиков линейного ускорения (акселерометров) и датчиков угловой скорости (ДУС), оси которых ориентированы вдоль осей связанной системы координат в соответствии с ГОСТ 20058-80 «Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины и определения».

Совместное использование датчиков двух типов при построении БИГВ обусловлено тем, что акселерометры чувствительны к линейным ускорениям, возникающим при движении ЛА, что в свою очередь приводит к возникновению погрешностей определения угловой ориентации. С другой стороны, хотя ДУС слабо чувствительны к линейным ускорениям (для микромеханических ДУС чувствительность к линейному ускорению составляет 0,01 – 0,1 °/с/g), они несут информацию только об угловой скорости ЛА, а не о самой угловой ориентации. Это, при отдельном их использовании, приводит к появлению накапли-

ваемой со временем погрешности при решении задачи ориентации.

Таким образом, акселерометры обеспечивают устранение накапливаемой погрешности определения углов тангажа и крена, а ДУС обеспечивают снижение влияния динамики движения ЛА на точность работы БИГВ. Это достигается применением в БИГВ специально организованного, как правило алгоритмически, связующего звена, в качестве которого применяется ФК.

В системе фильтр Калмана решает следующую задачу: подавляет в векторе кажущегося ускорения $\vec{n}$ составляющую $\vec{a}$, описывающую ускоренное движение летательного аппарата, сохраняя при этом вектор ускорения силы тяжести Земли $\vec{g}$. Таким образом, на выходе фильтра Калмана формируются проекции вектора $\vec{g}$, по которым, используя известные зависимости, вычисляются углы тангажа и крена летательного аппарата.

Эффект оценивания проекции вектора $\vec{g}$ достигается следующим образом:

1) по показаниям датчиков угловой скорости проекции вектора $\vec{g}$ на оси связанной системы координат могут быть вычислены по известному рекуррентному соотношению:

$$\vec{g}_i = \tau \cdot \vec{g}_{i-1} \times \vec{\Omega}_{i-1} + \vec{g}_{i-1},$$

где $\vec{\Omega} = \{\Omega_x; \Omega_y; \Omega_z\}$ - угловая скорость вращения летательного аппарата, τ - шаг дискретизации системы.

Приведенную рекуррентную зависимость в фильтре Калмана реализует матрица прогноза Φ_i:

$$\Phi_i = \begin{bmatrix} 1 & \tau\Omega_{i-1,z} & -\tau\Omega_{i-1,y} \\ -\tau\Omega_{i-1,z} & 1 & \tau\Omega_{i-1,x} \\ \tau\Omega_{i-1,y} & -\tau\Omega_{i-1,x} & 1 \end{bmatrix}$$

2) для того чтобы погрешность вычисления проекций вектора $\vec{g}$ по сигналам датчиков угловой скорости с течением времени не накапливалась, эти проекции корректируются с малым коэффициентом K по измеренному акселерометрами вектору кажущегося ускорения $\vec{n}$.

Таким образом, вектор состояния фильтра Калмана представляет собой проекции вектора $\vec{g}$ на оси связанной системы координат. При этом в процессе расчета фильтра считают, что в показаниях акселерометров отсутствуют составляющие, обусловленные ускоренным движением объекта, а систематическая погрешность датчиков блока акселерометров пренебрежимо мала.

Начальное значение вектора состояния при запуске РБСО принимается равным осредненным за некоторый период показаниям блока акселерометров.

Таким образом, для реализации ФК необходимо определить только коэффициент передачи K.

1. Распопов, В.Я. Микромеханические приборы.- М.: Машиностроение, 2007. – 399 с.
2. Алалуев Р.В. Ладонкин А.В. Малютин Д.М. [и др.] Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов.- М.: Машиностроение, 2011.- 180 с.
3. Шукалов А.В. Повышение точности резервной бесплатформенной системы ориента-ции на отечественных чувствительных элементах, изготовленных с применением MEMS–технологий. Фундаментальные и при-кладные проблемы техники и технологии.- 2014.- №4 (306). – С. 149–153.

УДК 615.8-7

АППАРАТ МАГНИТОТЕРАПИИ С КОНТРОЛЕМ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Рудик В.Ю., Терещенко Н.Ф., Тымчик Г.С.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

На данном этапе развития медицинской техники актуального значения приобретает разработка аппаратов магнитотерапии, которые реализуют принцип адаптивного управления сигналом обратной связи с учетом реакции организма человека на воздействие магнитным полем на протяжении сеанса магнитотерапии [1,2]. Возникают вопросы по практической реализации данного принципа: выбор диагностического параметра или набора параметров пациента для анализа состояния пациента непосредственно во время сеанса магнитотерапии, обеспечение оперативного контроля состояния систем организма пациента и их диагностика во время процедуры, оперативное изменение биотропных характеристик поля по мере воздействия на пациента в соответствии с его состоянием для достижения большего лечебного эффекта, Возможность оперативной диагностики и осуществления режима варьирования воздействия может дать специальная помехозащищенная измерительная и диагностическая аппаратура, включаемая в контур биотехнической обратной связи [1].

Основные объекты, охватываемые обратной связью, можно разделить на:

- медицинские (подбор и настройка методик к конкретному биообъекту, контроль результатов воздействия непосредственно в ходе и после курса магнитотерапии лечащим врачом);
- биотехнические (коррекция лечебного воздействия и контроль за состоянием пациента, синхронизация воздействия с его биоритмами);
- технические (контроль биотропных параметров генерируемого поля, сравнение их с требуемыми, при необходимости коррекция работы блока управления и обеспечение электромагнитной совместимости магнитотерапевтической аппаратуры с диагностической аппаратурой).

Модернизация аппарата за счет организации технических и медико – технических обратных связей позволяет расширить функциональные возможности и сервисные функции магнитотерапевтической аппаратуры, обеспечивая автоматический контроль как самой аппаратуры, в том числе ее отключение при аварийных ситуациях, так и выполнение операций настройки на конкретного пациента и досрочное прекращение процедуры.

Большинство существующих серийных средств магнитотерапии лишены возможности обратной связи с биообъектом в течение магнитотерапевтического сеанса. На сегодняшний день обратная связь, в основном, реализована в магнитотерапевтических комплексах общего воздействия за счет контроля физиологических показателей организма человека (сенсоры пульса, дыхания, температуры – аппараты «Аврора МК», «Магнитор АМП», «Мультимаг МК-04»), синхронизации воздействия магнитным полем с биологическими ритмами пациента («Магнитотурботрон Люкс»), путем биорезонансной терапии («Градиент-4М», «BEMER3000»), определения оптимальных параметров магнитотерапевтического воздействия (параметрический вид обратной связи – аппараты «Сета Д», «АТМТ-01 М», «BTL 5940 Magnet», «Magnetomed 8400», «DIMAP D2000»).

Среди действующих промышленных аппаратов локального действия отсутствуют магнитотерапевтические аппараты с обратной связью [1,2].

Магнитотерапевтические аппараты общего действия более эффективны при лечении заболеваний, связанных с патологией сосудистой системы. Существенным недостатком общей магнитотерапии по сравнению с локальной является большее омагничивание пациента во время курса лечения магнитным полем.

Аппараты локального действия применяются для лечения конкретных областей организма человека, например, коленного или голеностопного суставов, позвоночника и т.п., более удобные и эффективные при лечении местных процессов (остеохондроз, артроз и т.п.). Важным преимуществом данных устройств является возможность использования их не только в стационарах, но и в домашних условиях, а также в полевых военных госпиталях во время боевых действий при лечении рваных ран.

Нами, на основе предложенных методов и принципов организации обратной связи в магнитотерапевтических аппаратах, основанных на мониторинге физиологических показателей (температуры) человека [3] и магнитной индукции [4] на индукторе аппарата во время сеанса магнитотерапии., в опытном образце аппарата «МИТ-МТ» реализована приставка для организации обратной связи, которая состоит из датчиков измерения температуры, магнитной индукции (датчик Холла) и блока индикации данных параметров. Это позволяет обеспечить контроль состояния пациента и реального значения магнитной индукции во время лечения магнитным полем с учетом индивидуальной реакции человека на действие магнитного поля.

Выбор температуры, как важного физиологического показателя организма человека, обусловлен тем, что температура – интегральный показатель эффективности действия магнитного поля на биологическую ткань :

- протекание патологического процесса приводит к возникновению температурной реакции;
- во время сеанса магнитотерапии необходимо получение информации о температуре биологической ткани, так как в случае превышения критически допустимого значения температуры (T=40ºC) нарушается терапевтический эффект действия магнитного поля и необходимо прекратить процедуру магнитотерапии;
- изменение температуры организма человека является пусковым механизмом для разнообразных реакций, уровень которых зависит от терморегуляторных и метаболических характеристик.

Для достижения максимального терапевтического эффекта при лечении конкретных видов заболеваний необходимо задать определенную конфигурацию магнитного поля, которое воздействует на пациента. Реальное распределение величины магнитной индукции в рабочем пространстве магнитных индукторов зависит от конструктивных и электрических параметров индукторов, их взаимного размещения и силы протекающего через них тока, и, как правило, отличается от установленных значений, что в целом не позволяет достигнуть желаемого терапевтического эффекта магнитного воздействия. Данное обстоятельство обуславливает необходимость оснащения аппарата «МИТ-МТ» средствами оперативного измерения реального распределения величины магнитной индукции в рабочем пространстве. Такое техническое решение

позволит врачу корректировать биотропные параметры лечебного действия соответственно реальному значению магнитной индукции во время сеанса магнитотерапии. В качестве датчика магнитной индукции используется датчик Холла, который обеспечивает измерение магнитной индукции без большого нагревания индуктора, в отличие от катушки индуктивности.

Аппарат для магнитотерапии комбинированный «МИТ-МТ» применяется для лечения низко интенсивным магнитным полем и зональным магнитоквантовым воздействием на резонансных частотах органов и систем. Оказывает вазоактивный, трофический, противовоспалительный (противоотечный), гипокоагулируюший, местный анальгитический, актопротекторный лечебный эффект.

Аппарат используется для лечения разнообразных заболеваний, в основе которых лежит нарушение иммунной и эндокринной систем местного кровообращения, отеков, болевых синдромов, заживления рваных ран, воспалительных процессов и психоматических заболеваний, в основном неврозов и реактивных состояний, особенно вызванных нарушением сна.

Будущее принадлежит адаптивным магнитотерапевтическим аппаратам с обратной связью, когда параметры воздействия подбираются и корректируются (на основе обратной связи) с учетом не только характера патологического процесса, но и с учетом особенностей его протекания у конкретного больного и его реакции на лечебное действие магнитного поля [2].

Разработка в аппаратах магнитотерапии компьютерной системы регистрации и визуализации распределения переменных магнитных полей на индукторе и в пространстве биологической ткани во время сеанса магнитотерапии позволит врачу получать информацию о фактических значениях магнитного поля на индукторе и на глубине в биологической ткани с возможностью оперативного корректирования параметров магнитотерапевтического воздействия.

1. Беркутов, А.М. Системы комплексной электромагнитотерапии: Учебное пособие для вузов / А.М. Беркутов, В.И. Жулев, Г.А. Кураев, Е.М. Прошина. – М., 2000. – 376 с.
2. Улащик, В.С. Биосинхронизированная физиотерапия: общие основы, использование, и перспективы развития / В.С. .Улащик // Здравоохранение. - 2008.- № 5.- С. 13-18.
3. Пат. 74810 Україна, МПК A61B 5/00. Спосіб впливу на організм магнітним полем [Текст] Терещенко М.Ф., Рудик В.Ю., Тимчик Г.С., Терещенко С.М.; заявник та патентовласник НТУУ “КПІ”. - № u 2012 05263; заявл. 27.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. №21. - 6 с
4. Пат. 65554 Україна, МПК A61N 2/00 G01R 33/02 (2006.01). Універсальни магнітофізіотерапевтичний апарат/ Терещенко М.Ф., Тимчик Г.С., Терещенко С.М., Терещенко М.М.; заявник та патентовласник НТУУ “КПІ”. – № u201106000; заявл. 13.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. - 4с.

УДК 538.93

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОВОДИМОСТИ НА БАЗЕ ИППП-1

Русецкий М.С., Казючиц Н.М.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

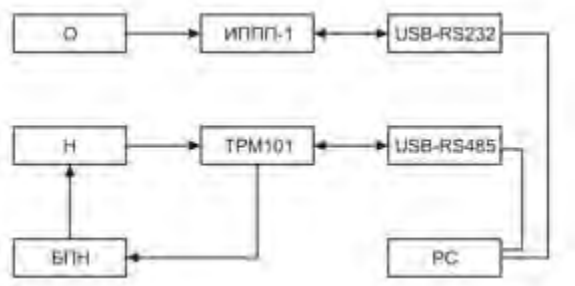
Температурные исследования алмаза представляет собой нетривиальную задачу. Обусловлено это, прежде всего, высоким сопротивлением образцов алмаза (более 10 ГОм), и как следствие, необходимостью регистрации низких значений величины ток. К тому же измерения должны быть проведены в термостатированном режиме с минимальным изменением температуры образца в течение измерений. Для проведения измерений электрических и фотоэлектрических характеристик детекторных структур при температурах выше комнатной была разработана конструкция установки и изготовлен измерительный стенд.

Цель работы – разработка и изготовление измерительного стенда и программного обеспечения для автоматизированных измерений семейства вольт-амперных характеристик (ВАХ) при различных температурах и получения температурных зависимостей проводимости.

Идеология измерения температурной зависимостей какого-либо электрического параметра основывается на измерении семейства ВАХ при нагревании исследуемого образца и последующей обработке результатов измерений. Блок-схема измерительного стенда представлена на рисунке 1.

Измерение ВАХ исследуемого образца осуществляется измерителем параметров полупроводниковых приборов ИППП-1. Для автоматизации измерений измеритель ИППП-1 подсоединяется к компьютеру через USB порт. Согласование протоколов обмена между USB портом и интерфейсом измерителя осуществляется через преобразователь интерфейсов USB-RS232. С помощью терморегулятора ТРМ101

задается температура нагрева образца и регистрируется текущее значение температуры на поверхности нагревателя. В качестве датчика температуры используется термопара. Терморегулятор ТРМ101 имеет аналоговый выход, который используется для управления блоком питания нагревателя образца. Терморегулятор соединяется с компьютером через USB порт. Согласование протоколов обмена между USB портом и интерфейсом терморегулятора осуществляется через соответствующий преобразователь USB-RS485.



О – образец,
ИПППП-1 – измеритель параметров полупроводниковых приборов,
ТРМ 101 – терморегулятор,
Н – нагреватель,
БПН – блок питания нагревателя,
USB-RS485 – преобразователь интерфейсов USB и RS485,
USB-RS232 – преобразователь интерфейсов USB и RS232,
PC – персональный компьютер

Рисунок 1 – Блок-схема автоматизированного стенда для измерения температурной зависимости проводимости

Нагревание образца выше комнатной температуры осуществляется с помощью миниатюрного нагревателя. Фотография миниатюрного нагревателя приведена на рисунке 2. В качестве нагревательного элемента используется нихромовая спираль с сопротивлением 15 Ом. Спираль установлена по кругу в канавке керамического основания и изолирована от нагреваемой поверхности тонким слоем слюды. Нагреваемая поверхность изготовлена из теплопроводящего материала – дюралюминия Д16Т. Для электрической изоляции образца от нагревателя на нагреваемой поверхности установлена тонкая сапфировая пластинка. Исследуемый образец устанавливается на сапфировую пластинку в центре нагреваемой поверхности. В непосредственной близости от образца располагается термопара. Для надежного теплового контакта термопара приклеивается к поверхности сапфировой пластинки.

Для управления работой измерительных приборов разработано специализированное программное обеспечение.

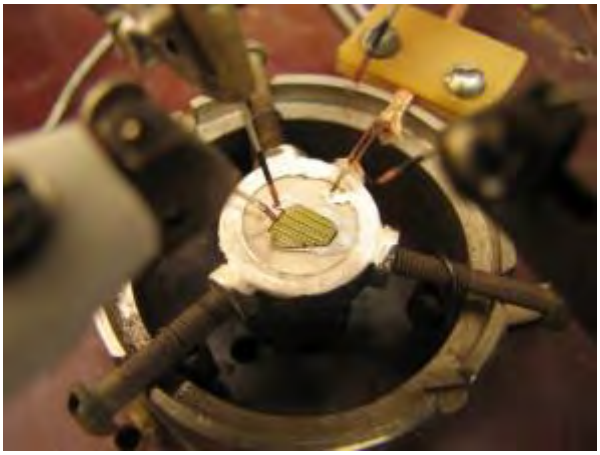


Рисунок 2 – Фотография миниатюрного нагревателя с установленным образцом

Разработанное программное обеспечение позволяет задавать параметры измерения ВАХ, задавать и контролировать температуру нагревателя, проводить измерения величины сигнала (тока) в течение времени. Все режимы и диапазоны измерения интерактивно задаются пользователем, полученные в процессе измерения результаты отображаются в реальном времени. Для получения температурной зависимости проводимости в программе предусмотрен режим автоматического измерения семейства вольтамперных характеристик при различных температурах. При этом пользователем задаются начальная и конечная температуры, величина шага приращения температуры и параметры измерения ВАХ. Вся дальнейшая процедура измерений осуществляется программой, под управлением которой проводится измерение ВАХ при заданной начальной температуре, переход к более высокой температуре на величину заданного шага, ожидание заданной пользователем степени стабилизации температуры, измерение ВАХ при новом значении температуры и т.д. Температурная зависимость проводимости получается как результат заложенной в программе обработки ВАХ, измеренных при различных температурах. Интерфейс программы для управления установкой измерения температурной зависимости проводимости приведен на рисунке 3.

Результаты измерения организованы в визуальную древовидную структуру – измерительный проект. Использование понятия «проект» характерно для большинства современных программных продуктов, предназначенных для работы с данными. Организации данных в виде проекта позволяет существенно повысить удобство работы пользователя и целостность сохраняемых данных. Весь проект может содержать

практически неограниченное количество измерений и может быть сохранен/считан в виде одного файла в XML формате.

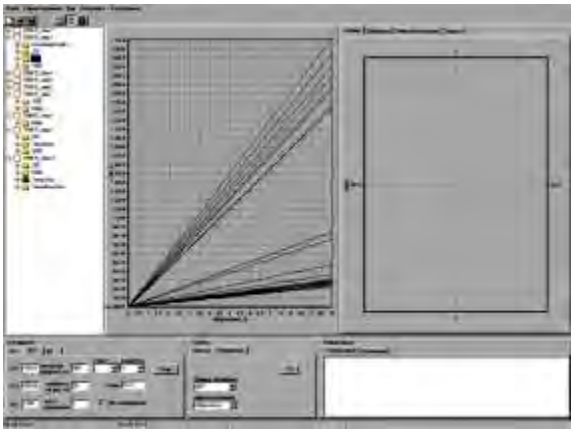


Рисунок 3 – Интерфейс программы для управления установкой измерения температурной зависимости проводимости

Кроме управления измерительными приборами в программе предусмотрен широкий спектр возможностей обработки полученных результатов измерения – от простейших математических операций с ними до специализированных операций расчета энергии активации проводимости по результатам регистрации семейства ВАХ, измеренных при различных температурах.

Все элементы управления сгруппированы по функциональному назначению: дерево проекта, область графической визуализации данных, закладки для задания параметров для каждого типа измерений и закладки управления приборами. Настройки каждого типа измерений могут быть сохранены в отдельный текстовый файл или загружены из файла, что оказывается очень удобным при проведении типовых измерений. Область графической визуализации данных может содержать один или два графических окна (графика). Оси каждого графика могут индивидуально настраиваться на отображение определенных типов данных, что позволяет визуализировать только необходимые данные. Отличительной чертой визуализации данных является возможность одновременного отображения на одном графике произвольного количества данных путем выделения их в дереве проекта простым нажатием мыши. Это позволяет быстро сравнивать и оценивать результаты различных измерений.

Установка для измерения температурных зависимостей проводимости используется при выполнении заданий ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы» и ГПНИ «Электроника и фотоника»

УДК 620.11

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРМИСТОМЕТРИИ

Филиппова М.В., Матвиенко С.Н.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Широкое внедрение в промышленность новых материалов и композиций вызывает необходимость разработки аппаратуры для исследований их теплофизических характеристик, и, в частности, теплопроводности, что продиктовано рядом причин. Прежде всего, коэффициент теплопроводности является паспортной характеристикой существующих и разрабатываемых материалов, число которых непрерывно растет.

К числу наиболее эффективных методов определения теплопроводности могут быть отнесены неразрушительные методы, позволяющие осуществлять измерения без взятия проб исследуемого материала. С их помощью есть возможность получать информацию о теплопроводности при максимальном сохранении естественной структуры материала. Кроме того, с помощью неразрушающих методов может быть достигнута наиболее высокая производительность измерений, так как они не требуют подготовки из исследуемых часто труднообрабатываемых материалов образцов заданной геометрии. Кроме этого такие методы и средства позволяют хранить в целостности исследуемые объекты, которыми могут быть готовые изделия [1].

Для определения коэффициента теплопроводности было использовано два способа:

1. Учитывая, что мощность, которая подается на термистор, полностью рассеивается в исследуемую среду [2] (зонд полностью погружен в среду), имеем:

$$\frac{U_m^2}{4R_C}\tau F = 4\pi R T_0 \lambda \qquad (1)$$

откуда определяем коэффициент теплопроводности

$$\lambda = \frac{U_m^2 \tau}{16\pi R_C R T_0} F \qquad (2)$$

2. Перед определением коэффициента теплопроводности прибор необходимо откалибровать, используя материал с известным λ. В этом случае при равновесии моста термистор рассеивает мощность

$$Q = \frac{U_m^2}{4R_C}\tau F_0 = 4\pi R T_0 \lambda_0 \qquad (3)$$

После калибровки прибор подключается к изучаемому материалу, тогда устанавливается частота F, отличная от F_0. Мощность, выделяемая на термисторе:

$$Q = \frac{U_m^2}{4R_C}\tau F = 4\pi R T_0 \lambda_x \qquad (4)$$

Из формул для расчета рассеиваемой мощности и мощности, выделяемой на термисторе, получаем выражение:

$$T_0 / T = \lambda_0 / \lambda_x \Rightarrow \lambda x = T \cdot \lambda_0 / T_0 \qquad (5)$$

Полученная зависимость вида λx = kT удобная для исследований. Во избежание влияния температуры окружающей среды - начальной температуры термистора - прибор [3,4] желательно откалибровать при каждом измерении коэффициента теплопроводности.

Исследуемая и опорная жидкость размещаются в термостате, который нагревает их до температуры 30°C. После нагревания оператор погружает в измерительное среду термисторные сенсоры, включении по мостовой схеме, и запускает начало измерения на ПК.

После получения команды о начале измерения контроллер, с помощью ключа, подает напряжение на измерительные мосты в течение 6 секунд. Электрический ток, протекающий через термистор нагревает его, изменяя температуру термистора. Собственная температура термистора пропорциональна коэффициенту теплопроводности жидкости в которую он погружен. Изменение температуры приводит к изменению сопротивления термистора, а следовательно и к разбалансу измерительного моста. Разница потенциалов измерительной диагонали моста поступает на вход дифференциального усилителя, на выходе которого получаем усиленный разностной сигнал.

Разностные сигналы с усилителей первого и второго измерительного мостов подаются на вход ключа, который переключает эти сигналы на вход АЦП по команде контроллера. С АЦП сигнал в цифровом виде подается в контролер, где он проходит предварительную статистическую обработку и хранится как массив данных до конца измерительного цикла.

За 6 секунд измерения контроллер опрашивает 240 раз каждый из мостов и накапливает и усредняет полученные данные. В течение следующих 20 секунд на измерительный мост не поступает напряжение, и термистор охлаждается. Таким образом время выполнения одного цикла составляет 26 секунд. Во время охлаждения термистора происходит передача результатов первого цикла в ПК через интерфейс RS-232.

Измерительная сессия состоит из 10 циклов и общее время измерения составляет 260 секунд. График измерительной сессии приведен на Рис. 1

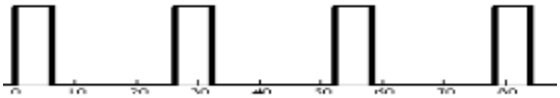


Рисунок 1

Экспериментальный выбор термисторов проводился путем исследования свойств термисторов погруженных в жидкость. В качестве стабилизатора температуры выступала вода, которая была нагрета до температуры 36°C. Контроль температуры производился с помощью электронного термометра.

В результате эксперимента было установлено, что параметры термистора 3G202 фирмы Mitsubishi, наиболее стабильны с течением времени. Кроме того этот термистор является гидроизолированным, что исключает необходимость использовать дополнительные методы изоляции выводов от измерительной жидкости.

В рамках исследования является необходимость разработки на основе полученных параметров новую установку (прибор) для проведения необходимых измерений методом термистометрии для использования в любых условиях производства.

Прибор предназначен для измерений теплопроводности и теплового сопротивления различных теплоизоляционных, строительных и конструкционных материалов в диапазоне комнатной температуры.

Измеряемые характеристики: теплопроводность, тепловое сопротивление, температуропроводность, теплоемкость, энтальпия, теплота фазовых и структурных превращений, влагосодержание, криоскопическая температура, внутренние тепловые источники.

Погрешность измерений: Отвечает требованиям, предъявляемым к лабораторным исследованиям.

Степень автоматизации: Прибор оснащен специализированным контроллером, обеспечивает автоматизированное управление опытом и электронно-вычислительную обработку информации.

Конструктивное оформление: Прибор является настольным, выполнен в виде двух блоков - тепловой ячейки и контроллера.

Выводы

Исследования обусловлено общей необходимостью разработки новой системы и методов измерения теплопроводности жидкостей и материалов с целью определения их свойств и технологического состояния. Необходимость контроля качества изделий [5] и материалов на всех этапах производства обусловливает поиск и создание

более совершенных методов и средств неразрушающего контроля теплопроводности материалов.

С учетом приведенных данных, и исходя из поставленной задачи измерения термисторные датчиком температуры в узком диапазоне температур относительно опорной, целесообразнее использовать сравнительный метод, со стабилизацией измерительного напряжения на усилителе. Подключение измерительного датчика к измерительному осуществляется по двухпроводной схеме, поскольку изменение температуры на выводах термистора будет в узком диапазоне в окрестности рабочей точки, и не будет существенно влиять на результаты измерения. Питание измерительного моста происходит постоянным током, так как одновременно производится измерение в двух каналах, и на них будут действовать одновременно те же погрешности, что позволяет их не учитывать.

1. Калинин, А.Н. Неразрушающий сравнительный метод и интереполяционный прибор для экспресс-измерений теплопроводности твердых тел на основе двухточечного зондирования поверхности [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук / А.Н. Калинин ; [Сибирский государственный ин-т метрологии] . — Новосибирск., 1994. — 5 с.
2. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М. : Высш. шк., 1967. – 600 с.
3. Декуша, О. Л. Прибор для для экспресс измерения коэффициента теплопроводности твердых материалов [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук / О.Л. Декуша ; [Ин-т технической теплофизики] . — Киев., 2013. — 7 с.
4. Бурова, З.А. Установка для вимірювання коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів ИТ-7С / З.А. Бурова, Л.Й. Воробйов, Л.В. Декуша, О.Л. Декуша // Метрологія та прилади. Харків, 2009. № 6. — С. 9-15.
5. Бадьин Г.М. Справочник по измерительному контролю качества строительных работ. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 464 с.

УДК 681.2

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕВЕРБЕРАЦИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДНА В ГИДРОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗОМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ

Чан Тай Чонг
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

При разработке гидролокаторов мониторинга морского дна наряду с обеспечением высокой разрешающей способности на большой дальности особое внимание необходимо уделять и обеспечению высокой контрастности изображения, то есть обеспечению высокого отношения сигнал/помеха в элементе разрешения.

В движущемся ГЛ с синтезом апертуры антенны (САА) защита от реверберационных помех осуществляется естественным образом в ходе когерентного междупериодного накопления полезных сигналов, соответствующих отражениям от центров анализируемых элементов 3-мерного пространства. Междупериодное когерентное накопление в ходе движения ГЛ осуществляется на длительном интервале (единицы секунд) в соответствии с индивидуальными законами изменения фаз полезных сигналов, которые отличаются от законов изменения фаз помеховых сигналов реверберации.

В прямоугольной системе координат X, Y, Z зона обзора, в которой будет формироваться изображение, разбивается на трехмерные блоки, соответствующие одному интервалу САА. Произвольный разрешаемый объем в блоке обозначим номером (j, g, h), причем $j = \overline{1; N_X}$, $g = \overline{1; N_Y}$, $h = \overline{1; N_Z}$, где N_X, N_Y, N_Z - количество элементов разрешения в блоке по соответствующим осям координат.

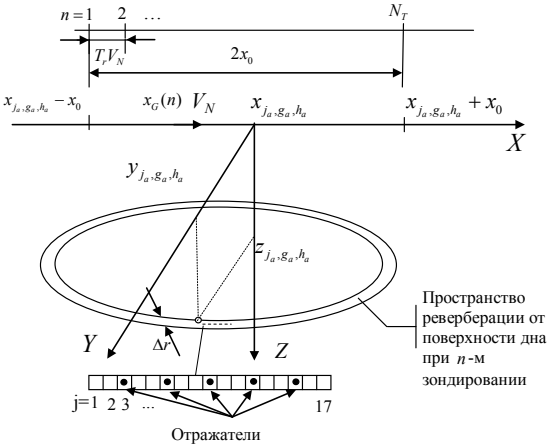


Рисунок 1 - Пояснение к определению пространства реверберации в n -ом зондировании

При обработке сигнала, отраженного от (j_a, g_a, h_a)-го разрешаемого объема, САА выполняется за время T_{SAA} при движении ГЛ со скоростью V_N параллельно координате X (см. рисунок 1) в интервале $[x_{j_a,g_a,h_a} - x_0;\ x_{j_a,g_a,h_a} + x_0]$, где $x_0 = V_N T_{SAA} / 2$ половина пространственного интервала САА, а количество зондирующих сиг-

налов (ЗС), формируемых в ГЛ с периодом повторения T_r за время САА, составляет $N_T = T_{SAA} / T_r$.

Сигнал реверберации в ходе n-го зондирования является суммой сигналов, отраженных от всех отражателей, находящихся в объеме, ограниченном двумя поверхностями, вне главного лепестка. Граница ближайшей поверхности описывается выражением [2]:

$$\left(1-\left(\frac{V_N}{c_v}\right)^2\right)\left(x_{j_a,g_a,h_a}-x_0+(n-1)V_N T_r-x\right)^2+y^2+z^2-$$

$$-\left(\frac{V_N\left(c_v^2-V_N^2\right)t_z(n,j_a,g_a,h_a)}{c_v^2}\right)\left(x_{j_a,g_a,h_a}-x_0+\right.$$

$$\left.+(n-1)V_N T_r-x\right)-\left(\frac{\left(c_v^2-V_N^2\right)}{2c_v}\right)^2(t_z(n,j_a,g_a,h_a))^2=0,$$

а граница второй сдвинута на величину разрешающей способности по дальности Δr, c_v - скорость распространения акустической волны в воде.

Сопоставительный анализ влияния реверберации на качество формирования изображения дна в типовом ГЛ и в ГЛ с САА. Сопоставительный анализ проведен путем математического моделирования для типового ГЛ, в котором высокое разрешение обеспечивается за счет узкой диаграммы направленности антенны (ДНА) с большой физической апертурой, и для ГЛ с САА при одинаковых значениях длины волны и ширины спектра ЗС. Основное требование к обоим ГЛ – одинаковые линейные размеры разрешающих способностей по азимуту на дальности анализа r_a в ГЛ с большой физической апертурой $\Delta L_{Ph} = 2r_a \sin(\Delta\beta_{Ph}/2)$ при ширине ДНА $\Delta\beta_{Ph}$ и в ГЛ с САА $\Delta L_{CAA} = 2r_a \sin(\Delta\beta_{CAA}/2)$ при ширине ДНА $\Delta\beta_{CAA}$, то есть $\Delta L_{Ph} = \Delta L_{CAA}$.

Анализ проведен путем сопоставления гидролокационных изображений набора отражателей (см. рис. 1) наличии реверберации. Пространство анализа по азимуту ограничено значением $\Delta\theta_{an} = 180$ град.

Для проведения объективной оценки влияния реверберации шумы приемных устройств не моделировались. При моделировании использовались следующие параметры ГЛ: пиковая мощность P_0 =1 Вт, длительность импульса T_0 = 0,02 с, f_0 = 75 кГц; закон модуляции ЗС – ЛЧМ с девиацией Δf_M = 3,75 кГц; длина волны λ = 0,02 м; T_r = 0,05 с; коэффициенты усиления антенн на передачу и прием G_{Tr} = G_{Rc} = 50; коэффициенты преобразования мощности электрического сигнала в мощность акустического поля и коэффициент преобразования мощности акустического поля в мощность электрического сигнала: $K_{P\text{-}Tr}$ = 0,5; $K_{P\text{-}Rc}$ = 0,5; уровень боковых лепестков ДНА η = -15 дБ; разрешающие способности по X, Y, Z : Δx = Δy =Δz = 0,5 м; V_N = 5 м/с, время САА T_{SAA} = 6 с и длина физической апертуры антенны l_A = 1 м; c_v = 1495 м/с; первый разрешаемый объем имел координаты $x_{1,1,1}$ = 20 м; $y_{1,1,1}$ = 600 м, $z_{1,1,1}$ = 1375 м; ЭОП каждого из пяти отражателей (см. рис. 1), создававших полезные сигналы, σ_t = 0,5 м^2; ЭОП каждого отражателя, создававшего реверберации, σ_r= 0,1 м^2, а количество этих отражателей в секторе анализа: 1260.

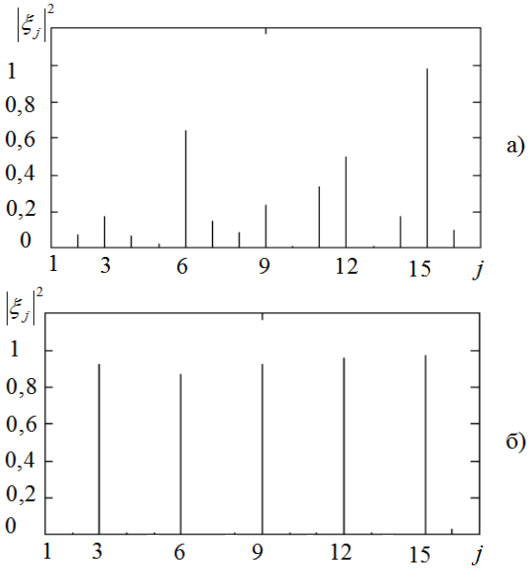


Рисунок 2 – Изображения на выходах устройств обработки при наличии реверберации:
а) в ГЛ с большой физической апертурой; б) в ГЛ с САА

Результаты аналогичного моделирования при наличии реверберации представлены на рисунке 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

во-первых, реверберации негативно влияют на построение изображения поверхности дна в движущемся ГЛ с большой апертурой физической антенны, в котором не реализуется когерентное междупериодное накопление. Отсутствие когерентного накопления в движущемся ГЛ не позволяет выделить полезные сигналы на фоне сигналов реверберации, что исключает получение в таком ГЛ изображений подводных объектов с низкой контрастностью относительно поверхности дна. Наиболее эффективно такие движущиеся ГЛ могут работать при отсутствии источников реверберации, что гипотетически возможно при расположении ГЛ и наблюдаемых объектов на сравнительно большом удалении как от поверхности дна, так и от поверхности воды.

Во-вторых, гидролокаторы с САА обладают наиболее высокой устойчивостью к воздействию реверберации. Это обеспечивается использованием специального междупериодного накопления, позволяющего выполнить как сверхразрешение элементов поверхности дна, так и отделение полезных сигналов от сигналов реверберации на основе учета индивидуальности законов изменения фаз полезных сигналов при движении ГЛ относительно анализируемой поверхности.

1. Чан Тай Чонг, Гейстер С.Р. Анализ возможностей защиты от сигналов реверберации при гидроакустическом синтезе апертуры антенны//Технические средства защиты информации: материалы XI Белорусско-российская науч.-тех. конф. 5-6 июня 2013, Минск, Респ. Беларусь. – С. 27.
2. Чан Тай Чонг. Морская реверберация в гидролокаторе с синтезом апертуры антенны // Тезисы. докл. 50-ой научной конференции аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР «Радиотехнические системы», 7 мая 2013 г., Минск, Беларусь. – С. 10.

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Лухвич А.А.[1], Шарандо В.И.[1], Шукевич А.К.[1], Янушкевич К.И.[2]
[1]ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь
[2]ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь

Нержавеющие стали аустенитного класса широко используются в современном машиностроении. При этом особенности их механических и коррозийных свойств в значительной мере обеспечивает ферромагнитная составляющая, откуда вытекает важность её определения в данных материалах. Наиболее целесообразно проводить контроль качества аустенитных сталей с помощью магнитных методов. Следует учитывать, что структура и фазовый состав контролируемого материала зависит от его термомеханической обработки. Так, согласно [1], в недеформированных сталях ферромагнитная фаза отождествляется с δ-ферритом. При прокатке появляются значительные количества мартенсита [2], имеющего другие магнитные свойства. Эти явления должны учитываться при проведении исследований и в оценке результатов контроля.

В Институте прикладной физики НАН Беларуси разработан магнитодинамический метод неразрушающего контроля, основанный на измерении потока индукции магнитного поля рассеяния от намагниченного участка объекта исследования [3]. При этом измеряемый сигнал является функцией намагниченности информативной области и зависит только от значений индукции в конечных положениях преобразователя (контакт с объектом и расстояние, где полем его остаточной намагниченности можно пренебречь). Метод и соответствующие приборы имеют высокую чувствительность к слабым вторичным магнитным полям, что позволяет прогнозировать возможность их применения для экспресс-контроля малых содержаний ферромагнитной составляющей в аустенитных нержавеющих сталях.

Целью работы является адаптация магнитодинамического метода для выявления магнитно упорядоченных фаз в нержавеющих сталях.

Материалом для исследований была выбрана широко используемая в атомном машиностроении сталь 12Х18Н9 в виде пластины толщиной 5,2 мм в состоянии поставки (прокатка).

Из пластины изготовлены прошлифованные образцы размером 25×25×5мм^3, а также кубики 4×4×4мм^3 и 3×3×3мм^3. Параллельные пары граней кубиков обозначались как 1-1*, 2-2* и 3-3*. При этом для всех кубиков нормали к парам граней 1-1* и 2-2* лежали в плоскости прокатки, а к паре 3-3* – были перпендикулярны ей.

Для идентификации фаз, ответственных за наличие магнитно упорядоченной составляющей, и оценки их количества необходимо знание удельной намагниченности материала и температуры Кюри. Такие измерения выполнены для образцов 3×3×3мм^3 с помощью сертифицированной установки пондеромоторного принципа действия (МВИ. МИ 3128-2009) в магнитном поле с индукцией $\boldsymbol{B}$=0,86Тл в температурном интервале 80÷1100К при нагреве и охлаждении со скоростью 0,2–0,5 градуса в секунду. Графическая зависимость приведена на рисунке 1.

Температурный гистерезис удельной намагниченности стали (её величина при 300К составляет при нагреве σ_{T+}=2,0А·м^2·кг$^{-1}$ и при охлаждении σ_{T-}=1,4А·м^2·кг$^{-1}$) указывает на изменения в кристаллической структуре и фазовые превращения. Из рисунка следует существование двух ферритных фаз. Одна из них имеет температуру Кюри T_C=825÷850К и ближе всего совпадает с соединением FeNi (T_C=835-840К, удельная намагниченность около 145А·м^2·кг$^{-1}$). Количество, исходя из σ_{T-}=1,4А·м^2·кг$^{-1}$, составляет

около 1%. Содержится также небольшое количество *δ*-феррита с температурой Кюри T_C=1025К; данная фаза перестаёт выявляться при охлаждении. Согласно [2] в состоянии до термической обработки должен существовать мартенсит деформации. Его удельная намагниченность близка к чистому железу, а вклад в удельную намагниченность исследуемой стали составляет (пренебрегая другими структурными изменениями при нагреве) σ_{T+}-σ_{T-}=0,6А·м^2·кг$^{-1}$. Это может соответствовать его количеству около 0,2–0,3%.

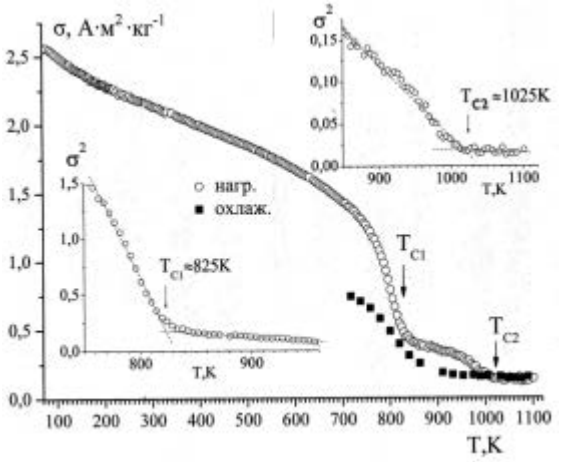


Рисунок 1 – Зависимость удельной намагниченности от температуры

На всех образцах проведены измерения сигнала магнитодинамического преобразователя [3], имевшего радиус магнита 5мм и радиус информативной зоны около 10мм. Показания снимались в относительных единицах, результаты по противоположным граням усреднялись.

Для определения глубины информативной зоны образцы 25×25×5мм^3 складывались в стопку толщиной 5, 10, 15, 20, 25 мм с установленным на верхней грани преобразователем. Получены соответствующие показания прибора: 882, 968, 977, 982, 979 отн. ед. Изменение сигнала практически прекращается (погрешность ~ 1%) после толщины стопки 10мм. Далее образцы были скреплены в кубик размерами 25×25×25мм^3 так, что направления прокатки на гранях создавали плоскости 1-1*, 2-2* и 3-3*, аналогичные остальным цельных кубикам. Выполнены измерения сигнала преобразователя при его установке на каждую из граней. Отмечено отсутствие разницы в показаниях при попадании точки касания магнита на сплошной участок поверхности кубика и на стык между составляющими его образцами, что связано с хорошим прилеганием плоскостей, большим объёмом информативной зоны (не выходящей, однако, за пределы кубика) и низкой концентрацией ферромагнитных включений. Таким образом, кубик в магнитном отношении вёл себя как сплошной.

Аналогичные измерения проведены при установке магнитодинамического преобразователя на грани кубиков 4×4×4мм^3 и 3×3×3мм^3. При этом использовались как кубики в исходном, не термообработанном состоянии (без т/о), так и кубик, перед этим прошедший нагрев до 1100К и охлаждение в установке для измерения удельной намагниченности (т/о).

На данной установке для кубика 4×4×4мм^3 при 300К. измерена также удельная намагниченность σ в зависимости от ориентации граней.

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ грани куба	Сигнал магнитодинамического преобразователя, отн. ед.				σ, А·м^2·кг$^{-1}$
	25×25×25 мм^3	4×4×4 мм^3	3×3×3 мм^3		4×4×4 мм^3
	без т/о	без т/о	без т/о	т/о	без т/о
1-1*	1228	132	55	24	2,016
2-2*	1096	102	48	21	2,031
3-3*	980	32	25	14	2,057

Из таблицы следует, что величины намагниченности по разным граням кубиков, измеренные на магнитометрической установке, близки, при этом максимальное значение соответствует направлению поля, перпендикулярному плоскости прокатки. Магнитодинамические измерения более чувствительны к анизотропии магнитных свойств, однако наибольшие сигналы соответствуют случаям, когда преобразователь устанавливается на грани, нормали к которым лежат в плоскости прокатки. Наблюдаемое различие в эффектах обусловлено тем, что в магнитометрической установке намагничивающее поле имеет единственную, нормальную к заданной грани кубика компоненту, а магнитодинамический преобразователь создает в образце нормальную и тангенциальную компоненты с преимуществом последней; при совпадении с ней направления лёгкого намагничивания прокатанного металла и фиксируется максимальный сигнал. Изучение магнитной анизотропии не входило в задачу данной работы. Отметим лишь, что дополнительные исследования в полях до ±14Тл указывают на сложную природу магнитного состояния стали, определяемую, в частности, кластерами.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности магнитодинамического метода к содержанию ферромагнитной составляющей в прокате нержавеющей стали. Учитывая оцененное выше её суммарное содержание в образцах 12Х18Н9 (около 1% FeNi и до 0,2–0,3% мартенсита деформации), контроль массивных изделий может быть обеспечен с чувствительностью до сотых долей процентного количества данной составляющей. Для термооб-

работанных образцов чувствительность такого же порядка достигается по отношению к фазе FeNi. На результат измерений оказывает влияние связанная с направлением прокатки анизотропия магнитных свойств. Уменьшение сигнала преобразователя на образцах малых размеров связано с уменьшением объёма информативной зоны.

1. ГОСТ Р 53686-2009 (ИСО 8249:2000) Сварка. Определение содержания ферритной фазы в металле сварного шва аустенитных и двухфазных феррито-аустенитных хромоникелевых коррозионностойких сталей.
2. Снежной Г.В. Идентификация низких содержаний феррита и мартенсита в аустенитных хромоникелевых сталях // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – №7. – С. 76-79.
3. Лухвич А.А. Магнитные толщиномеры нового поколения // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2010. – №4. – С. 3-15.

УДК 620.16(075.8)

ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ УФ-ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА

Шаронов Г.В.
Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко
Минск, Республика Беларусь

В последнее время в различных отраслях промышленности, медицины используются детекторы УФ-излучения на основе особо чистых природных алмазов типа 11а, которые достаточно дороги и редко встречаются в природе. Как правило, эти детекторы имеют небольшую рабочую площадку 1 мм^2 [1]. Есть отдельные сообщения о создании приборных структур на основе беспримесных синтетических моно-и поликристаллических алмазов и алмазных пленок, выращенных по SVD – технологии [2-3].

Настоящая работа направлена на разработку технологии и создание широкоапертурных высокочувствительных спектрально-селективных детекторов УФ-излучения на синтетических монокристаллических алмазных подложках. Алмаз, в этом случае, выполняет функцию твердотельной ионизационной камеры. Ионизирующее излучение приводит к генерации свободных носителей заряда, которые собираются на электродах, расположенных на поверхности детектора

Перечислим основные преимущества алмаза, как фотополупроводника, для детекторов УФ-излучения и области его применения: 1) высокая чувствительность в спектральном диапазоне 190 – 300 нм; 2) высокая спектральная селективность фотоотклика (отношения сигнала в УФ и видимом диапазонах 10^5); 3) высокое временное разрешение, оцениваемое 10^{-13} с; 4) высокая оптическая прочность до 0,1 ГВт/см^2 в УФ – импульсе; 5) высокая надежность и стабильность в эксплуатации; 6) применяются в УФ – литографии, лазерной микрообработке, медицине, астронавигации, УФ- локации, космических исследованиях в УФ – диапазоне, наблюдением за озоновыми дырами, материаловедении, люминесцентном анализе и др.

Последние достижения в области твердотельной электроники показывают, что полупроводниковые приборы с использованием алмазов становятся реальностью, поскольку промышленность освоила выпуск синтетических моно- и поликристаллических алмазов с теплопроводностью 800-2000 Вт/м·К, а в лабораторных условиях получена теплопроводность порядка 3000 Вт/м·К и имеются хорошие предпосылки для создания мощных СВЧ- транзисторов, УФ-детекторов путем эпитаксиального наращивания алмазных пленок электронного качества из газовой фазы на монокристаллических подложках синтетического алмаза. Главной задачей производства монокристаллических алмазов электронного качества является разработка технологии получения кристаллов с одинаковыми свойствами, поскольку только такой подход может гарантировать серийное производство интегральных структур. Основу разрабатываемого УФ-детектора составляет подложка из монокристаллического синтетического алмаза типа СТМ «Алмазот». Выращивание монокристаллов алмазов осуществлялось на многопуасонных аппаратах высокого давление и высокой температуры (ВДВТ) методом температурного градиента в интервале температур 1400-1600 С при гидростатическом давлении 5,5-6,0 ГПа. Рост кристаллов типа усеченный октаэдр осуществлялся в условиях термодинамической стабильности алмаза путем кристаллизации углерода, растворенного в расплавленной металлической фазе на алмазной затравке. Из выращенных буль, типа усеченный октаэдр ориентации 001, путем распиливания по плоской сетке куба, шлифования и полирования рабочих поверхностей, перпендикулярных ориентации 001, изготавливались подложки. Далее подложки подвергались суперфинишной механической обработке с шероховатостью Ra ≤ 1нм на специально разработанной виброполировальной установке [4]. Химическая очистка поверхности включала десятиминутное травление подложек в кипящей 40% щелочи КОН и промывку

в деионизованной воде. Для изготовления экспериментальных образцов УФ-детекторов были отобраны подложки, удовлетворяющие основным требованиям: ориентация (001), отсутствие сколов, графитизации, царапин, внутреннее напряжение 1 и 2 – го порядка, параллельность базовых граней не хуже 30 мин.

Известно, что алмазу присущи большая плотность упаковки атомов в решетке, высокая поверхностная энергия их связи в кристалле и, соответственно, незначительные эффекты диффузии и внедрения Эти свойства алмаза обуславливают принципиальные трудности при металлизации и нанесения омических контактов к нему. В общем случае эффективность УФ-детектора на алмазе определяется не только квантовой эффективностью и теплопроводностью, но и достижением минимального теплового и электрического сопротивления при нанесении металлических омических контактов на поверхность рабочей зоны алмазной подложки. При разработке адгезионно-активных к алмазу металлических покрытий, в первую очередь, необходимо учитывать тот факт, что значительную степень смачивания алмаза обнаруживают элементы, которые достаточно интенсивно химически взаимодействуют с ним – образуют карбиды, растворяют углерод, диффундируют внутрь твердой фазы Для нанесения металлического покрытия на алмазную пленку использовался метод многослойной тонкопленочной металлизации, при чем основной упор был сделан на покрытие Cr-Cu-Ni в силу высокой адгезионной стойкости и электропроводности, низкого теплового сопротивления на границе алмаз-металл, своей дешевизны, доступности материалов и эксплуатационных характеристик. Измеренные значения теплопроводности металлизированных алмазных подложек находились на уровне 800-900 Вт/м К. Для создания УФ-детекторов использовали покрытия Cr-Cu-Ni со встречно-штырьевой структурой электродов на поверхности алмазной подложки. Исходными данными для разработки топологии и конструкции УФ-детектора были размеры подложки 5х5х1мм. Размер поля был выбран величиной 1 мм по всему периметру подложки. Соответственно активная зона для расположения встречно-штырьевых электродов (ВШЭ) структуры составила 3х3 мм. Ширина металлических контактов 100 мкм, период следования 100 мкм. По расположению штырей была выбрана двухштырьевая конструкция металлизации. Разварка выводов от алмазной подложки осуществлялась алюмиевым проводом диаметром 0,35 м на установке УЗ сварки ЭМ4200. Нанесение контактов осуществлялось на установке ВН 71П2. Рабочая фотоприемная часть УФ- детектора приведена на рисунке 1.

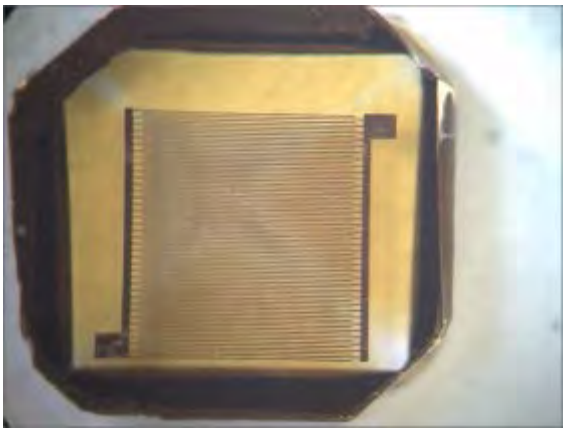


Рисунок 1 – Фотоприемная часть УФ-детектора на алмазной подложке с размерами 5,0х5,0 мм

Исследования временных и энергетических характеристик фотодетектора осуществлялось с использованием 4-й гармоники (λ = 266 нм) импульсного лазера АИГ: Nd^{3+} в режиме модуляции добротности с длительностью импульса 5 нс по полуширине и энергией 0,5 мДж. Кинетика откликов УФ-детектора на лазерный импульс при напряжении смещения 20 В приведена на рисунке 2.

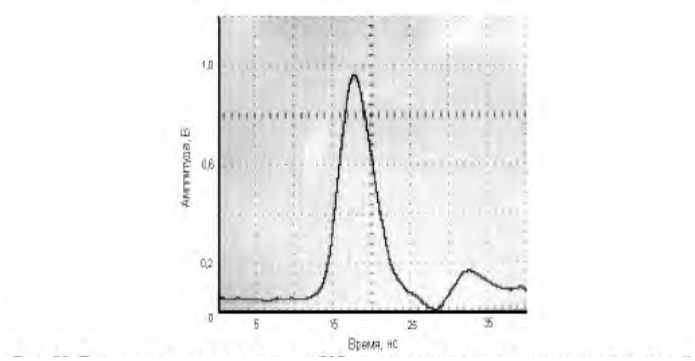


Рисунок 2 – Импульсная характеристика УФ-детектора от излученбия 4-ой гармоники излучения импульсного АИГ:Nd^{3+} (λ=266 нм), масштаб по горизонтали 5 нс/дел.

Амплитуда сигнала на выходе детектора 0,9 В, длительность переднего фронта около 2 нс, форма сигнала воспроизводит форму (и длительность) лазерного импульса. В условиях большого сигнала зависимость уровня сигнала на выходе фотоприемника от напряжения смещения линейна. Наблюдалась высокая амплитудная и временная долговременная стабильность импульсов на выходе УФ-детектора. Увеличение энергии импульсов излучения и повышение температуры алмазной структуры при импульсном токе до 50 А не приводило к искажению формы зарегистрированного импульса, что является косвенным подтверждением высокой электропроводности и теплопроводности раздела металл (Cr-Cu-Ni) – алмаз (СТМ «Алмазот»).

1. Природные алмазы России. / Под ред. В.Б. Кваскова/ – М.: Полярон, 1997. - 304 с.
2. Ральченко, В. Г., Конов А.В. CVD–алмазы в электронике // «Электроника». – М.; - 2007. - № 4.- С.58 - 67.
3. Шаронов Г.В, Большаков А.П., Ральченко В.Г., Казючиц Н.М., .Петров С.А.. Ультрафиолетовые детекторы на основе эпитаксиальных алмазных пленок, выращенных на монокристаллических алмазных подложках методом газофазного синтеза.//Журнал прикладной спектроскопии. – 2010. – Т.76, № 5. – С. 714-719.
4. Шаронов Г.В., Петров С.А. Суперфинишная полировка алмазных подложек для эпитаксиальных технологий // Инженерно-физический журнал. – 2011, - Т.84, - №5, - С. С.1100-1103

УДК 621.317: 621.3.08

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ВАХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА В-422

Романов И.А., Зайков В.А., Климович И.М.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из самых информативных характеристик полупроводниковых приборов (ПП), позволяющей оценивать их электрические параметры является вольт-амперная характеристика (ВАХ). С помощью ВАХ можно прогнозировать поведение ПП при различных электрических воздействиях, делать вывод о его работоспособности, идентифицировать неизвестные полупроводниковые элементы [1]. Применение современных микропроцессорных средств позволяет автоматизировать процесс снятия ВАХ, что в свою очередь дает возможность быстро определять точные параметры исследуемых ПП при минимальном участии оператора в процессе измерения.

Существует большое количество методов измерения ВАХ, которые применимы для конкретного типа ПП. Например, в работе [1] предлагается метод импульсного снятия ВАХ с устранением саморазогрева ПП, искажающего истинные ВАХ ПП.

В настоящей работе предлагается автоматизированный метод регистрации ВАХ двухполюсников, рассчитанный на широкий спектр ПП или приборных структур. Метод позволяет снимать ВАХ высокоомных и высокоемкостных ПП, может использоваться для регистрации динамических вольт-амперных характеристик, позволяет контролировать процесс формовки структур [2]. Преимуществами данного метода являются дешевизна и простота реализации.

Цифровой блок В-422, входящий в систему измерения ВАХ включает в себя двухканальный осциллограф и одноканальный генератор переменного напряжения. Генератор, реализованный на цифро-аналоговом преобразователе, позволяет формировать сигналы различной формы (гармонической, треугольной, прямоугольной) в диапазоне частот от 100 мкГц до 10 кГц, и диапазоне напряжений ±10В. Минимальная нагрузка, допускаемая на выходе генератора 1кОм. Цифровой прибор В-422 подключается к компьютеру через USB порт. Программа “Осциллограф” осуществляет возможность сохранения осциллограмм в текстовый файл.

На рис. 1 приведена электрическая схема установки. Принцип работы установки заключается в следующем. Переменное напряжение с генератора подается на соединенные последовательно ПП или приборную структуру и резистор R (рис. 1).

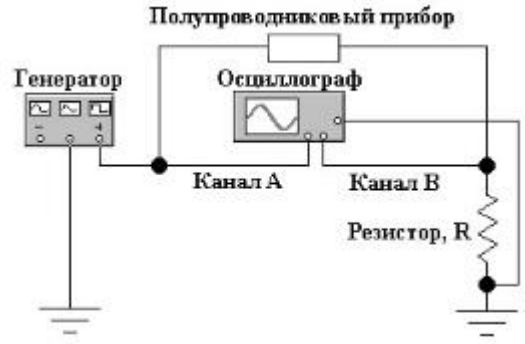


Рисунок 1 – Электрическая схема установки для снятия ВАХ ПП и приборных структур

Канал А осциллографа подключается к выходу генератора. Каналом В регистрируется напряжение на резисторе R. Для регистрации ВАХ необходимо знать ток и напряжение на ПП в текущий момент времени. Напряжение на ПП получают путем вычитания из напряжения генератора напряжение на резисторе. Ток, протекающий через ПП, определяется по величине сопротивления резистора и напряжения на нем. В результате регистрируют две зависимости тока и напряжения от времени: $I_{ПП}(t)$ и $U_{ПП}(t)$. Путем исключения времени можно построить ВАХ ПП или приборной структуры.

Одним из недостатков метода является шумовая компонента сигнала. Усреднение осциллограмм по нескольким выборкам (периодограммам) позволяет устранить бóльшую часть шума. Для реализации метода подают периоди-

ческий сигнал длительностью N периодов. После записи осциллограммы весь сигнал разрезается на N равных частей и усредняется. Этот метод позволяет увеличить отношение сигнал/шум в N раз. Недостатком метода является слишком длительное воздействие переменного напряжения на ПП, что приводит к его разогреву. Повышение частоты сигнала генератора помогает избавиться от разогрева ПП. Однако, наличие емкости ПП на больших частотах приводит к уменьшению сопротивления ПП и появлению гистерезиса ВАХ.

Метод был апробирован на приборной структуре ITO / SiN_x / Si-n / Al, где ITO - прозрачный электрод на основе оксида индия-олова, SiN_x - нестехиометрический нитрид кремния, Si-n кремниевая подложка n типа, Al нижний алюминиевый омический контакт. Данная структура обладает большим сопротивлением и емкостью порядка 10 нФ. Сопротивление резистора (рис. 1) составляло величину 2,0 кОм. Для расширения диапазонов измерения напряжения и тока к выходу генератора подключался усилитель (не показан на рис. 1), что принципиально не изменяло электрическую схему измерений. Осциллограммы снимались при воздействии на структуру гармонического напряжения частотой 5 Гц. Шумы устранялись усреднением по 50-ти выборкам. Длительность процесса измерения (осциллограммы) составила 10 с. Измерения проводились при комнатной температуре. Нагрева полупроводниковой структуры в процессе измерений не наблюдалось. Погрешность измерений не превышала 1 %.

На рис. 2 показаны осциллограммы напряжений на приборной структуре (кривая 1) и резисторе (кривая 2) сразу после измерений.

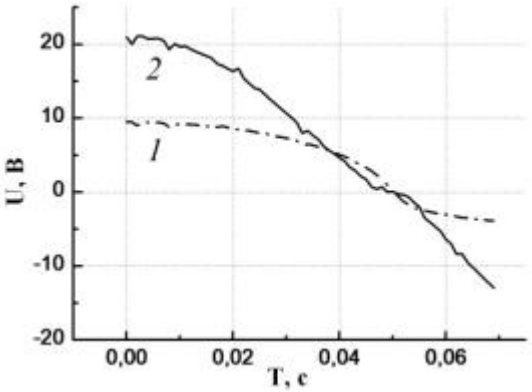


Рисунок 2 – Осциллограммы на приборной структуре ITO / SiNx / Si-n / Al (1) и на резисторе (2)

Осциллограммы, полученные после усреднения и фильтрации, приведены на рис. 3.

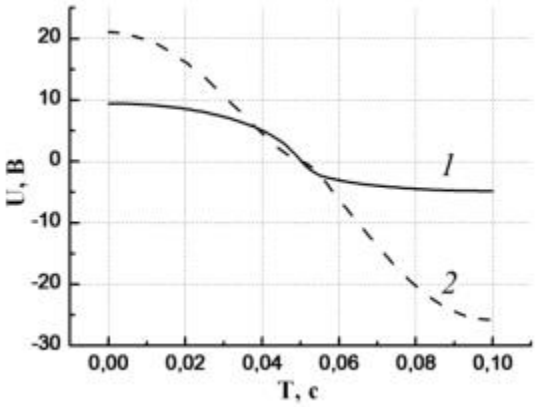


Рисунок 3 – Осциллограммы рис. 2 после усреднения и фильтрации

Для цифровой обработки осциллограмм были использованы средства Matlab, Origin Pro.

На рис. 4 представлена, полученная из данных рис. 3 путем исключения времени, ВАХ структуры ITO / SiN_x / Si-n / Al. Прямая ветвь ВАХ соответствует отрицательному потенциалу на ITO контакте относительно Al контакта.

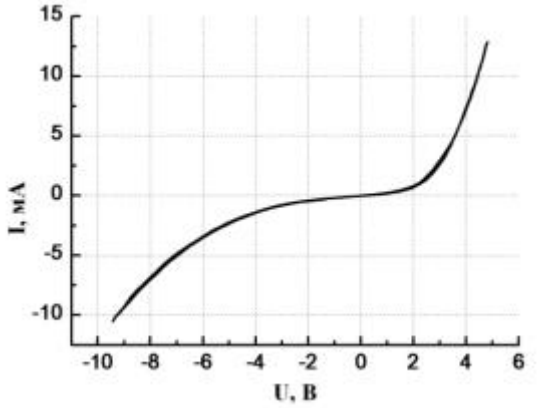


Рисунок 4 – ВАХ структуры ITO/SiNx/Si-n/Al

Представленная на рис. 4 зависимость практически совпала с результатами измерений на данной структуре, выполненными в ГЦ "Белмикроанализ" НПО "Интеграл" на аттестованной установке HP 4061A semiconductor/component test system.

Отметим, что при постоянном уровне шумов погрешность измерений зависит от отношения сопротивлений резистора и структуры, следовательно, целесообразно использовать резистор R с сопротивлением близким к сопротивлению структуры, но при этом следует учесть, что увеличение сопротивления резистора приводит к уменьшению диапазона прикладываемого к структуре напряжения.

Таким образом, в настоящей работе предложен и апробирован автоматизированный метод регистрации ВАХ, рассчитанный на широкий спектр ПП и приборных структур.

1. Бондаренко А.Ф. Способ автоматизированного снятия вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / А.Ф. Бондаренко, Е.А. Ермоленко // Техн. электродинамика. Тем. выпуск "Проблемы современной электротехники". – 2010. – Ч. 2. – С. 126–129.

2. Дирнлей, Дж. Электрические явления в аморфных пленках окислов / Дж. Дирнлей, А. Стоунхэм, Д. Морган // Усп. Физ. наук. – 1974. – Т. 112. – Вып. 1. – С. 83–126.

УДК 621:53.08

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД

Воробей Р.И.[1], Гусев О.К. [1], Тявловский А.К.[1], Тявловский К.Л.[1], Свистун А.И.[1], Шумский А.Э.[1], Жуковский П.В.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Люблинский технический университет, Люблин, Республика Польша

В технологических установках обработки жидких продуктов, и использующих жидкие технологические среды для изменения свойств продукта и санитарной мойки трубопроводов и емкостей, основная информация о состоянии установки содержится в значениях концентрации растворов различных типов, их объема и температуры. Технологическая установка обработки жидких сред образована коммутируемой протяженной (до сотен метров) сетью трубопроводов и накопительных емкостей, по которым перекачиваются растворы различных типов и концентрации. В разные моменты времени по одним и тем же узлам системы могут перекачиваться растворы различных типов с заранее неопределёнными параметрами типа раствора, концентрации, температуры, состава смеси растворов нескольких типов. Результаты идентификации типа раствора и измерения его концентрации используются в системе коммутации потоков жидких сред путем управления состоянием клапанов и насосных станций. Для технологических процессов с использованием жидких сред характерны необходимость реализации контроля в реальном масштабе времени и недопустимость смешивания жидких сред разного типа и/или продукта из-за ошибок управления, что приводит к экономическим потерям, экологическим или техногенным катастрофам.

При измерении концентрации по проводимости раствора, протекающего через какой-либо узел технологической установки требуется идентифицировать тип раствора [1, 2], так как и концентрационная и температурная зависимости от проводимости существенно различаются для разных растворов (рисунок 1). Эта проблема устраняется при использовании односигнальной модели многопараметрических измерений [3] и применении особенностей потенциодинамических характеристик для электродных датчиках, и частотных характеристик жидкостного витка – для трансформаторных датчиков [4]. Однако такое решение пригодно только для контроля чистых растворов и продуктов, но не их смесей, так как в этом случае отдельный датчик не имеет возможности определить тип формируемой смеси в ходе реакции и долю непрореагировавшего раствора.

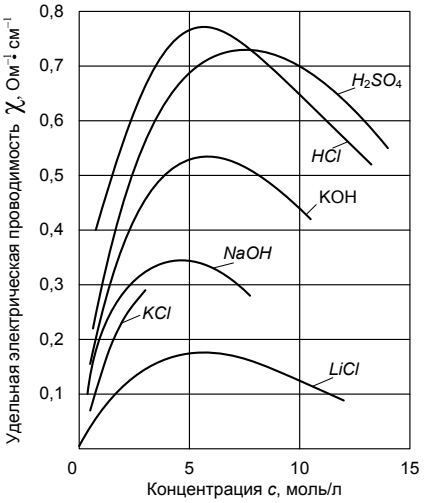


Рисунок 1 – Зависимость удельной электрической проводимости технологических растворов от их концентрации

Тем не менее, и в этом случае представляется возможным определить состояние технологической установки обработки жидких технологических сред. Система контроля установки образована рядом датчиков, установленных в базовых узлах установки, и представляет собой пространственно-распределенную информационную систему. Причем для контроля состояния установки и учета продукта, расхода реагентов и воды применяются расходомеры, а на накопительных емкостях устанавливаются дискретные и пропорциональные датчики уровня жидкости [2]. При передаче этих данных в центральный блок обработки измерительной информации это позволяет определить, например для случая смешения двух растворов в емкости, массы m_1 и m_2 смешиваемых реагентов R_1 и R_2, собранных из разных частей технологической установки, массовые доли (концентрации) реагентов, массу m_3

вещества R_3, образовавшегося после реакции, массы $m_{1.2}$ и $m_{2.2}$ реагентов R_1 и R_2 после реакции, причем один из реагентов прореагирует полностью, и масса одного из реагентов $m_{j.2} = 0$.

Каждый из технологических процессов с применением жидких сред использует ограниченный набор растворов (реагентов) и продуктов с заранее определенными допустимыми концентрациями. Также ограничено и число типов реакций и получаемых растворов в результате смешивания исходных реагентов. Поэтому возможно получение набора зависимостей проводимости прореагировавших смесей от массовой доли веществ подобно таковым зависимостям для чистых растворов (рисунок 1). В результате становится возможно определение состояния установки обработки жидких сред для любых совокупностей растворов и смесей. Однако определение состояния узла установки, содержащего смесь растворов и прореагировавших реагентов, выполняется расчетным методом на основе ряда разнородных измерений концентрации, массы, уровня жидкости, температуры, и, вследствие этого, характеризуется большей погрешностью.

Например, решение задачи нейтрализации отработанных растворов щелочи и кислоты предполагает обеспечение требуемого значения *pH*, приведенного к нормальным условиям. При этом функция управления технологической установки описывается выражением

$$pH = f(m_{щ}, C_{щ}, m_{к}, C_{к}, T) \in 7{,}5 \pm 1{,}5,$$

где $m_{щ}$, $m_{к}$ – массы смешиваемых растворов щелочи и кислоты; $C_{щ}$, $C_{к}$ – массовые доли (концентрации) щелочи и кислоты, %; T – температура раствора.

Приведенное выражение является моделью показателя pH результата смешивания водных растворов кислот и щелочей, в которой в качестве информативных параметров выступают величины $m_{щ}$, $m_{к}$, $C_{щ}$, $C_{к}$..

Массовые доли щелочи $C_{щ}^{\Sigma}$ и кислоты $C_{к}^{\Sigma}$ в собранных водных растворах определяются кондуктометрическими концентратомерами, а их массы $m_{щ}$ и $m_{к}$ – промышленными расходомерами. На основе полученной измерительной информации осуществляется расчет показателя *pH* смеси или других параметров смешиваемых растворов, необходимых для автоматического управления достижением заданного значения *pH*.

При этом результирующая погрешность измерений показателя *pH* смеси растворов щелочи и кислоты объединяет четыре составляющие, соответствующие четырем измерительным каналам системы

$$\Delta pH = \Delta C_{К} * \Delta m_{К} * \Delta C_{Щ} * \Delta m_{Щ}$$

На рисунке 2 графически представлены результаты численного расчета допускаемых значений погрешностей измерений концентраций $\Delta C_{к}$ и $\Delta C_{щ}$ при различных значениях $m_{к}$, $m_{щ}$ для одного из практически важных случаев нейтрализации стоков растворов азотной кислоты HNO_3 ($M_{к}$ = 63) и едкого натра $NaOH$ ($M_{щ}$ = 40), используемых при санитарной обработке технологического оборудования, трубопроводов и стеклянной тары предприятиями пищевой промышленности. Рабочие растворы кислоты и щелочи в этих применениях имеют концентрации от 0,8 до 1,5 %. Исходя из нормативных требований к стокам промышленных предприятий, моделирование проведено для $pH = 7{,}5$, $\Delta pH = 1{,}5$ и температуры 25 °С.

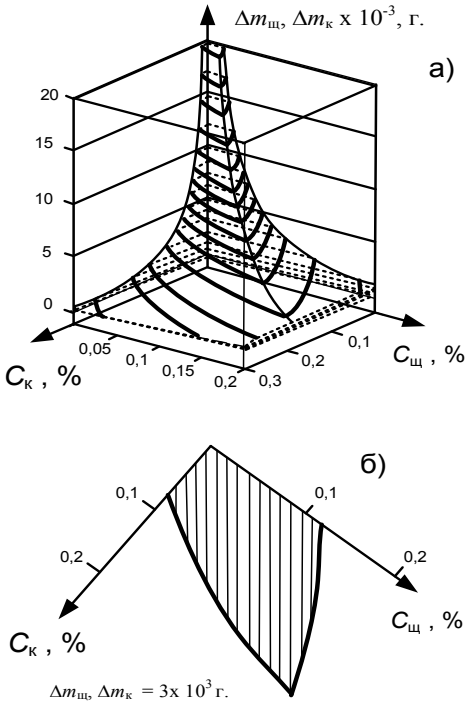


Рисунок 2 – Изменение области допускаемых значений концентраций Ск и Сщ., при различных значениях предела допускаемого значения абсолютной погрешности измерений масс $m_к$, $m_щ$

Значение нормируемой погрешности измерения концентраций $C_{к}$ и $C_{щ}$ должно соответствовать координате плоскости, перпендикулярной оси $C_{к}$, $C_{щ}$ и расположенной по погрешности ниже обеих поверхностей $C_{к}$ ($m_к$, $m_{щ}$) и $C_{щ}$ ($m_к$, $m_{щ}$) одновременно. Сечение поверхностей указанной плоскостью ограничивает область допускаемых значений величин $m_к$, $m_{щ}$, при которых возможна реализация метода контроля показателя *pH* с заданной точностью.

1. Худякова Т. А., Крешков А. П. Теория и практика кондуктометрического и хронокондуктометрического анализа / Под общей редакцией А. П. Крешкова. – М.: Химия, 1976. – 304 с.
2. Брусиловский Л. П., Вайнберг А. Я. Приборы технологического контроля в молочной про-

мышленности: Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 288 с

3. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О.К. Гусев [и др.]; под общ. ред. О.К. Гусева. – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
4. Гусев О.К. Идентификация растворов в технологических трубопроводах на основе явления динамической поляризации // Измерительная техника. – 2004. – № 7. – С. 60 – 62.

Секция 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 681.327, 006.320

STANDARDIZATION OF 3D PRINTING

Barkouskaya N.
Belorussian National Technical University
Minsk, Belarus

Additive manufacturing (or three-dimensions printing) is the process for making three-dimensions objects of any shapes from the basis of the digital multi-dimensions model or other electronic data source through additive processes in which successive layers of material are laid down under computer control.

AM technologies found applications starting in the 1980s in product development, data visualization, rapid prototyping, and specialized manufacturing.

Although this technology exists since the 1980s, it has developed only since the 2010s. So we can say, that this technology is new for us.

This industry developed slowly until nowadays. Industrial production roles within the industries achieved significant scale for the first time in the early 2010s. Since the start of the 21st century there has been a large growth in the sales of AM machines, and their price has dropped substantially.

Nowadays 3D printing technology has been successfully used in many fields of science or others. For example in the construction and building field it is possible to print building blocks for houses or other construction, in medicine now it is possible to print human tissues to replace diseased one.

Applications are many, including architecture, construction, industrial design, automotive, aerospace, military, engineering, dental and medical industries, biotech, fashion, footwear, jewelry, eyewear, education, geographic information systems, food, and many other fields.

However 3D manufacturing isn't industrial only in our days. We can also use it for personal needs, because many companies develop home-version 3D printers.

Implantation of the technology occurs rapidly, and in the result the technology is fast developing now.

Of course, according to foresaid the technology needs in correct standards, but some problems and unsolved questions exist in this field.

Different organizations of standardization solve some problems of it.

The EU project SASAM, the Support Action for Standardisation in Additive Manufacturing, has delivered a.o. a Roadmap for standardisation activities.

This Roadmap document is open to the AM community for review in order that all relevant stakeholders have the opportunity to express their suggestions for improvement, identify other essential recommendations or provide general comments. This input will be progressed and will result in a next version of the Standardization Roadmap.

SASAM project is quite advanced and, consequently, the first standards on AM are being established by the working groups (WG) created by the project: terminology, materials and processes and tests methods.

Operating under the IEEE-ISTO is the Printer Working Group (PWG). Aware of the growing popularity of 3D printing, the PWG sent an action item to their Semantic Model Work Group to reach out to 3D printer manufacturers and make them aware of the work the PWG has done. The PWG has been dealing with networking printers for some time and believes that their PWG Semantic Model could help 3D printer (and device) manufacturers properly anticipate some of the problems with networking printers.

In other words, a 3D printer printing over a network may be read differently by a piece of software than a 3D printer connected directly to a computer.

The European Committee for Standardization (CEN) goes about deciding standards within various industries, the Support Action for Standardization in Additive Manufacturing group gets into the gritty of AM.

Working with standards organization ASTM International and the CEN, SASAM is hosting a number of conferences in the world of 3D printing to get together and make sense of everything in tediously explicit detail so that, if ever there's a question about what a term means or how a process works.

A memorandum of understanding (MOU) agreement with ASTM International to develop standards for the AM community in the United States of America.

At the international level at the moment standardization additive manufacturing technologies

involved in ISO / TC 261 "Additive Manufacturing".

Canada is one of 18 countries involved with the ISO/TC 261 international standardization committee on additive manufacturing, set up in 2011 by the International Organization for Standardization (ISO).

The quickly changing nature of these activities has shown a need for standards governing a number of aspects, including terms and definitions, process chains (materials and software), testing procedures, quality parameters for primary materials and end products, and other basics. Canada mirror committee members will be able to follow, comment on, and influence standardization projects and proposals made by the international committee. They can do this on the Canadian e-forum provided by the Standards Council of Canada, allowing for opinions, concerns, and positions of Canada mirror committee members to be forwarded to the ISO/TC 261 international committee.

This document contents:

- ISO/TC 261/JAG. ISO/TC 261 - ASTM F42 Steering group on JWG activities;
- ISO/TC 261/WG 1 Terminology;
- ISO/TC 261/WG 2 Methods, processes and materials;
- ISO/TC 261/WG 3 Test methods;
- ISO/TC 261/WG 4 Data and Design.

More recently, they were joined by Canadian Technical Committee SMC.

Of course, there are many others standards.

Through the activities of ISO have been developed Standards such as:

- ISO/ASTM 52915:2013. Standard specification for additive manufacturing file format (AMF);
- ISO/ASTM 52921:2013. Standard terminology for additive manufacturing – Coordinate systems and test methodologies;
- ISO 17296-4:2014. Additive manufacturing -- General principles -- Part 4: Overview of data processing;
- ISO 17296-3:2014. Additive manufacturing -- General principles -- Part 3: Main characteristics and corresponding test methods;
- ISO 28219:2009. Packaging -- Labelling and direct product marking with linear bar code and two-dimensional;
- ISO / CD 17296-1 "Additive manufacturing. General principles. Part 1: Terminology";
- ISO / DIS 17296-2 "Additive manufacturing -- General principles -- Part 2: Overview of process categories and feedstock";
- ISO / PRF 17296-3 "Additive Manufacturing. General principles. Part 3: Main characteristics and corresponding test methods";
- ISO / PRF 17296-4 "Additive manufacturing -- General principles -- Part 4: Overview of data processing";
- ISO / ASTM 52915: 2013 "Standard specification for the file format used in the production of the additive (Additive Manufacturing File Format; AMF) version 1.1";
- ISO / ASTM 52921: 2013 "Standard Terminology for additive manufacturing. Coordinate systems and test methodologies."

Additive Manufacturing File Format (AMF) is an open standard for describing objects for additive manufacturing processes such as 3D printing. The official ISO/ASTM 52915:2013 standard is an XML-based format designed to allow any computer-aided design software to describe the shape and composition of any 3D object to be fabricated on any 3D printer. Unlike its predecessor STL format, AMF has native support for color, materials, lattices, and constellations. An AMF can represent one object, or multiple objects arranged in a constellation. Each object is described as a set of non-overlapping volumes. Each volume is described by a triangular mesh that references a set of points (vertices). These vertices can be shared among volumes. An AMF file can also specify the material and the color of each volume, as well as the color of each triangle in the mesh. The AMF file is compressed using the zip compression format, but the ".amf" file extension is retained.

Then there is the problem in the standardization of materials for the 3d printers and devices. For different printers the materials and its parts are very different too. It's the problem, because the details of one printer model is incompatible for others. In the case of damage it's impossible to replace damaged parts. Again they are expensive.

Now the problems of standardization are solving. Many documents have already published, but big part of it is in progress.

1. SASAM home page, available at: [http://www.sasam.eu/]
2. ISO/ASTM 52915:2013, available at: [http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=629086]
3. ISO-Standarts, available at: [http://www.iso.org/iso/home/standards.htm]
4. Excell, Jon. "The rise of additive manufacturing". The engineer. Retrieved 2013-10-30.
5. "3D printing: 3D printing scales up". The Economist. 2013-09-07.
6. ISO/ASTM, AMF-standard, available at: [http://www.astm.org/Standards/ISOASTM52915.htm]

УДК 004.056:006

IDENTIFICATION OF RISKS, THEIR ANALYSIS AND EVALUATION

Kupreeva G.
Belorussian National Technical University
Minsk, Belarus

Every organization is continuously exposed to an endless number of new or changing threats and vulnerabilities that may affect its operation or the fulfillment of its objectives. Identification, analysis and evaluation of these threats and vulnerabilities are the only way to understand and measure the impact of the risk involved and hence to decide on the appropriate measures and controls to manage them. It has to be noted, that Risk Assessment is a process that in many cases is not (at least not adequately) performed, even if Risk Management is implemented.

For insurance companies, the performance of Risk Assessments is in general of significant importance and in particular concerning IT risks for current and potential customers.

This is the phase where threats, vulnerabilities and the associated risks are identified. This process has to be systematic and comprehensive enough to ensure that no risk is unwittingly excluded. It is very important that during this stage all risks are identified and recorded, regardless of the fact that some of them may already be known and likely controlled by the organization.

The first step is to generate a comprehensive list of sources of threats, risks and events that might have an impact on the achievement of each of the objectives as identified in the Definition of Scope and Framework. These events might prevent, degrade, delay or enhance the achievement of those objectives.

In general, a risk can be related to or characterized by

- it's origin (e.g. threat agents like hostile employees or employees not properly trained, competitors, governments etc.);
- a certain activity, event or incident (i.e. threat) (e.g. unauthorized dissemination of confidential data, competitor deploys a new marketing policy, new or revised data protection regulations, an extensive power failure);
- its consequences, results or impact (e.g. service unavailability, loss or increase of market/profits, increase in regulation increase or decrease in competitiveness, penalties, etc.);
- a specific reason for its occurrence (e.g. system design error, human intervention, prediction or failure to predict competitor activity);
- protective mechanisms and controls (together with their possible lack of effectiveness) (e.g. access control and detection systems, policies, security training, market research and surveillance of market);
- time and place of occurrence (e.g. during extreme environmental conditions there is a flood in the computer room).

Good quality information and thorough knowledge of the organization and its internal and external environment are very important in identifying risks. Historical information about this or similar organizations (competitors or not) may also prove very useful as they can lead to safe predictions about current and evolving issues that have not yet faced by the organization.

Identifying what may happen is rarely sufficient. The fact that there are many ways an event can occur makes it important to study all possible and significant causes and scenarios. Methods and tools used to identify risks and their occurrence include checklists, judgments based on experience and records, flow charts, brainstorming, systems analysis, scenario analysis and systems engineering techniques.

In selecting a risk identification methodology, the following techniques should be considered:

- team-based brainstorming where workshops can prove effective in building commitment and making use of different experiences;
- structured techniques such as flow charting, system design review, systems analysis, Hazard and Operability studies, and operational modeling;
- for less clearly defined situations, such as the identification of strategic risks, processes with a more general structure such as 'what-if' and scenario analysis could be used.

Risk analysis is the phase where the level of the risk and its nature are assessed and understood. This information is the first input to decision makers on whether risks need to be treated or not and what is the most appropriate and cost-effective risk treatment methodology.

Risk analysis involves:

- thorough examination of the risk sources;
- their positive and negative consequences;
- the likelihood that those consequences may occur and the factors that affect them;
- assessment of any existing controls or processes that tend to minimize negative risks or enhance positive risks (these controls may derive from a wider set of standards, controls or good practices selected according to a an applicability statement and may also come from previous risk treatment activities).

The level of risk can be estimated by using statistical analysis and calculations combining impact and likelihood. Any formulas and methods for combining them must be consistent with the criteria defined when establishing the Risk Management context. This is because an event may have multiple consequences and affect different objectives, therefore consequences and likelihood need to be combined to calculate the level of risk. If no reliable or statistically reliable and relevant past data is available (kept for e.g. an incident database), other estimates may be made as long as they are appropriately communicated and approved by the decision makers.

Information used to estimate impact and likelihood usually comes from:

- past experience or data and records (e.g. incident reporting),
- reliable practices, international standards or guidelines,
- market research and analysis;
- experiments and prototypes;
- economic, engineering or other models;
- specialist and expert advice.

Risk analysis techniques include:

- interviews with experts in the area of interest and questionnaires;
- use of existing models and simulations.

Risk analysis may vary in detail according to the risk, the purpose of the analysis, and the required protection level of the relevant information, data and resources. Analysis may be qualitative, semi-quantitative or quantitative or a combination of these. In any case, the type of analysis performed should, as stated above, be consistent with the criteria developed as part of the definition of the Risk Management context.

A short description of the above-mentioned types of analysis types is as follows in qualitative analysis, the magnitude and likelihood of potential consequences are presented and described in detail. The scales used can be formed or adjusted to suit the circumstances, and different descriptions may be used for different risks.

Qualitative analysis may be used:

- as an initial assessment to identify risks which will be the subject of further, detailed analysis;
- where non-tangible aspects of risk are to be considered (e.g. reputation, culture, image etc.);
- where there is a lack of adequate information and numerical data or resources necessary for a statistically acceptable quantitative approach.

In semi-quantitative analysis the objective is to try to assign some values to the scales used in the qualitative assessment. These values are usually indicative and not real, which is the prerequisite of the quantitative approach.

Therefore, as the value allocated to each scale is not an accurate representation of the actual magnitude of impact or likelihood, the numbers used must only be combined using a formula that recognizes the limitations or assumptions made in the description of the scales used.

It should be also mentioned that the use of semi-quantitative analysis may lead to various inconsistencies due to the fact that the numbers chosen may not properly reflect analogies between risks, particularly when either consequences or likelihood are extreme.

In quantitative analysis numerical values are assigned to both impact and likelihood. These values are derived from a variety of sources. The quality of the entire analysis depends on the accuracy of the assigned values and the validity of the statistical models used.

Impact can be determined by evaluating and processing the various results of an event or by extrapolation from experimental studies or past data. Consequences may be expressed in various terms of:

- monetary impact criteria;
- technical impact criteria;
- operational impact criteria;
- human impact criteria.

As it is made clear from the above analysis, the specification of the risk level is not unique. Impact and likelihood may be expressed or combined differently, according to the type of risk and the scope and objective of the Risk Management process.

During the risk evaluation phase decisions have to be made concerning which risks need treatment and which do not, as well as concerning on the treatment priorities. Analysts need to compare the level of risk determined during the analysis process with risk criteria established in the Risk Management context (i.e. in the risk criteria identification stage). It is important to note that in some cases the risk evaluation may lead to a decision to undertake further analysis.

The criteria used by the Risk Management team have to also take into account the organization objectives, the stakeholder views and of course the scope and objective of the Risk Management process itself.

The decisions made are usually based on the level of risk but may also be related to thresholds specified in terms of:

- consequences (e.g. impacts);
- the likelihood of events;
- the cumulative impact of a series of events that could occur simultaneously.

UDK 616.24-003.661-07-08(075.9)

ELECTROMAGNETIC METHOD FOR THE DIAGNOSIS OF CHRONIC DISEASES

Reznikova M., Antoniuk V.
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine

Introduction. One of the conditions of the sovereignty of any country is its energy independence. Ukraine has a large reserves of coal, and coal industry was, is, and will stay the energy supplier of the country. However, mining has the most dangerous, hazardous and difficult working conditions. Machines used in mining create a huge amount of coal dust and many other negative factors causing occupational diseases. This is enhanced by mine microclimate (high humidity, high temperature, etc.). Prevalence of pulmonary anthracosis («coalminer's lungs», «black lung») among workers is on average 12%, and among those over 20 years engaged in coal mining, about 50%, so the incidence of anthracosis is of great socio-economic and medical importance [1,2].

The most common types of anthracosis diagnostic is radiography and spirography.

In general, X-ray is a radiation, which can cause ionization of even the most complex molecules and atoms of the human body. Clinical studies have shown that a radiological examination of the chest is equal to the amount of radiation exposure that affects a person within ten days of ordinary life. And one X-ray result can not provide information on the state of the patient.

A more informative method is to perform a tomography, but this scan is also based on the variative absorption of harmful X-rays by different tissues of the body.

Spirography is not harmful to the body and studies lung function by measuring pulmonary respiratory volumes. In conducting spirometry patient inhales and exhales on his own to determine how easily the lungs can cope with their work, but spirography data do not provide information about what exactly is the reason for the change of the respiratory volume of a lung.

The aim of the study is to find an alternative method of anthracosis diagnosis.

Main part. In this paper we investigate the extent of «black lung» disease using electromagnetic control, because coal has a much higher conductivity than a tissue.

The method of electromagnetic diagnostic is harmless. It will allow us to measure the accumulation of coal dust in the lungs periodicaly, to assess the threat to health in the dynamic and to take a timely action to treatment.

To measure the concentration of dust in the lungs of a man through the electromagnetic field, we need to place a coil winding on one side of the chest and coil, which is the receiver, on the other side.

Current spreads in human body mainly through the blood and lymph vessels, muscles, membranes of nerve trunks. Resistance of the skin, in turn, is determined by the condition: thickness, age, humidity, etc. This causes difficulties measuring the electrical resistance of living biological systems. Electrical conductivity of individual sections of the body located between the electrodes, superimposed directly on the surface of the body, essentially depends on the resistance of the skin and subcutaneous layers.

Electrical conductivity of tissues and organs depends on their functional state and thus can be used as a diagnostic indicator. For example, inflammation when cells swell, decreases section of intercellular connections and increases electrical resistance; physiological phenomena that cause sweating, accompanied by increasing skin conductivity, etc.

Tissues of the body can conduct not only constant, but also alternating current. Experiments showed that in this case the force of the current that passes through biological tissue, is behind the applied voltage phase. Thus, the capacitive impedance is bigger than inductive.

Hence, to model the electrical properties of biological tissues we can use resistors that have active resistance, and capacitors as a capacitive resistance carriers [3].

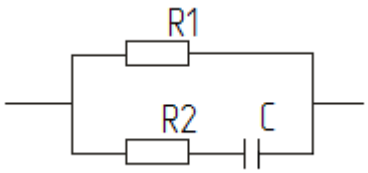


Figure. 1 – Body tissues equivalent circuit diagram

A commonly used equivalent circuit diagram of body tissues model is a circuit consisting of resistors and capacitors (Fig. 1), frequency dependence (dispersion) impedance of which is close to the frequency dependence of the impedance of biological tissue. In this scheme, the frequency dependence of the impedance (1) may be at L = 0:

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(C \cdot \omega)^2}} \qquad (1).$$

This combination of resistors and capacitors can be taken as an equivalent circuit diagram of body

tissues. Frequency dependence of the impedance of the equivalent electric circuit corresponds to the general course of experimental impedance depending on frequency. It is important to note that electricity intensity and hence the dielectric coefficient remains constant.

Eddy current methods are based on an analysis of external electromagnetic field interaction with the electromagnetic field of eddy currents induced in the electrically excitable coil control facility. The density of eddy currents in the object depends on the geometric and electromagnetic parameters of the object and the relative position of the measuring transducer and the object. As a rule inductive transducer coils (one or more) are used. Sinusoidal or pulsed current from coils converter creates an electromagnetic field that thumps eddy currents in electroconductive object. The electromagnetic field of eddy currents affect the coils transducer, resulting in them changing their EMF or full electric resistance. Registering the voltage at the terminals of the coil or their resistance we can receive information about the properties of the object and the transducer [4].

To calculate how EMF depends on the amount of dust that was in the lungs of the human body, we propose a model that includes three main areas:

- body tissues zone on the top of the lungs with the total thickness of 4.5 cm;
- lung zone (initially lungs without other substances), the distance from the front to the rear of the lungs is 16 cm;
- lung area that is contaminated with coal dust.

Coal is deposited in the lungs in the lower part. But for calculation and the mathematical model we suggest that coal is deposited in the lung and occupies the entire plane of section. In large concentrations of carbon in the lungs layer thickness increases.

Implementation of electromagnrtical method is achieved with the use of this block diagram (Fig. 2).

Sinusoidal signal from basic frequency generator (G) goes to the parametric amplifier (PA). Parametric amplifier sets such parameters of winding that cause resonance, so if the inductance parameters chosed correcpondingly to capacity, there is a resonance voltage, ie the voltage will increase by 3-5 times.

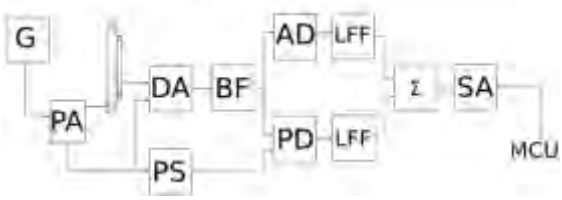


Figure 2 – Block diagram of the device for early antracosis diagnosis

Differential amplifier (DA) provides a circuit voltage subtraction from information signal measuring winding. To improve selective channel processing, output signal is fed to the band filter (BF), which is set according to a generator frequency. Given the small output signal band filter provides increased noise suppress and prevents the inclusion in the measuring channel interference from surrounding environment.

For phase detector (PD) operation there is a phase shifter (PS), that provides compensation for phase output. Also diagram includes an AM detector circuit (AD). On the output of each detector low frequency filter (LFF) is set to smooth the fluctuations.

Both signals are summed by the adder (Σ), thus improving the sensitivity factor twofold. With the scaling amplifier (SA) signal is increased to the desired level and transmitted to the digital processing unit.

The obtained results allow to create a database that can be used for grouping teaching samples, i. e. the group of so-called rules, in order to timely assess the extent of disease.

Conclusion. According to statistics, more than 20% of the working population is at antracosis risk group. However, existing methods of diagnosis have significant drawbacks. Therefore, a new method for electromagnetic control for antracosis diagnostic is proposed. The method is harmless and more informative. Implementation of this method will allow to reveal metallic inclusions in the body for individual selection of dental materials and diagnostic galvanosis and so on.

1. Izmerov, N.F. Professyonalniye zabolevaniya: Guide for doctors: 2 volumes / N.F. Izmerov - Moscow.: Medicina, 1996 - Vol.2. - 480 p.
2. Fedoruschenko, L.S. Immunologicheskye aspecty vozdeystviya promushlennyh aerosoley na organizm cheloveka / L.S. Fedoruschenko // Zdorovie i okruzhayuschaya sreda: Sat. scientific. magazine. Vol. 7 - Minsk- 2006 - pg. 789-796.
3. Dorofeev, A.L. Izmereniya tolshiny pokrytiy s pomoshchju vyhrevuh tokov. / A.L. Dorofeev, G.A. Lyubashev, U.Y. Ostanyn - Moscow: Mashinostroenie, 1975 - 64 p.
4. Klyuev B. Pribory nerazrushayuscheho kontrolya materialov i izdeliy. Handbook. In 2 volumes / B. Klyuev - Moscow: Mashinostroenie, 1986 Vol. 2 - 352 p.

УДК 620.179.14

МЕТОД ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЛЮМЕНА

Баковец Н.В, Скумс Д.В, Тарасова О.Б.
Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время большинство метрологов, работающих в области оптической радиометрии, склоняются к тому, что в оптической радиометрии основной или базовой величиной должен считаться поток излучения (мощность) и его единица ватт (Вт), и соответственно в фотометрии – световой поток и его единица люмен. Это мнение получило значимую поддержку после развития и широкого распространения метода детекторного подхода при создании эталонов в области оптической радиометрии, и МКО принял его в качестве основополагающего.

Световой поток — величина, образующаяся от потока излучения Φ_e при оценке излучения по его действию на стандартного фотометрического наблюдателя МКО. Для условий дневного зрения

$$\Phi_v = K_m \int \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \cdot V(\lambda), \qquad (1)$$

где $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ — спектральное распределение потока излучения;

$V(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность;

K_m — калибровочный множитель.

Абсолютный метод воспроизведения единицы светового потока источников излучения коррелирован с методом воспроизведения единицы силы света — канделы. Данный метод основан на применении фотометрического шара и внешнего по отношению к нему эталонного источника излучения.

Схематично абсолютный метод воспроизведения единицы светового потока проиллюстрирован на рисунке 1.

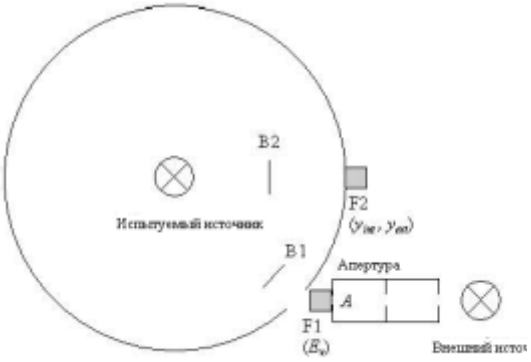


Рисунок 1 — Принцип измерения светового потока абсолютным методом

Эталонный световой поток создается внешним источником и попадает внутрь фотометрического шара через отверстие с калиброванной апертурой, а его значение определяется освещённостью, создаваемой на входной апертуре. Для изотропного точечного источника излучения световой поток

$$\Phi_{эт} = E_v A, \qquad (2)$$

где E_v — освещенность на входной апертуре, лк;

A — площадь входной апертуры, м^2.

Фотометр, с помощью которого измеряется освещенность на входной апертуре, обеспечивает прослеживаемость от единицы освещенности люкс к единице светового потока — люмену.

При освещении внутренней поверхности фотометрического шара внешним источником излучения, фотометр измеряет сигнал $y_{эт}$. Если перекрыть внешний источник излучения и включить внутренний (калибруемый) источник излучения, сигнал будет равен $y_{кал}$. Зная значение светового потока $\Phi_{эт}$, приписанное внешнему (эталонному) источнику излучения, световой поток $\Phi_{кал}$ калибруемого источника излучения будет

$$\Phi_{кал} = f\Phi_{эт}\frac{y_{кал}}{y_{эт}}, \qquad (3)$$

где f – поправочный коэффициент. Для идеальной системы $f = 1$. Для реальной системы f отличен от единицы и должен быть определен в результате исследований. Поправочный коэффициент учитывает:

– неоднородность отклика внутреннего покрытия фотометрического шара. Возникает из-за неоднородности напыления отражающего материала; наличия крепежной арматуры и защитных экранов внутри фотометрического шара; зазора между половинами, составляющими фотометрический шар и т. п. Особенно важно определить поправочный коэффициент для внешнего источника, поскольку он освещает небольшую часть внутренней поверхности фотометрического шара.

– пространственную коррекцию для калибруемого источника. Распределение излучения источника влияет на равномерность освещения внутренней поверхности фотометрического шара (пространственное распределение большинства эталонных ламп светового потока примерно однородно, поэтому определять данный фактор для каждой лампы в отдельности не требуется).

– спектральное рассогласование источников излучения. Необходимо производить поправку, если спектральные распределения эталонного и

калибруемого источников излучения различаются. Это вызвано тем, что отражающее покрытие внутренней поверхности фотометрического шара может иметь зависимость коэффициента отражения от длины волны падающего излучения, а спектральная чувствительность фотометра отличаться от относительной световой эффективности V(λ).

– угол падения излучения. Отражательная способность внутренней поверхности фотометрического шара зависит от угла падения излучения. Внешний источник освещает внутреннюю поверхность фотометрического шара под углом 45°, в то время как свет от внутреннего источника излучения падает по нормали.

– неравномерность освещения входной апертуры. Освещённость, создаваемая внешним источником, измеряется в центре входной апертуры. Однако, распределение ее по всей поверхности апертуры неравномерно, что может быть вызвано дрожанием тела накала лампы. Кроме того, поскольку расстояние между внешним источником излучения и входной апертурой относительно невелико, падающий волновой фронт надо рассматривать как сферический, что вызывает падение освещенности к краям апертуры.

Установка для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы светового потока (рисунок 1) состоит из: фотометрического шара; внешнего (эталонного) источника излучения; внутреннего (калибруемого) источника излучения; эталонного фотометра для измерения освещённости F1; фотометра F2, входящего в состав фотометрического шара и прецизионной входной апертуры A. Экраны B1 и B2 предотвращают попадание прямого света от внешнего источника излучения на фотометр F2.

Фотометрический шар, как правило, состоит из двух половин, стыкуемых в вертикальной плоскости. Одна половина фиксируется неподвижно, вторая может двигаться для доступа внутрь. Фотометрический шар снабжен пневматическим устройством открытия/закрытия. Цикл открытия/закрытия практически не влияет на воспроизводимость результатов измерения. На внутреннюю поверхность фотометрического шара нанесено светоотражающее покрытие с коэффициентом отражения более 80 %.

На расстоянии 100 мм от внешнего источника излучения находится блок калиброванных диафрагм в светонепроницаемом корпусе из анодированного алюминия. Все внутренние поверхности диафрагм должны быть покрыты светопоглощающим материалом черного цвета. Первые две диафрагмы с внутренним отверстием диаметром 50 мм предназначены для защиты от рассеянного света. Последняя диафрагма имеет калиброванное внутреннее отверстие. Диаметр внутреннего отверстия этой диафрагмы может меняться. В набор входят апертуры 30, 40 и 50 мм диаметром. Апертуры сопряжены с эталонным фотометром F1, чтобы обеспечить постоянство расстояния. Внешний источник и блок апертуры монтируются неподвижно на закрепленном оптическом столе.

Спектральная чувствительность приемников излучения в фотометрах F1 и F2 соответствует относительной световой эффективности V(λ). Оба фотометра термостабилизированы. Внешний фотометр F1 имеет входную апертуру диаметром 8 мм. Внутренний фотометр F2 так же имеет входную апертуру диаметром 8 мм, но она закрыта диффузором. Фототок проходит через низкошумный преобразователь ток-напряжение и измеряется цифровым вольтметром.

Заключение

В рамках программы по развитию национальной эталонной базы Республики Беларусь в БелГИМ проводятся работы по созданию эталона единицы светового потока источников излучения – люмена. В состав эталона, отдельным блоком, входит устройство для калибровки фотометрических шаров. Данное устройство предназначено для периодических исследований свойств эталона с целью подтверждения его метрологических характеристик.

1. Doctoral Dissertation Jari Hovila “New measurement standards and methods for photometry and radiometry”, Helsinki University of Technology.
2. Total luminous flul measurement intercomparison of two collection geometries: the integrating sphere and the integrating hemisphere. McKee, G.A., Labsphere; Ohkubo K., Otsuka Electronics Co; Oshima,K., Otsuka Electronics Co; Cariou, N. Labsphere.
3. Detector-Referenced Sphere Photometry for Industry. Yoshi Ohno and Rolf S. Bergman. National Institute of Standards and Technology.
4. NIST Facility for Total Spectral Radiant Flux Calibration. Yoshi Ohno and Yugin Zong. National Institute of Standards and Technology.
5. Integrating Sphere Theory for Measuring Optical Radiation. Kazuaki OHKUBO, Otsuka Electronics.
6. CIE. Publ.№ 53. Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers. – Vienna, CIE Central Bureau.
7. Игнатьев, В.И. Международная регламентация требований по оценке качества радиометрических и фотометрических приборов. Сборник научных трудов ВНИИФТРИ.

УДК 006.322

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Барковская Н.И., Кваша Ю.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Стандартизация является одним из самых приоритетных направлений в области информационных технологий. В данное время этот вопрос актуален, так как проблемы стандартизации важно решить для снижения затрат на эксплуатацию и обслуживание информационных систем.

В некоторых областях информационных технологий наличие стандартов является необходимостью для их существования. В клиентском программном обеспечении, серверном программном обеспечении и серверных решениях и операционных системах, сетевом оборудовании и так далее наличие стандартов играет большую роль. Они имеют большое значение — обеспечивают возможность разработчикам программного обеспечения использовать данные и специальные программы, осуществлять экспорт или импорт данных и так далее.

Сегодня следование стандартам – одно из основных условий развития бизнеса в информационной среде.

Однако соблюдение международных требований влечет за собой серьезные инвестиции, в том числе и переобучение специалистов. Остро стоит вопрос нехватки специалистов, которые готовы непосредственно принимать участие в переводе международных стандартов и предоставлять их национальному органу по стандартизации в качестве проектов национальных стандартов, заставляет уже сегодня поднимать вопрос о необходимости стимулирования и поощрения деятельности специализированных курсов, проведение семинаров для всех заинтересованных сторон. Разнородность физических и программных интерфейсов в системе «Пользователь – Компьютерное устройство – Программное обеспечение» требует непрерывного согласования программно-аппаратного обеспечения и обучения квалифицированных кадров.

Для решения этой проблемы разрабатываются так называемые профессиональные стандарты — это ориентир по профессиям в области информационных технологий. Это результат систематизации, идентификации и определения профессий как традиционных, так и динамично формирующихся в бурно развивающейся отрасли информационных технологий.

При этом каждый профессиональный стандарт – это нормативный документ рекомендательного характера, отражающий минимально необходимые требования к профессии, должностные обязанности, профессиональные компетенции, требования к уровням образования, стажу работы и сертификации в соответствии с квалификационными уровнями. Применение на практике профессиональных стандартов позволяет оценить и повысить уровень качества профессиональной деятельности IT-специалистов в соответствии с требованиями экономики.

Производство вычислительной и телекоммуникационной техники развивается быстрыми темпами, что влечет за собой проблему совместимости данных устройств.

Единое информационное пространство формируется на основе единых информационно-вычислительных систем и сред. Проблема построения единого информационного пространства вызвана разнородностью технических средств вычислительной техники, которая решается с помощью создания физических интерфейсов. Программные интерфейсы создаются для обеспечения однородности программируемых сред, реализуемых на конкретных вычислительных устройствах.

Базовым понятием при использовании стандартов стало понятие «открытая система» - это спецификация, которая поддерживается открытым процессом, направленная на адаптацию новой технологии. В настоящее время подавляющее большинство информационных систем всех классов и назначений строятся на основе технологии открытых систем. Ее суть состоит в использовании стандартных интерфейсов между разнородными аппаратными и программными компонентами систем. Внедрение принципов открытых систем на всех этапах жизненного цикла проектирования ИС базируется на стандартизации информационных технологий, являющейся интеграционным механизмом и мощным средством управления процессами развития информатизации. Решением проблемы открытости систем может служить стандартизация интерфейсов систем и протоколов взаимодействия между компонентами.

Необходимость стандартизации разработки программного обеспечения наиболее подробно описана в стандарте ISO/ IEC 12207 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств».

Методологическую основу открытых систем составляют эталонные модели, которые определяют структуру множества базовых специфика-

ций. Построение эталонных моделей открытых систем предполагает разработку архитектурных спецификаций. Главная задача, которую решают архитектурные спецификации, выражается в наличие сводного каталога базовых спецификаций, использующего систему статусов для жизненного цикла стандартов и определения условий их использования. Они носят публичный характер документов в области разработки и использования архитектур, в большом числе случаев — публичные процедуры их подготовки и верификации.

Задача построения целостной, непротиворечивой и системно развивающейся модели построения архитектурных спецификаций в полной мере до сих пор не решена.

В настоящее время наиболее прогрессивными разработками в рамках деятельности международных организаций по стандартизации являются разработки Совета по стандартизации в области информационных и коммуникационных технологий, который реализует наиболее комплексный подход к проблематике в области архитектурных спецификаций и объединяет опыт многих международных и национальных организаций по стандартизации.

Дальнейшее развитие стандартизации в области информационных технологий нашло выражение в создании функциональной среды открытых систем и построению соответствующей модели, которая должна охватить стандарты и спецификации по обеспечению возможностей в информационной среде.

Базовые спецификации являются основными блоками, из которых конструируются конкретные открытые технологии. Они относятся к понятию общедоступных спецификаций — PAS. Хотя PAS не являются международными стандартами, организацией ISO разработана специальная процедура принятия PAS в качестве международных стандартов, что открывает возможность использования PAS в качестве элементов стандартизованных профилей наравне с международными стандартами. Современная база открытых систем представляет собой сложную систему структурных, функциональных, поведенческих и лингвистических моделей, взаимосвязанных между собой, а также вспомогательных процедур и средств.

Необходимо отметить динамичность развития всей этой системы, которая поддерживается целенаправленной деятельностью развитой инфраструктуры специализированных международных институтов. Это достигается благодаря тому, что, несмотря на свою техническую сложность, область спецификации информационных технологий легко систематизируется, что важно при использовании спецификаций в процессе разработки новых открытых систем и технологий.

Проблема стандартизации в IT-сфере состоит в долгом пути следования стандарта от момента обоснования, разработки и принятия на соответствующем уровне до непосредственных исполнителей.

Еще один аспект – это неполнота и противоречивость действующих стандартов.

Важнейшим условием развития отрасли является использование международных стандартов и лучшего мирового опыта.

В современной практике Республики Беларусь используют серии стандартов:

- ISO/IEC 27000 — серия международных стандартов, включающая стандарты по информационной безопасности опубликованные совместно Международной Организацией по Стандартизации (ISO) и Международной Электротехнической Комиссии (IEC);
- ISO 15408 – в основном специализируются на безопасности информационных систем;
- ISO 15408 – общие критерии оценки безопасности информационных технологий.

Они регламентируют различные области, начиная от информационной безопасности до сертификации средств защиты информации.

Другим аспектом стандартизации является то, что при использовании однородных решений и однородной техники создаются центры компетенции, создаётся современная единая база знаний.

Значительный эффект от внедрения корпоративных стандартов в области информационных технологий заключается в поднятии общего уровня автоматизации, повышении качества ИТ-инфраструктуры.

В области информационных технологий приоритеты должны быть отданы формированию профиля взаимодействия открытых систем для создания, развития и совершенствования информационных систем и сетей.

Тенденции развития средств вычислительной техники и расширения электронных форм коммуникаций требуют применения информационных технологий при разработке стандартов, рассмотрении и голосовании по проектам стандартов в электронном формате через информационные сети, а также создания стандартов принципиально новой формы представления информации - специализированных программ для персональных компьютеров.

1. Режим доступа:[http://normdocs.ru/]
2. Режимдоступа:[http://iso27000.ru/standarty/]

УДК 330.131.7

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕГРАЦИИ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В СИСТЕМУ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ

Бирюк В.В.[1], Серенков П.С.[2]
[1]*Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь*
[2]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

Поскольку социальная ответственность касается потенциального и существующего воздействия решений и деятельности организации, основное внимание уделяется поведению в рамках постоянной, повседневной деятельности организации. Социальная ответственность включается в качестве неотъемлемой составляющей основной стратегии организации с определенными ресурсами, ответственностью и подотчетностью на всех соответствующих уровнях организации, наподобие, например, системы менеджмента качества или системы управления охраной труда. Социальная ответственность отражается при принятии решений и учитывается при реализации деятельности.

Существенное влияние на воздействие решений или деятельности организации могут оказать ее взаимоотношения с другими организациям.

Для подготовки информационной основы интеграции социальной ответственности в общую систему менеджмента организации определяются ключевые характеристики социальной ответственности, способствующие определению применимых проблем социальной ответственности внутри каждой основной темы стандарта ISO 26000 [1], а также выявлению заинтересованных сторон деятельности организации.

Для определения того, какое отношение ключевые характеристики имеют к социальной ответственности, применимых проблем социальной ответственности внутри каждой основной темы, а также выявлению заинтересованных сторон в организации проводится анализ, учитывающий рассмотрение таких факторов, как:

- тип, назначение, характер операций и размер организации;
- территориальные области, в которых функционирует организация, включая:
- законодательные требования, регулирующие деятельность организации;
- социальные, экологические и экономические характеристики областей деятельности;
- любая информация о результативности организации в области социальной ответственности за предыдущие периоды;
- характеристики рабочей силы или работников организации, включая рабочую силу, привлеченную на условиях подряда;
- объединения, в которых участвует организация, включая:
- деятельность, относящуюся к социальной ответственности, предпринимаемую этими организациями;
- международные требования, относящиеся к социальной ответственности, продвигаемые этими организациями;
- собственная миссия, видение, ценности, принципы и кодекс поведения организации;
- озабоченность внутренних и внешних заинтересованных сторон, относящаяся к социальной ответственности;
- структура организаций;
- существующая в организации цепочка создания добавленной стоимости.

При рассмотрении тем по социальной ответственности и определении связанных с ними проблем, организация руководствуется следующими принципами социальной ответственности: подотчетность, прозрачность, этичное поведение, интересы заинтересованных сторон, верховенство закона, соблюдение международных норм поведения, соблюдение прав человека.

Включение социальной ответственности в качестве ключевого элемента в стратегии организации посредством ее интеграции в системы менеджмента, процедуры, процессы и поведение при принятии решений, определяет курс организации посредством превращения социальной ответственности в неотъемлемую часть своих политик, организационной культуры, стратегий, структур и деятельности.

Интеграцию социальной ответственности следует осуществлять, исключая разработку и внедрение отдельных документированных процедур, использую уже внедренные. Например, в системе менеджмента качества, это будут следующие процедуры: управление записями, управление документацией, внутренние аудиты, управление несоответствующей продукцией, корректирующие и предупреждающие действия.

Для того чтобы определить область охвата своей социальной ответственности, выявить применимые проблемы и установить свои приоритеты, организации следует рассмотреть следующие основные темы в области социальной ответственности: организационное управление, права человека, трудовые практики, окружающая среда, добросовестные деловые практики, проблемы, связанные с потребителями, участие в жизни сообществ и их развитие.

При интеграции в существующую систему менеджмента организации целесообразно на базе имеющихся в организации методик, определить методику оценки значимости тем и проблем в

области социальной ответственности.

Например, интерпретируя предложенную в [2] единую методику оценки рисков и экологических аспектов, получим, что значимость (Зн) для определенных организацией проблем в области социальной ответственности можно рассчитывать по формуле:

Зн = Ст + (Д · Оз · Оо),

где Ст - степень воздействия проблемы на заинтересованные стороны и устойчивое развитие общества,

Д - потенциальное влияние действия или бездействия на проблему,

Оз - уровень озабоченности заинтересованных сторон относительно проблемы,

Оо - определение общественных ожиданий относительно ответственного поведения применительно к такому воздействию.

Критерий Ст оценивается по двадцатибальной шкале:

0 баллов – проблема не влияет на заинтересованные стороны и устойчивое развитие;

10 баллов – существуют предпосылки влияния проблемы на заинтересованные стороны и устойчивое развитие;

15 баллов - проблема актуальна для заинтересованных сторон и влияет на устойчивое развитие;

20 баллов - проблема оказывает острое влияние на заинтересованные стороны и устойчивое развитие.

Критерий Оз оценивается по пятибальной шкале:

1 балл - заинтересованные стороны крайне озабочены данной проблемой,

2 балла - заинтересованные стороны озабочены данной проблемой,

3 балла – заинтересованные стороны частично озабочены данной проблемой,

4 балла - заинтересованные стороны показывают интерес к данной проблеме,

5 баллов - заинтересованные стороны не озабочены данной проблеме.

Критерий Д оценивается по четырехбальной шкале:

1 балл – проблема останется на прежнем уровне,

2 балла – проблема может стать актуальной,

3 балла - проблема может стать «острой»,

4 балла - проблема может стать «острой» в ближайшее время.

Критерий Оо оценивается по трехбальной шкале:

1 балл – общественные ожидания неявные;

2 балла - общественные ожидания конкретны;

3 балла - общественные ожидания настойчивы.

Категория значимости проблемы устанавливается следующим образом:

значимая – от 25 баллов и выше,

возможная – от 16 до 25 баллов,

незначимая - менее 16 баллов.

Для решения значимых проблем составляется Программа по социальной ответственности, которая может являться частью бизнес-плана либо Плана по качеству организации. Управление мероприятиями по реагированию на проблемы осуществляется путем использования: руководств по системам менеджмента; программы по социальной ответственности; коллективного договора; планов мероприятий по экономии материальных, топливно-энергетических ресурсов, снижению воздействий на окружающую среду; другой действующей документации в организации, например, в рамках разработанных и внедренных систем менеджмента, таких как системы менеджмента качества, системы управления охраной труда, системы управления окружающей средой, разработанных в соответствии с требованиям СТБ ISO 9001, СТБ 18001, СТБ ИСО 14001 и других.

Систему мониторинга и измерений результативности элементов социальной ответственности, видов деятельности, оказывающих существенное влияние на заинтересованные стороны, выявленных проблем и установленных целей в области социальной ответственности следует рассматривать методом процессного подхода системы менеджмента.

1. ISO 26000-2010 Руководство по социальной ответственности; Введ. 01.11.10 [Электрон. ресурс] - Режим доступа: http://www.ksovok.com/doc/iso_fdis_26000_rus.pdf
2. Бирюк В.В., Прохорович А.А. Единая методика оценки рисков и экологических аспектов для организации приборостроения // Приборостроение - 2012: Тез. докл. межд. науч., Минск, 21-23 ноября 2012г. / БНТУ. – Минск, 2012. – С. 132-133.

УДК 621.385.833

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ЧИП-КОНДЕНСАТОРОВ

Вертинский Ю.Ф.[1], Волкенштейн С.С.[1], Петухов И.Б.[1], Хмыль А.А.[2]
[1] *ОАО «ПЛАНАР-СО», Минск, Республика Беларусь*
[2] *УО «БГУИР», Минск, Республика Беларусь*

Эксплуатационная надёжность (длительный срок активной жизни, высокий показатель вероятности безотказной работы) радиоэлектронных и электронно-вычислительных модулей, входящих в состав устройств спецназначения, зависит от множества факторов. Решая труднейшую и первостепенную задачу радиационной стойкости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), применяемой в оборудовании, эксплуатируемом в экстремальных условиях, подразумевается, что качество сборки монтажных конструкций данной РЭА не вызывает нареканий. Однако опыт работы проведения неразрушающего контроля неразъёмных соединений и диагностики отказов модулей такого типа показывает, что зачастую не уделяется должного внимания качеству керамических чип-конденсаторов.

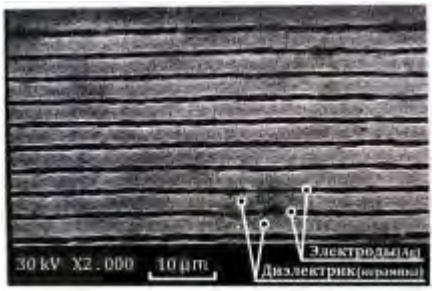


Рисунок 1– Рентгенограмма многослойной конструкции чип-конденсатора (фирма «Murata»)

Такая разновидность конденсаторов представляет собой сложную многослойную конструкцию из неразъёмных соединений «металл-диэлектрик» (рис. 1). Мировая технологическая тенденция увеличения ёмкости конденсаторов направлена на увеличение числа слоёв «металл-диэлектрик» с одновременным уменьшением толщины этих слоёв (рис. 2).

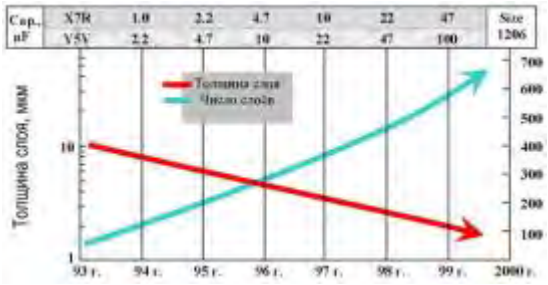


Рисунок 2 – Мировая тенденция увеличения ёмкости чип-конденсаторов (типоразмер 1206, керамика X7R и Y5V) (фирма «Murata»)

Выборочный контроль сплошности многослойной структуры чип-конденсаторов различных производителей (France, Taiwan, Japan, Mexico, UK, USA, Netherlands, Chech, Malayzia, Germany), поставляемых на рынок электронных компонентов РБ компанией Farnell (рис. 3), а также других производителей (No name, «Монолит» РБ, «Кулон» РФ), проводился лазерным фотоакустическим неразрушающим методом (ФАМ) [1].

Рисунок 3– Внешний вид и этикетка поставляемого компанией Farnell чип-конденсатора

Импульсное ($t_{имп}$=10нс) лазерное (λ=337нм, $P_{ср}$=3мВт) зондирование проводилось с шагом зондирования равным шагу сканирования $d_{зонд}=d_{скан}$= 50 мкм, чувствительность к нарушению сплошности – ≥5 нм. Лазерный фотоакустический отклик регистрировался, обрабатывался и визуализировался в виде 16-ти градационных цветных топограмм, на которых уровень максимальной сплошности отображается чёрным цветом, а пустоты – белым (рис. 4).

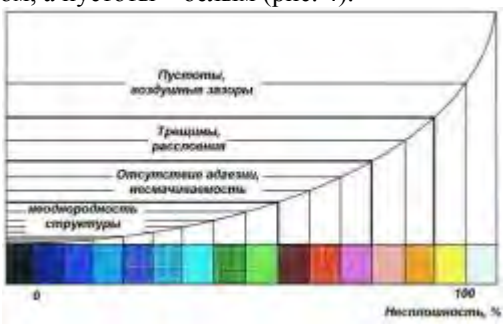


Рисунок 4 – Цветная 16-ти градационная шкала

Почти все зарубежные образцы оказались качественными. Гораздо больше претензий к качеству чип-конденсаторов отечественного производителя. Для сравнения ниже приведены типовые лазерные фотоакустические топограммы годных (рис. 5) и дефектных образцов

(рис. 6 a, b, c). Дефектные образцы отличаются несплошностью пакета многослойной конструкции «металл-диэлектрик» (различные степени расслоения, рис. 6 a), несплошностью внешних контактов, а также суммой этих двух вышеперечисленных дефектов (рис. 6 b, c), локализация которых топологически коррелирует с особенностью конструкции чип-конденсаторов.

Рисунок 5 – Этикетка, внешний вид (увеличено) и групповая лазерная фотоакустическая топограмма 4 качественных чип-конденсаторов (фирма «Murata»)

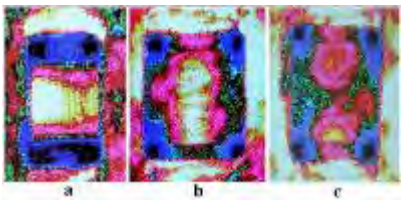


Рисунок 6 – Лазерные фотоакустические топограммы дефектных чип-конденсаторов

Рисунок 7 – Этикетка, внешний вид (увеличено) и лазерная фотоакустическая топограмма дефектного чип-конденсатора от японских производителей

Несплошность многослойной конструкции дефектных чип-конденсаторов может возникнуть как на стадии производственных технологических операций, так и в процессе деградации внутренней структуры вызванной релаксацией внутренних механических напряжений, химической эрозией, образованием прослоек химических соединений при отсутствии барьерного слоя, или его нарушении (перегрев не рассматривается). В связи с исследованием состояния барьерного слоя, было проведено определение количества Ni в конструкции чип-конденсаторов:

$$m_{Ni} = \frac{F_m}{\chi_g H \frac{dH}{dZ}},$$

где m_{Ni} – масса никеля в образце; F_m – магнитная сила, действующая на образец; χ_g – удельная магнитная восприимчивость никеля; H – напряжённость магнитного поля; $\frac{dH}{dZ}$ – градиент напряжённости магнитного поля. Измерения проводились в зоне изодинамичности ($\frac{dH}{dZ} = const$). В некоторых образцах (No name, «Монолит» РБ, «Кулон» РФ) никель не обнаружен.

Наличие в конструкции чип-конденсатора дефектов в виде пустот, расслоений усиливает эффект электрострикции в переменном электрическом поле, что запускает механизм механического разрушения, генерации паразитных гармоник. С данной проблемой столкнулись конструкторы высококачественной звуковоспроизводящей аппаратуры при исследовании влияния различных компонентов на качество звука [2]. На испытуемый конденсатор подавали синусоидальное напряжение U_1, исходя из выходного спектра (рис. 8) вычислялся нормированный коэффициент гармоник $K'_Г$ по формуле:

$$K'_Г = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{25} (U_k^2 \bullet \frac{k^2}{4})}}{U_1},$$

где U_1 – входное напряжение; U_k – напряжение k-той гармоники.

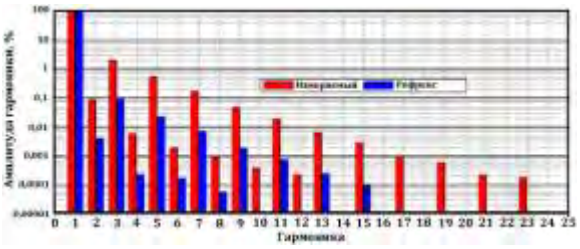


Рисунок 8 – Спектрограмма керамического конденсатора КМ-5 [К10-73] (класс Н90), $K'_Г$=6,1%

По результатам данного исследования был сделан вывод: не использовать керамические конденсаторы в тракте сигнала и питания. Для сравнения у пленочного конденсатора К78-19 (полипропилен) нормированный коэффициент гармоник $K'_Г$ = 0,0049%.

Электронные устройства класса **Н** (стандартный уровень качества для аппаратуры военного назначения) и класса **К** (наивысший уровень надёжности) в США создаются с применением компонентов с подтверждённой надёжностью с обязательным испытанием пассивных компонентов по методу SLAM^{TM} (растровая лазерная акустическая микроскопия).

1. Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Неразрушающие методы контроля качества монтажа полупроводниковых кристаллов в корпуса ИМС // Технологии в электронной промышленности. –№2. – 2011. – 18-22 с.
2. http://interlavka.narod.ru/stats/st_komponents.htm

УДК 681.586.773

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

Горбатюк О.О. [1], **Антонюк В.С.** [1], **Петренко С.Ф.** [2]
[1]*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина*
[2]*Научно-производственное предприятие «Лилея», Киев, Украина*

Развитие новейших технологий невозможно представить без миниатюризации, производства микродеталей и микрокомпонентов, создание измерительных систем высокой точности и надежности. При этом необходимы электромеханические системы, обеспечивающие получение механических смещений в несколько микрон с разрешением десятых долей нанометра. Для решения таких задач в приборостроении широкое распространение получили пьезоэлектрические двигатели [1].

Перемещения малых величин достигаются с помощью электромеханических преобразователей на основе обратного пьезоэлектрического эффекта - пьезоэлектрических приводов. Поскольку пьезоэлектрические двигатели базируются на элементах трения, главной проблемой повышения их надежности является технический ресурс, который в свою очередь напрямую зависит от собственного момента самоторможения.

Поэтому в качестве критериального параметра по исследованию ресурсных характеристик пьезоэлектрического двигателя выбран момент самоторможения пьезоэлектрического двигателя.

Реверсивные пьезоэлектрические двигатели, по сути, состоят из двух независимых двигателей однонаправленного вращения, акустически развязанных между собой. Такой двигатель имеет свойство вращать вал по часовой стрелке и наоборот. Это обеспечивается специфичностью конструкции, суть которой заключается в установке на одном валу двух фрикционно-развязанных приводов, каждый из которых работает только в одном направлении. Управление двигателем выполняется отдельно по двум цепям, каждая из которых соответствует развороту по - и против часовой стрелки [2].

Для экспериментальных исследований выбраны пьезоэлектрические двигатели реверсивного вращения типа PM-20RS [3]. Конструкция двигателя (рис. 1) предусматривает наличие энкодеров, с помощью которых контролируется частота каждого двигателя [4].

Работа реверсивного пьезоэлектрического двигателя основана на обратном пьезоэлектрическом эффекте, а именно на преобразовании электрической энергии в механическую. Конструкция реверсивных пьезоэлектрических двигателей (рис.1) включает два кольцевых пьезоэлектрических осциллятора 1, 2, один из которых установлен на основе 7, а другой на валу 9 через ультразвукоизолирующие прокладки. Каждый из осцилляторов включает кольцевой пьезоэлемент 8 (10), выполненный в виде кольцевого резонатора с радиальной формой колебаний. На торцевые поверхности пьезоэлементов нанесены электроды

1, 2 –пьезоэлектрический осциллятор; 3, 4 - волновая оболочка; 5, 6 – толкатели; 7 –основа; 8,10 - кольцевой пьезоэлемент; 9 – вал.

Рисунок 1 – Пьезоелектрический двигатель PM-20RS

Целью работы является изучение ресурса пьезоэлектрического двигателя процессов, путем исследования процесса износа происходящего в зоне фрикционного контакта элементов конструкции пьезоэлектрического двигателя.

Методика эксперимента. Для проведения єкспериментальных исследований разработан специальный стенд, который предполагал закрепление корпуса пьезодвигателя в специальной оправке установленной на валу электродвигателя и неподвижную фиксацию вала пьезодвигателя. С помощью считывателя оборотов фиксировали необходимое количество наработанных пьезодвигателем оборотов. Периодически, по достижению, 100 тысяч оборотов корпуса, фиксировали момент самоторможения пезодвигателя (*Мсам*), после чего счетчик обнулялся и установка запускалась снова. Исследовании проводили с частотой оборотов электродвигателя n=536 об/мин. Низкая скорость вращения корпуса исключала возникновение вибраций.

Механические перемещения ведомого органа (ротора) пьезодвигателя модели PM-20R осуществляется за счет работы толкателей установленных под углом с определенным механическим напряжением к его внутренней поверхности, создавая момент самоторможения – *Мсам*.

Исследования фрикционной пары «толкатель-ротор» пьезодвигателя модели PM-20R проведены как в штатном режиме так и при неработающем пьезоэлементе, с целью исключения влияния на фрикционную пару ультразвуковых колебаний. Таким образом, исследовали влияния сухого трения на износ трущихся поверхностей толкателей и ротора. Также проведены экспериментальные исследования с двигателями той же модели, при наличии ультразвуковых колебаний. Эксперимент продолжался до тех пор, пока момент самоторможения достигал *Мсам* = 0,2 кг·см, что означало утрату работоспособности пьезодвигателя.

Результаты эксперимента. Оценка технического состояния конструктивных элементов пьезоэлектрического двигателя показала, что в процессе работы пьезодвигателя образовывается металлическая мелкодисперсионная окалина, являющаяся продуктом стирания толкателей в условиях ультразвуковых колебаний и высоких температур.

В результате экспериментальных исследований пьезодвигателя модели PM-20R получены зависимости момент самоторможения – *Мсам* от количества наработанных оборотов – *n*. представлена на рисунке 2.

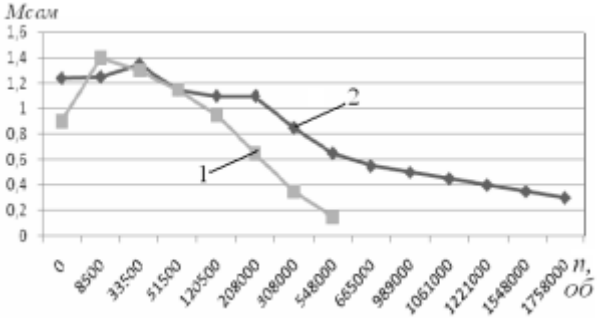


Рисунок 2 – Зависимость момента самоторможения от количества наработанных оборотов пьезодвигателя: 1 - сухое трение поверхностей трущихся элементов; 2 - с ультразвуковыми колебаниями.

Исследования пьезодвигателя в штатном режиме (фрикционная пара работала в условиях сухого трения и под действием ультразвуковых колебаний) показали плавное снижение момента самоторможения на протяжении всего цикла испытаний. При исследовании в условиях сухого трения (двигатель вращался в условиях сухого трения пары «толкатели-ротор») момент самоторможения в начальный период (процесс приработки) возрастал до величины *Мсам* = 1,4 кг·см, а затем снижался через каждые 100 тис. наработанных оборотов на 0,3 кг·см и после 600 тыс. оборотов достигал *Мсам* = 0,2 кг·см. Износ рабочих элементов пьезодвигателя происходил в два раза быстрее чем при работе в штатном режиме (рис.1).

Вывод Использование предложенной методика динамическое исследование ресурса пьезоэлектрического двигателя позволит оценить его надежность и технический ресурс. Как показали экспериментальные исследования при наработке около 18 млн. циклов момента самоторможения реверсивного пьезоэлектрического двигателя уменьшается с 1,4 кг·см до 0,2 кг·см.

Наличие ультразвуковых колебаний меняет характер износа контактирующих поверхностей толкателей и ротора пьезоэлектрического двигателя. При этом происходит равномерный износ толкателей, что позволяет прогнозировать работоспособность двигателя по изменению его момента самоторможения от количества наработанных циклов. Полученные результаты исследований позволяют определить зависимости КПД двигателя от момента самоторможения и усовершенствовать его ресурсные характеристики, обеспечив тем самым надежность и рациональность их использования.

1. Джагупов, Р.Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, систем контроля и управления: Справочник / Р.Г. Джагупов, А.А. Ерофеев // СПб.: изд-во Политехника, 1994. 608 с.
2. Горбатюк О.О. Дослідження ресурсних характеристик п’єзоелектричного двигуна / О.О. Горбатюк С.Ф. Петренко, // Вісник НТУУ “КПІ”: Приладобудування. – 2012. – № 44. – С. 105-111.
3. Петренко С.Ф. Пьезоєлектрический двигатель в приборостроении / Петренко С.Ф. – Киев: Корнийчук, – 2002. – 96 с.
4. Антонюк В.С. Пьезоэлектрические двигатели в современных технологиях / А.В. Бєлова, С.Ф. Петренко // Оборудование и инстумент для профессионалов.- 2008.– № 4. – С. 74–77.

УДК 681.518.3

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЕНСОРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Григорьян К.И., Соломахо В.Л.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современный уровень измерительной техники характеризуется:

- ростом точности измерений, и расширением диапазона измерений;
- расширением перечня измеряемых физических величин;
- увеличением производительности измерительных операций;
- автоматизацией измерений и, как следствие, максимальным устранением влияния оператора на процесс измерений.

Контрольно-измерительные операции становятся неотъемлемой частью процесса производства и, в значительной степени определяет качество выпускаемой продукции.

Следует отметить, что специфика современного производства, привела к необходимости решения измерительных задач, связанных с одновременным контролем различных параметров изделия, что потребовало обработки больших объемов информации, поступающих из различных источников.

Это стало одной из причин развития измерительных систем.

Измерительная система (ИС) понимается как совокупность, включающая измерительные и вычислительные компоненты, образующие измерительные каналы, а также вспомогательные устройства, функционирующая как единое целое [1].

ИС предназначены для решения следующих задач:

– получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных преобразований изменяющихся во времени величин, характеризующих это состояние;

– регистрации (индикации) результатов измерений и преобразования этих данных в выходные сигналы;

– обработки результатов измерений.

Измерительные системы являются симбиозом аппаратных средств и алгоритмов обработки измерительной информации. Поэтому проектирование ИС, и их применение требуют теоретического обоснования используемых алгоритмов. При этом благодаря наличию в составе ИС встроенных микроконтроллеров, возможна дальнейшая обработка сигнала измерительной информации с целью решения широкого спектра других задач, не являющихся чисто измерительными, в частности управление процессами, распознавание образов и др.

Классификация ИС может производиться по различным классификационным признакам, отражающим ее свойства.

В зависимости от функционального назначения (в зависимости от вида решаемых задач), ИС подразделяются на следующие классы:

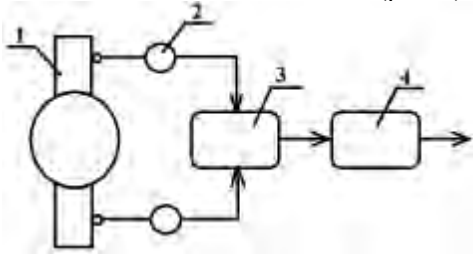
- измерительные системы;
- статистические измерительные системы;
- системы автоматического контроля;
- системы технической диагностики;
- системы распознавания образов;
- системы идентификации.

В настоящее время появилось понятие «мультисенсорная измерительная система», которое не определено в технических нормативных правовых актах.

В различных источниках авторы прибегают к понятию «мультисенсорные системы» и под ним понимают следующие разновидности измерительных систем: оптоволоконные мультисенсорные системы [2]; мультисенсорные системы распознавания газов [3]; мультисенсорные системы типа «электронный нос» [4]; мультисенсорные системы дистанционного контроля пространственного распределения температуры протяженных объектов; мультисенсорные системы геотехнического мониторинга и т.д.

Очевидно, что наиболее простым классификационным признаком, который может объединять все перечисленные выше измерительные системы в одну классификационную группу, является количество сенсоров в ИС.

В общем случае под мультисенсорными измерительными системами следует понимать системы, включающие в себя набор датчиков (сенсоров), блок сбора данных, в который поступает измерительная информация и блок обработки данных, который обрабатывает измерительную информацию и представляет ее в виде, пригодном для дальнейшего использования (рис. 1).



1 – объект контроля, 2 – датчики (сенсоры),
3- блок сбора и обработки данных,
4 – блок управления

Рисунок 1 – Структура мультисенсорной ИС

Таким образом все ИС можно разделить на моносенсорные ИС и мультисенсорные ИС. Моносенсорные ИС содержат один измерительный преобразователь, сигнал от которого поступает в блок обработки информации. В мультисенсорных ИС применяются несколько датчиков, которые могут в рамках системы формировать измерительную информацию тремя способами:

- последовательно (схема 1);

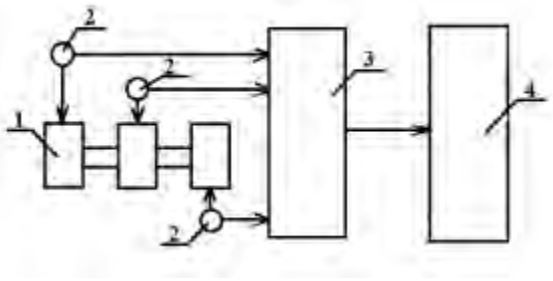


Схема 1

- параллельно (схема 2);

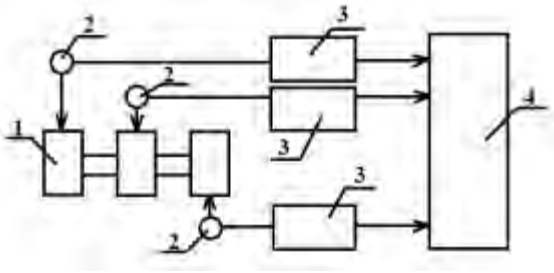


Схема 2

- параллельно-последовательно (схема 3).

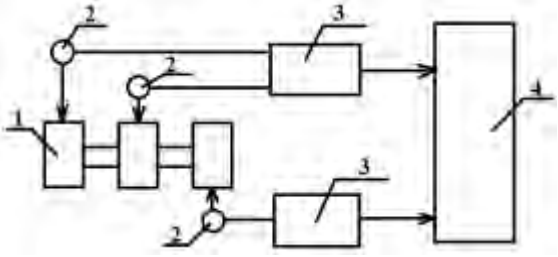


Схема 3

В случае последовательной подачи сигнала (схема 1) измерительная информация от датчиков 2 поступает в блок сбора данных 3, в котором осуществляется «суммирование» сигналов от нескольких датчиков. Затем интегрированный сигнал передается в блок управления 4 для выработки управляющего решения.

При параллельной подаче сигнала (схема 2), каждый датчик имеет свой информационный канал и ИС действует как моносенсорная система.

В случае реализации параллельно-последовательной схемы построения ИС будет наблюдаться комбинация первых двух случаев.

Важной проблемой, которую необходимо решать при использовании мультисенсорных ИС, является их метрологическое обеспечение.

В настоящее время ИС выпускаются изготовителем как законченные укомплектованные изделия, для установки которых на месте эксплуатации достаточно указаний, приведенных в эксплуатационной документации, в которой нормированы метрологические характеристики измерительных каналов ИС.

В связи с отсутствием методики нормирования точности датчиков, входящих в ИС, их комплектация проводится методом подбора, а подтверждение заявленной точности ИС осуществляется проведением тех или иных метрологических процедур, например метрологической аттестации.

Таким образом, в настоящее время существует теоретическая и практическая задача, связанная с разработкой методики расчета погрешности датчиков входящих в ИС с учетом архитектуры ИС, скорости передачи сигнала и т.д.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- выявить источники погрешности измерения возникающие при эксплуатации мультисенсорных систем;
- разработать математико-статистическую модель мультисенсорной ИС;
- разработать методику нормирования точности датчиков входящих в мультисенсорную систему (Δ) исходя из допустимой погрешности измерений ($[\Delta]$).

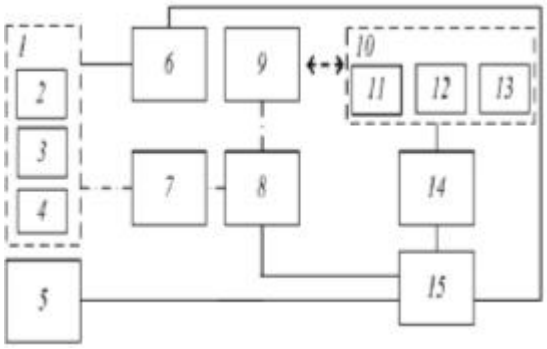
1. ТКП 8.004-2012 (03220). Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ [Текст]. – Введ. 2014 – 01 – 01. –Минск.: Госстандарт Республики Беларусь: Изд-во стандартов, 2013.-XI, 20 с.
2. Браун, Д. Распределенные системы контроля температуры на базе современных волоконно-оптических датчиков / Д. Браун, Д. Рогачев // Геология и геофизика. – 2005. – № 1. – С. 5-11.
3. Сысоев, В.В. Мультисенсорные системы распознавания газов на основе металло-оксидных тонких пленок и наноструктур : диссертация ... доктора технических наук : 05.27.01 / В.В. Сысоев; [Место защиты: Сарат. гос. техн. ун-т] - Саратов, 2009 - Количество страниц: 364 с. ил. Саратов, 2009 364 с.
4. Долгополов, Н. Наносенсорная нейроподобная система «Электронный нос» / Н. Долгополов, М. Яблоков // Электроника. Наука, технология, бизнес. – 2008. - № 1. – С. 60-65.

УДК: 535.3

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Длугунович В.А.[1], Никоненко С.В.[1], Савкова Е.Н.[2], Демидович А.Г.[2]
[1] Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
[2] Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь создаются и широко применяются в медицине, промышленности, приборостроении, науке и других областях источники ультрафиолетового излучения (далее УФИ), что связано с полезными свойствами данного излучения. Однако с целью обеспечения безопасности и снижения рисков вредных влияний УФИ на здоровье человека и окружающую среду возникает необходимость в ужесточении методов и средств контроля характеристик источников УФИ. В связи с этим в научно-испытательной лаборатории лазерной техники и поляриметрии Института физики НАН Беларуси создан комплекс для измерений спектральной плотности энергетической яркости (далее СПЭЯ) и силы излучения источников УФИ и чувствительности фотоприемников «Лямбда УФ» (далее комплекс). Комплекс предназначен для испытаний источников УФИ, производимых и используемых в Республике Беларусь, а также войдет в систему эталонов, измерительных и калибровочных установок, являющихся основой метрологического обеспечения светодиодной техники в Республике Беларусь. Структурная схема комплекса приведена на рисунке 1.



1 – блок УФ излучателей; 2 – субблок лазерных излучателей; 3 – субблок светодиодных излучателей; 4 – субблок ламповых излучателей; 5 – гониометрическая система; 6 – блок питания и контроля параметров источников излучения; 7 – блок входной оптики; 8 – монохроматор; 9 – блок экспресс-анализа; 10 – блок приемников излучения; 11 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); 12 – трап-детектор;13 – фотодиод; 14 – блок регистрации; 15 – персональный компьютер.

Рисунок 1 – Структурная схема комплекса по СПЭО эталонной дейтериевой лампой

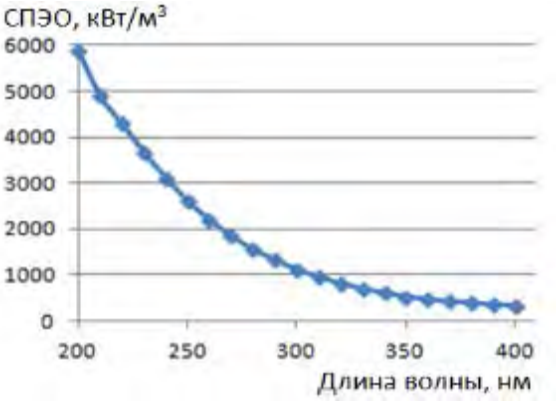


Рисунок 2 – Результаты калибровки комплекса по СПЭО дейтериевой лампой

В процессе метрологической аттестации были установлены следующие характеристики комплекса:

– диапазон измерений СПЭО дейтериевых ламп и светодиодов, Вт·м$^{-3}$;

– относительная расширенная неопределенность измерений СПЭО дейтериевых ламп и светодиодов, %;

– спектральный диапазон измерения СПЭО дейтериевых ламп и светодиодов, нм;

– диапазон измерений СПЭЯ светодиодов, Вт·м$^{-3}$·ср$^{-1}$;

– относительная расширенная неопределенность измерений СПЭЯ светодиодов, %.

Для обеспечения необходимого уровня доверия к результатам измерений, испытаний, калибровок аккредитованная измерительная лаборатория в соответствии с СТБ ISO/IEC 17025 должна осуществлять их мониторинг, поэтому применяемые лабораторией методы измерений, должны быть валидированы. С целью валидации и последующей верификации метода был разработан план внутрилабораторного эксперимента по оценке точности метода измерений спектрорадиометрических характеристик источников УФИ. При проведении эксперимента был выбран двухфакторный эксперимент с полной группировкой, схематический план которого представлен на рисунке 3.

Комплекс функционирует в режимах:

1) «калибровка комплекса по СПЭЯ»;

2) «измерения спектральной плотности энергетической освещенности (далее СПЭО) и силы

излучения светодиодов и светодиодных осветителей»;

3) «измерения СПЭЯ светодиодов и светодиодных осветителей; измерения спектральной чувствительности фотоприемников».

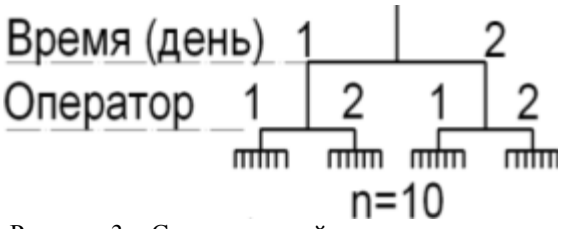


Рисунок 3 – Схематический план эксперимента

В соответствии с требованиями ТКП 8.004 и ТКП 8.014 была разработана программа и методика метрологической аттестации, а также утверждена методика калибровки комплекса. Основной задачей при проведении метрологической аттестации комплекса является установление его метрологических характеристик.

Согласно разработанной методике метрологической аттестации неопределенность измерений и диапазон измерений СПЭО определяют: для дейтериевых ламп в спектральном диапазоне от 200 до 400 нм в точках – 200 нм, 250 нм, 300 нм и 400 нм, для светодиодов в спектральном диапазоне от 250 до 400 нм в точках – 280 нм, 360 нм. Измерения повторяют не менее 10 раз в каждой исследуемой точке. Значения неопределенности измерений для любой точки из спектрального диапазона определяются путем интерполяции.

В Республике Беларусь отсутствуют эталоны, обеспечивающие измерения и передачу размеров спектрорадиометрических величин средствам измерений по поверочной схеме. Государственная поверочная схема средств измерений устанавливается по ГОСТ 8.195, путем передачи единиц СПЭЯ и СПЭО от государственных первичных эталонов Российской Федерации. Таким образом, в качестве средства метрологической аттестации была использована эталонная дейтериевая лампа в защитном кожухе CL7-H, с относительной расширенной неопределенностью измерений СПЭО 2 % и спектральным диапазоном от 200 до 400 нм. Перед проведением метрологической аттестации выполнялась калибровка комплекса по СПЭО эталонной дейтериевой лампой. Калибровку комплекса по СПЭО проводят в спектральном диапазоне от 200 до 400 нм с шагом 10 нм. Результаты калибровки комплекса

При проведении эксперимента, необходимо выделить показатели, которые будут наиболее полно характеризовать качество процесса, а затем периодически контролироваться и поддерживаться на заданном уровне. Основными показателями качества количественных результатов измерений являются показатели, связанные с точностью.

Обработка результатов измерений осуществлялась в соответствиис СТБ ИСО 5725. Для практического применения показателей прецизионности и воспроизводимости установлены значения пределов повторяемости и воспроизводимости и критических разностей в соответствии с СТБ ИСО 5725-6. При этом значение стандартного отклонения разности не должно превышать критическую разность.

При проверке результатов испытаний при числе измерений n = 10 и 95 %-ном уровне вероятности, полученных в условиях повторяемости или воспроизводимости, сравнение проводится с использованием значения предела повторяемости

$$r = 6{,}2\ \sigma_r = 2687\ \text{Вт}\cdot\text{м}^{-3} \qquad (2)$$

или предела воспроизводимости

$$R = 6{,}2\ \sigma_R = 3599\ \text{Вт}\cdot\text{м}^{-3} \qquad (3)$$

где σ_r и σ_R – стандартные отклонения повторяемости и воспроизводимости, соответственно.

Стандартное отклонение разности:

$$\sigma = \sqrt{10\sigma_R^2 + 0{,}4\sigma_r^2} = 1{,}251\ \text{Вт}\cdot\text{м}^{-3} \qquad (4)$$

Критическая разность:

$$\text{CD} = \sqrt{\text{R}^2 + 0{,}8\text{r}^2} = 2679\ \text{Вт}\cdot\text{м}^{-3} \qquad (5)$$

Поскольку $\sigma < \text{CD}$, результаты, полученные при проведении эксперимента, признаются приемлемыми.

1. ТКП 8.004-2012 (03220) Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.
2. ТКП 8.014-2012 (03220) Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ.
3. ГОСТ 8.195-89 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности силы излучения и спектральной плотности энергетической освещенности
4. СТБ ИСО/МЭК 17025 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
5. СТБ ИСО 5725-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Части 1-6.

УДК 535.23:621.315.2:621.39.029.7

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОНА ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Длугунович В.А., Исаевич А.В., Никоненко С.В., Холенков А.В.
Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Волоконно-оптические системы связи и передачи информации (ВОСП) очень быстро получили широкое применение в различных областях практической деятельности и в настоящее время считаются самой совершенной физической средой для передачи информации. Поэтому актуальной является проблема создания новых специализированных, взаимоувязанных эталонных средств измерений (СИ) и поверочного оборудования различных параметров и величин, как самих ВОСП, так и их элементов. Для хранения, воспроизведения и передачи единиц средней мощности, ослабления и длины волны излучения, используемых в волоконно-оптических системах, а также для поверки и калибровки вторичных и рабочих эталонов, применяемых в ВОСП, в Институте физики НАН Беларуси в рамках выполнения научно-технической подпрограммы «Эталоны Беларуси» государственной научно-технической программы «Разработка и изготовление эталонов Беларуси, уникальных приборов и установок для научных исследований» разработан и создан в 2011-2014 гг. эталон единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для ВОСП.

Эталон состоит из комплекса стабилизированных источников оптического излучения с волоконно-оптическим выходом, эталонной калориметрической система для воспроизведения и передачи размера единицы средней мощности оптического излучения в ВОСП, комплекса СИ для воспроизведения и передачи размера единицы ослабления в ВОСП, комплекса СИ для воспроизведения и передачи размера единицы длины волны оптического излучения в ВОСП и вспомогательной аппаратуры для обеспечения функционирования эталона и обработки информации.

При аттестации эталона определялись следующие метрологические характеристики:

– динамический диапазон воспроизведения и передачи размера единицы средней мощности оптического излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– спектральный диапазон воспроизведения и передачи размера единицы средней мощности оптического излучения;

– случайная погрешность воспроизведения единицы средней мощности излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единицы средней мощности излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– относительная суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы средней мощности излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– относительная суммарная стандартная неопределенность передачи единицы средней мощности оптического излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– динамический диапазон воспроизведения и передачи размера единицы средней мощности оптического излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм при использовании оптоэлектронных преобразователей;

– спектральный диапазон воспроизведения и передачи размера единицы средней мощности оптического излучения при использовании оптоэлектронных преобразователей;

– случайная погрешность воспроизведения единицы средней мощности излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм при использовании оптоэлектронных преобразователей;

– неисключенная систематическая погрешность воспроизведения единицы средней мощности излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм при использовании оптоэлектронных преобразователей;

– относительная суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы средней мощности излучения на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм при использовании оптоэлектронных преобразователей;

– диапазон воспроизведения и передачи размера единицы ослабления на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– случайная погрешность измерения единиц ослабления на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– неисключенная систематическая погрешность измерения единиц ослабления на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– суммарная стандартная неопределенность измерения единиц ослабления на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 0,65 до 1,7 мкм;

– спектральный диапазон воспроизведения и передачи размера единицы длины волны оптического излучения;

– случайная погрешность измерения длины волны оптического излучения;

– неисключенная систематическая погрешность измерения длины волны оптического излучения;

– относительная суммарная стандартная неопределенность измерения длины волны оптического излучения.

Разработана программа и методика метрологической аттестации эталона в соответствии с требованиями ТКП 8.002-2012 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Эталоны единиц величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения» и ТКП 8.004-2012 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ».

Относительную суммарную стандартную неопределенность воспроизведения единицы средней мощности оптического излучения оценивают исходя из уравнения

$$u_c^2(P) = u^2(\overline{K}_э) + u^2(K_t) + u^2(\overline{P}_0) + u^2(K_P) + u^2(U) + u^2(I) + u^2(K_з) + u^2(V),$$

где $u(\overline{K}_э) = \frac{1}{\overline{K}_э}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\overline{K}_э - K_{эi})^2}{n(n-1)}}$ – относительная стандартная неопределенность определения коэффициента преобразования средней мощности постоянного электрического тока первичного калориметрического измерительного преобразователя, оцененная по типу А для n измерений;

$u(K_t) = \frac{2(K_{эв} - K_{эн})}{\sqrt{3}(K_{эв} + K_{эн})} \times \frac{2\Delta t}{(t_{max} - t_{min})}$ – относительная стандартная неопределенность, обусловленная температурной зависимостью коэффициента преобразования, оцененная по типу В с использованием значений коэффициента преобразования средней мощности электрического тока $K_{ЭВ}$ при повышенной температуре t_{max} и $K_{ЭН}$ при пониженной температуре t_{min}, а также разрешающкй способности метеоскопа Δt;

$u(\overline{P}_0) = \frac{1}{\overline{P}_0}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\overline{P}_0 - P_{0i})^2}{n(n-1)}}$ – относительная стандартная неопределенность определения средней мощности оптического излучения, оцененная по типу А для n измерений;

$u(K_P) = \frac{2(K_{Эmax} - K_{Эmin})}{\sqrt{3}(K_{Эmax} + K_{Эmin})} \times \frac{\Delta P_{ст}}{(P_{max} - P_{min})}$ – относительная стандартная неопределенность, обусловленная различием коэффициента преобразования при изменении уровня измеряемой мощности излучения в границах одного диапазона калибратора, оцененная по типу В с использованием значений коэффициента преобразования средней мощности электрического тока $K_{Эmax}$ при максимальной мощности P_{max} и $K_{Эmin}$ при минимальной мощности P_{min}, а также – значения одной ступени дискретного регулирования мощности на выходе калибратора $\Delta P_{ст}$;

$u(U)$ – неопределенность результата измерения напряжения при электрической калибровке с помощью мультиметра 3458A;

$u(I)$ – неопределенность результата измерения тока при электрической калибровке с помощью мультиметра 3458A;

$u(K_Э)$ – эмпирическая оценка сверху неопределенности, связанной с неточностью оценки коэффициента эквивалентности замещения мощности оптического излучения известной мощностью электрического тока;

$u(V)$ – неопределенность результата измерения относительной разности выходных сигналов оптоэлектрического преобразователя с помощью нановольтметра 34420A при электрической калибровке первичного калориметрического измерительного преобразователя и измерении мощности оптического излучения.

Проведенные метрологические испытания показали, что эталон обеспечивает воспроизведение единицы средней мощности оптического излучения в ВОСП на фиксированных длинах волн в спектральном диапазоне от 650 до 1700 нм с относительной расширенной неопределенностью (k = 2, P = 95 %) не более 0,13 % в диапазоне от $1 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ Вт и 2,7 % в диапазоне от $1 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ Вт, воспроизведение единицы ослабления оптического излучения в ВОСП в диапазоне от 0,05 до 60,00 дБ с расширенной неопределенность (k = 2, P = 95 %) не более 0,09 дБ, воспроизведение единицы длины волны оптического излучения для ВОСП в спектральном диапазоне от 650 до 1700 нм на фиксированных длинах волн 655 нм, 852 нм, 1309 нм, 1489 нм, 1548 нм, 1627 нм с относительной расширенной неопределенностью (k = 2, P = 95 %) не более $1{,}2 \cdot 10^{-5}$ %.

УДК 005.6

ОЦЕНИВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

Евсеенко Т.И., Телебук О.И., Гиль Н.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При оценивании различных объектов эксперты часто расходятся во мнениях относительно решаемой проблемы. В результате этого возникает неопределенность результатов экспертного оценивания и, как следствие, снижение степени их достоверности.

Задачу экспертного оценивания можно рассматривать как задачу измерения, поэтому качество экспертного оценивания должно характеризоваться понятием точности. Однако экспертные оценки часто используются при решении слабоструктурированных задач, в которых истинное значение объекта практически недостижимо или относительно и зависит от сложившихся обстоятельств в конкретный момент времени. У таких величин, выражаясь языком математики, нет математического ожидания. В связи с этим получить оценку смещения экспертных оценок от истинного значения оцениваемого параметра объекта не всегда возможно и целесообразно. Другим параметром, характеризующим точность, может служить разброс или рассеяние экспертных оценок. Этот параметр в большей степени отражает согласованность мнений экспертов.

Возникает задача количественной оценки достоверности экспертных оценок как наиболее презентативный способ анализа точности. Логично установить количественные показатели достоверности экспертных оценок, которые будут показывать уровень доверия исследователей к полученным результатам.

При экспертном оценивании зачастую непостижимым является истинное значение оцениваемого параметра по ряду причин. Экспертные оценки в большинстве случаев используются там, где использование технических средств невозможно или затруднено в силу специфичности объектов измерения, причем такие объекты зачастую в принципе не имеют истинного значения, а лишь некую объективную оценку или заданное целевое значение. Таким образом, целесообразно говорить не о существовании истинного значения величины, а о существовании некоторого интервала значений, который может быть обоснованно приписан данной величине. Поэтому мы видим необходимость представления оцениваемых параметров экспертным методом с позиции случайных величин.

Нами предлагается новый подход к определению достоверности экспертных оценок с использованием понятий и положений теории неопределенности, широко используемой на практике в области метрологии. Аргументация схожести и сущности задач метрологии и теории экспертного оценивания дает нам основание для обоснованного использования инструментов, используемых в метрологии для определения точности результатов измерения.

Экспертное оценивание ставит задачу получения экспертных оценок по рассматриваемому объекту (результат измерения) с помощью эксперта и принятой шкалы оценивания (средство измерения) и дальнейшей оценки достоверности полученных результатов (точность измерений).

Серия стандартов СТБ ИСО 5725 регламентирует подход к определению точности методов измерения с помощью понятий правильности и прецизионности. Правильность и прецизионность результатов измерения обусловлена соответственно случайными и систематическими эффектами. Случайные эффекты возникают из-за непредсказуемых и стохастических временных и пространственных изменений влияющих величин, вызывают изменения измеряемой величины при повторных наблюдениях, а математическое ожидание или ожидаемое значение таких изменений равняется нулю. Систематические эффекты остаются постоянными или закономерно изменяющимися при повторных измерениях одной и той же физической величины. Такие же эффекты присущи и результатам экспертного оценивания. Эксперт, склонный к систематическим ошибкам, выдает значения, которые устойчиво отличаются от истинного в сторону увеличения или уменьшения. Для коррекции систематических ошибок применяют поправочные коэффициенты или специально разработанные обучающие процедуры, которые позволяют снизить величину систематических ошибок за счет приобретения экспертом навыков оценивания. Случайные ошибки характеризуются величиной дисперсии.

Нами принята модель по выражению неопределенности результатов измерения, установленная техническим отчетом EURO-LAB №1/2007, для оценивания достоверности экспертных оценок на основании результатов комплексирования систематической и случайной составляющих экспертного оценивания. Таким образом, показателем достоверности экспертных оценок является их неопределенность

$$U = \sqrt{\sigma^2 + \Delta^2}\,. \qquad (1)$$

За оценку прецизионности принимается среднеквадратичное отклонение σ, которое характеризует величину систематической составляющей. За оценку правильности принимается смещение оценки от истинного значения Δ, которое характеризует величину случайной составляющей.

Для решения проблемы по оцениванию неопределенности экспертных оценок нами сформулирована следующая задача: определить соотношение Δ и σ

$$\Delta = (c_1 \dots c_2)\sigma \qquad (2)$$

Зная величину соотношения (2), задача по определению неопределенности сводится к поиску одной неизвестной вместо двух. Численно определить соотношение (2) возможно лишь эмпирическим путем, поэтому нами был спланирован и реализован эксперимент экспертного оценивания.

Модель экспертного оценивания кратко изложена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные положения модели экспертного оценивания

Структурный элемент модели	Содержание структурного элемента
Объект оценивания	- окружность - неподобный прямоугольник - параллелепипед
Параметр оценивания	- площадь - объем
Шкала оценивания	любая цифровая шкала от 0 до +∞ на усмотрение респондента
Метод оценивания	модифицированный метод альтернатив
Методика оценивания	- каждый вид фигур предъявляется отдельно - фигуры предъявляются в случайном порядке - оценивание по каждой фигуре в отдельности без ознакомления с размерностями фигур в серии - 4 серии по каждому виду фигур: а) 7 фигур в серии б) 9 фигур в серии в) 11 фигур в серии г) 15 фигур в серии - количество опрашиваемых респондентов по каждой серии фигур - 10

На основании полученных результатов эксперимента экспертного оценивания мы сделали следующие заключения:

- 11-балльная экспертная шкала для оценивания качества объектов, характеризуемых одним или двумя свойствами, и 9-балльная экспертная шкала для оценивания качества объектов, характеризуемых тремя свойствами, наиболее приемлемы;

- эксперты склонны завышать свои оценки при увеличении количества предъявляемых фигур на оценивание;

- на величину смещения экспертных оценок оказывает влияние соотношение «количество оцениваемых объектов – размерность шкалы»;

- экспертная субъективная оценка отличается от объективной оценки или номинальной величины оцениваемого свойства в (1+k) раз в случае линейной зависимости Δ от номинального значения;

- смещения экспертных оценок от номинальных величин оцениваемых параметров объектов, характеризуемых одним или двумя свойствами, получаемых (экспертных оценок) по 11-балльной шкале, имеют линейный характер увеличения при увеличении интенсивности оцениваемых свойств объекта, что характеризует 11-балльную экспертную шкалу как наиболее удобную с позиций респондента и модератора;

- величина отклонения экспертных оценок от действительных значений оцениваемого параметра уменьшается по мере увеличения числа оцениваемых фигур в серии и при этом не зависит от вида фигуры;

- величина СКО экспертных оценок уменьшается по мере увеличения числа оцениваемых фигур в серии и при этом не зависит от вида фигуры;

- при оценивании качества объекта по одному свойству следует отдавать предпочтение размерам шкал от 11 до 15 оценочных единиц;

- при оценивании качества объекта по двум свойствам следует отдавать предпочтение размерам шкал от 9 до 15 оценочных единиц;

- при оценивании качества объекта по трём свойствам следует отдавать предпочтение размеру шкалы в 15 оценочных единиц, при этом случайная составляющая практически равна систематической;

- 7-балльная шкала при оценивании качества объекта по одному или двум свойствам менее предпочтительна, т.к. более зависима от изменения величины оцениваемого параметра при большом превосходстве случайной составляющей над систематической.

УДК 006.05:004

МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА СТАНДАРТА ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОГО КОНСЕНСУСА

Кмита Н.Ю., Бужан И.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Стандартизация на современном этапе определяет суть технической политики в народном хозяйстве всех стран мира и по существу является техническим законодательством. В этом смысле стандартизация является системным видом управления в отношении практически всех направлений человеческой деятельности. Результатом деятельности стандартизации является стандарт, выступающий эффективным инструментом нетарифного регулирования, содержащий требования всех заинтересованных сторон, обеспечивающий максимальную гармонию их взаимоотношений.

Потребность в стандартизации как в деятельности появляется при необходимости оптимального упорядочения требований, возникающих в сфере производственно-технических, торговых и иных деловых отношений между разработчиками, изготовителями, поставщиками, потребителями, органами государственного управления под влиянием таких факторов, как научно-технический прогресс, безопасность, защита прав потребителей, глобализация рынка, международное сотрудничество, приобретенный опыт и т.д. В рамках цепочки поставки продукции между заинтересованными сторонами может возникать конфликт интересов. Различные требования каждой из сторон являются ключевой причиной неупорядоченности в конкретной области. Неупорядоченность может иметь место и в рамках одной стороны (стандартизация на уровне предприятия), что свидетельствует об уровне неупорядоченности взаимоотношений, например, различных служб организации. Это следует рассматривать как более детальный уровень неупорядоченности, также управляемый (оптимизируемый) посредством механизма стандартизации, реализуемого через разработку стандартов организации. Стандартизация выполнила свою миссию, если достигнута оптимальная степень упорядочения требований сторон.

В реальности все значительно сложнее, и выполнить все условия каждой из сторон для достижения оптимальной степени упорядоченности не представляется возможным – так или иначе, останется некоторая неупорядоченность требований сторон. Здесь следует отметить несколько моментов.

Во-первых, неупорядоченность (конфликтная ситуация) должна быть косвенно оценена, должны быть определены критерии, иначе появится риск того, что мы неверно определили объект и/или аспект стандартизации.

Во-вторых, результатом решения проблемы неупорядоченности является ТНПА, в идеале содержащий комплекс требований, выполнение которых приводит к оптимальной степени упорядоченности взаимоотношений.

В третьих, оптимальную степень упорядоченности нельзя рассматривать как полную гармонию – абсолютное удовлетворение требований всех сторон. Это не возможно даже теоретически. Оптимальная (наивысшая) степень упорядоченности предполагает, что ТНПА (результат стандартизации) содержит требования, с которыми в той или иной степени согласились бы все без исключения заинтересованные стороны. Степень согласия каждой стороны устанавливается индивидуально каждой стороной по результатам анализа своих собственных рисков, собственной функции потерь из-за того, что те или иные требования не попали в нормативный документ, принимаемый всеми сторонами. Естественно, в такой ситуации остается доля неудовлетворенности требований сторон.

С этой целью в современную практику стандартизации введено понятие консенсуса – общего согласия, на основе которого принимаются стандарты. Учет мнения всех заинтересованных (иногда противоположных) сторон, сближение несовпадающих точек зрения при отсутствии серьезных возражений по существенным вопросам у большинства сторон является важнейшей процедурой стандартизации и позволяет достичь в большинстве случаев близкой к оптимальной степени упорядочения (рис. 1). Степень компромисса при выработке и принятии заинтересованными сторонами стандарта и является мерой «взвешенного» риска.

Задачу стандартизации в детерминированной (упрощенной) постановке можно представить следующим образом: деятельность по стандартизации достигла своих целей, если достигнута максимальная степень удовлетворения всех сторон или минимизированы суммарные потери всех сторон.

$$\sum_{i=1}^{n} U_{\text{удовл } i} \rightarrow max,$$

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{P}_{\text{потр } i} \rightarrow min,$$

$$P_{\text{потр } i} = \mathrm{T}_{\text{треб.станд.}i} - \quad S_{\text{треб.станд.}i},$$

где $U_{\text{удовл } i}, P_{\text{потр } i}$ – соответственно степень удовлетворенности и уровень потерь заинтересованной i-ой стороны, участвующей в процессе стандартизации; $\text{Т}_{\text{треб.станд.}i}$, $S_{\text{треб.станд.}i}$ – соответственно требования i-ой стороны в отношении объекта стандартизации и требования принятого на основе консенсуса стандарта.

Рисунок 1 – Достижение консенсуса между заинтересованными сторонами, участвующими в процессе стандартизации

Важной задачей создания современной системы стандартизации Республики Беларусь является разработка методологии идентификации, оценки, анализа и управления рисками. Особое внимание при выстраивании структуры источников возникновения рисков следует уделять системным рискам, которые в силу сложившихся хозяйственных связей могут серьезно влиять на функционирование отрасли и экономики в целом.

Деятельность по стандартизации в данном контексте является многогранной, многовариантной, требующей применения системного подхода, проведения научных исследований. Результатом деятельности будет выступать ТНПА, содержащий требования всех заинтересованных сторон, выполнение которых приводит к оптимальной гармонизации этих требований. Гармонизация требований сторон в данном случае и представляет риск. Можно утверждать, что риск стандартизации является системным риском, входящим в интегральный риск результата конкретного вида деятельности, и является типовым.

Процесс разработки стандарта чаще всего реализуется компетентной в конкретной сфере деятельности организацией, которая, как правило, профессионально стандартизацией не занимается. Право разработки проекта стандарта ей делегирует соответствующий орган, например, технический комитет по стандартизации в конкретной сфере деятельности. Очевидно, что качество первой редакции проекта стандарта определяет конечное качество самого стандарта, критерием которого является степень согласия среди всех заинтересованных сторон, участвующих в обсуждении первой и второй редакций проекта стандарта.

Именно поэтому возникает необходимость разработки унифицированного механизма идентификации, оценки, анализа, корректирования рисков стандартизации, результаты применения которого могли бы быть использованы для менеджмента рисков стандартизации. Механизм такого рода поддержки – экспертная система поддержки принятия решений на этапах разработки проекта стандарта. Ядром экспертной системы должна выступать непараметрическая модель функции связи уровня ожидаемого консенсуса всех заинтересованных сторон по всему комплексу характеристик разрабатываемого стандарта на объект.

Методологической основой такого унифицированного механизма менеджмента рисков должна стать методология менеджмента рисков стандартизации, в основе которой лежит понятие риска как параметра результативности данного вида деятельности. Соответственно, обеспечение заданного уровня результативности стандартизации возможно путем разработки системы менеджмента рисков, организационно-технической основой которой выступает экспертная система, обеспечивающая оценивание и поддержку принятия решения экспертом в отношении разрабатываемого стандарта на протяжении всего жизненного цикла. Решение задачи по созданию экспертной системы поддержки принятия решений на этапах разработки проекта стандарта, анализа и управления рисками стандартизации и является целью нашей работы.

Реализация проекта будет способствовать повышению уровня потребительских характеристик объекта, предотвращению возникновения технических барьеров в торговле, обеспечению на законодательном уровне конкурентоспособности с зарубежными аналогами.

УДК 006.91.05:621.317.334 (047) (476)

СОЗДАНИЕ ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ИНДУКТИВНОСТИ

Коломиец Т. А. , Казакова Е. А. , Говоровская А. Ю., Романюк Т. Г.
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
РУП «Белорусский государственный институт метрологии», Минск, Республика Беларусь

В настоящее время на предприятиях и в организациях Республики Беларуси эксплуатируется большая номенклатура средств измерений индуктивности, это: мосты переменного тока, измерители емкости и индуктивности, меры индуктивности, магазины индуктивности, универсальные цифровые вольтметры, а также многофункциональные калибраторы и мультиметры.

Для организации производства и метрологического обеспечения выпуска и эксплуатации этих средств измерений создан эталон единицы индуктивности, который по своим метрологическим характеристикам соответствует национальным и международным требованиям.

При создании эталона рассматривались наиболее распространенные методы воспроизведения и измерения единицы индуктивности:

Метод вольтметра–амперметра является простейшим методом измерения индуктивности. Метод вольтметра–амперметра по существу сводиться к закону Ома, по которому измеряемое сопротивление пропорционально падению напряжения на нём и обратно пропорционально току, проходящему через него. При измерении индуктивности катушки методом вольтметра-амперметра необходимо, чтобы ее активное сопротивление было значительно меньше ее реактивного сопротивления [1]. Данный метод не обеспечивает высокую точность результатов.

Резонансный метод используется для высокочастотных катушек индуктивности в диапазоне их рабочих частот. Он основан на измерении параметров колебательного контура, составленного из рабочего (эталонного) элемента и исследуемой цепи. Резонансная схема обычно включает в себя генератор высокой частоты, индуктивно или через емкость связанный с измерительным LC-контуром. При резонансном методе измерения индуктивности катушки должны быть известны емкость эталонного конденсатора и частота генератора, на которую настроен контур в резонанс [2]. Достоинством резонансного метода является то, что он позволяет производить измерения в широком диапазоне частот (от долей до сотен мегагерц). Важная особенность метода — возможность определить действующие значения параметров, т. е. фактические значения сопротивления, индуктивности или емкости на зажимах исследуемой цепи с учетом паразитных составляющих ее эквивалентной схемы. Кроме того, по результатам измерений на нескольких частотах можно определить паразитные параметры измеряемых элементов собственную (межвитковую) емкость катушки, собственную индуктивность конденсатора и т. п.

Мостовой метод измерения, дающий наиболее точные результаты измерения индуктивности, основан на автоматической балансировке моста. Для этого метода применяют уравновешенные мосты переменного тока. Измерение производят балансированием моста в результате попеременной подстройки двух его плеч.

Мосты, предназначенные для измерения параметров катушек индуктивности, формируются из двух плеч активного сопротивления, плеча с объектом измерений, сопротивление которого в общем случае является комплексным, и плеча с реактивным элементом — конденсатором или катушкой индуктивности.

Наиболее распространенным мостом переменного тока для измерения индуктивности является мост Максвелла–Вина.

Мост Максвелла–Вина позволяет сравнивать эталоны индуктивности (L) с эталонами емкости на известной точно рабочей частоте. Эталоны емкости применяются в измерениях высокой точности, поскольку они конструктивно проще прецизионных эталонов индуктивности, более компактны, их легче экранировать, и они практически не создают внешних электромагнитных полей.

К недостаткам данного вида измерителей можно отнести работу на одной (фиксированной) частоте.

Одной из проблем, возникающих при использовании моста Максвелла–Вина, является возникновение взаимоиндукции между измеряемой индуктивностью и другими элементами схемы, или же электромагнитные наводки, приводящие к искажениям результатов измерений. В сбалансированном мосте индуктивное сопротивление измеряемой катушки прямо противоположно емкостному сопротивлению конденсатора, что позволяет точно измерить параметры неизвестной индуктивности.

Преимущества измерения при использовании моста Максвелла–Вина: точность, возможность независимо воспроизводить единицу при обоих номинальных значениях, отсутствие частоты в уравнении измерения, простота схемы и возможность поэлементной аттестации резисторов и конденсаторов в плечах моста.

Мостовые измерители индуктивностей, емкостей и активных сопротивлений имеют ряд идентичных элементов. Поэтому они часто совмещаются в одном приборе — универсальном измерительном мосте.

Традиционно сравнение параметров эталонных мер импеданса, воспроизведение единиц этих параметров и передача их размера производятся при помощи комплекса очень сложных и разнообразных по конструкции мостов переменного тока.

Хранение единицы индуктивности, размер которой получают косвенным методом через единицы емкости и сопротивления, осуществляется с помощью тороидальных катушек индуктивности, составляющих групповой эталон. Для воспроизведения и передачи размера каждый из эталонов включает соответствующие компараторы специфической конструкции.

Требования к создаваемому эталону исходили из сравнительной характеристики функционирующих эталонов единицы индуктивности в России, Казахстане и в Украине.

В период с 10.2012 года по 06.2014 год был создан эталон индуктивности, состоящий из измерителей импеданса, предназначенных для передачи размера единицы, и мер индуктивности, предназначенных для хранения и воспроизведения единицы индуктивности, а именно из:

1) комплекса эталонного оборудования для хранения значения индуктивности в диапазоне от 10^{-6} до 10 Гн на частоте 1 кГц:

– комплекта термостатированных мер индуктивности 10 мГн и 100 мГн;

– комплекта мер индуктивности серии 1482 в диапазоне от 10^{-6} до 10 Гн;

2) комплекса эталонного оборудования для передачи значения индуктивности в диапазоне от 0,001 нГн до 99,99999 Гн в частотном диапазоне от 0,01 Гц до 1 МГц:

– прецизионного LCR-метра 7600;

– прецизионного RLC-моста 1693;

3) дополнительного оборудования:

– комплекта мер индуктивности эталонных Р596 в диапазоне от 10^{-6} до 1 Гн на частоте 1 кГц;

– комплекта катушек индуктивности измерительных Р547 с номиналами от $0{,}1\cdot10^{-3}$ до 1 Гн;

– комплекта эталонных мер индуктивности L-0170-2 с номиналами от $0{,}1\cdot10^{-3}$ до 0,2 Гн;

– прецизионного компаратора RLC STANDART COMPARATOR в комплекте с магазином термостатированных эталонных мер электрической емкости от 1 нФ до 1 мкФ и мер электрического сопротивления (активного) в диапазоне от 1 Ом до 10 МОм;

– термостатированной камеры 9300А;

В качестве национального эталона индуктивности применяется эталонный комплект термостатированных мер. Национальный эталон обеспечивает хранение единицы индуктивности со средним квадратическим отклонением (СКО) результатов не превышающим $1\cdot10^{-5}$–$1\cdot10^{-6}$. Нестабильность эталонных мер за год составляет не более $1\cdot10^{-5}$.

Национальный эталон используется для передачи размера единицы рабочему эталону методом сличения (замещения) при помощи компаратора.

Комплект мер индуктивности серии 1482 с номинальными значениями от $1\cdot10^{-6}$ до 10 Гн используется в качестве рабочего эталона. Случайная погрешность S_0 составляет от $1\cdot10^{-5}$ до $30\cdot10^{-5}$. Рабочий эталон применяется для поверки/калибровки эталонных средств измерений 1 разряда при помощи компаратора методом прямых измерений.

Дополнительное оборудование обеспечивает передачу размера единицы индуктивности от $1\cdot10^{-6}$ до 10 Гн в диапазоне частот от 40 Гц до 1 МГц.

Обработка результатов поверки/калибровки проводится с применением специально разработанного программного обеспечения.

В результате проведенных исследований метрологических характеристик составных частей эталона установлено, что:

– эталон обеспечивает хранение и передачу единицы индуктивности от 1 мкГн до 10 Гн на частоте от 40 Гц до 1 МГц;

– среднее квадратическое отклонение результатов измерений индуктивности при частоте 1 кГц не превышает значений от $1\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-6}$;

– годовая нестабильность эталонных мер не превышает значений от $1\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-6}$.

Создание и внедрение эталона обеспечило повышение точности измерения индуктивности и качества метрологического обслуживания отраслей народного хозяйства в Республике Беларусь; единство измерений; улучшение и совершенствование точностных характеристик вновь разрабатываемых СИ и подтверждение метрологических характеристик импортных СИ, поступающих в Республику Беларусь; развитие приборостроения в области измерения электрических величин; подтверждение наилучших возможностей при калибровке; возможность участия в сличениях и признания результатов калибровки на международном уровне.

1. Терешин Г. М. «Радиоизмерения».
2. Сурду М. Н., Ахмадов А. А, Ахмадов С. А., Курсин С. Н., Ламеко А. Л., Мухаровский М. Я. «Прецизионный компаратор для воспроизведения единицы индуктивности и передачи ее размера в диапазоне значений».

УДК 006.034:536.2.081.1(047.31)(476)

СОЗДАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Кривонос П.В., Дикун Т.И., Крышнева А.М.
Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

Работа по созданию Национального эталона единицы теплопроводности проводились в Белорусском государственном институте метрологии совместно с ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева", РФ, Санкт-Петербург в период со 2 квартала 2011 по 1 квартал 2014 года.

В данной статье рассматриваются научные и практические вопросы создания эталонных установок по воспроизведению единицы теплопроводности и исследованию мер теплопроводности.

Введение. Потребность в измерении теплопроводности существует практически в любых областях науки и промышленности. Особую актуальность точные измерения теплопроводности имеют в строительстве и энергетике, металлургии и материаловедении, электронике и машиностроении. Точные измерения теплопроводности материалов широко используются в приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники.

Введение большого числа новых энергосберегающих стандартов в строительстве обусловило появление определенных проблем в работе сертификационных и испытательных центров. Необходимость технологического контроля и сертификации материалов по теплопроводности возникает при производстве и эксплуатации новых материалов различного назначения, а также при испытаниях на соответствие требованиям нормативных документов наиболее ответственных элементов сложных инженерных объектов, таких как ограждающие конструкции зданий и сооружений. Это особенно важно для материалов, теплопроводность которых является сертифицируемым параметром.

На предприятиях и в организациях республики имеется достаточно большой парк приборов и установок для измерения теплопроводности, в том числе и прецизионных. Для обеспечения единства измерений теплопроводности в диапазоне от 0,02 Вт/(м·К) до 5 Вт/(м·К) требуется воспроизводить единицу с суммарной стандартной неопределённостью, не превышающей 0,5 %, и передавать размер единицы прецизионным средствам измерения, гарантируя, что предел их относительной погрешности не превысит 3 %.

Работы по выполнению задания "Создать Национальный эталон единицы теплопроводности" государственной научно-технической программы "Разработка и изготовление эталонов Беларуси, уникальных приборов и установок для научных исследований" проведены в период со II квартала 2011 г. по I квартал 2014 г.

Результатом выполненных работ:

– создание Национального эталона единицы теплопроводности, отвечающего современным требованиям науки и промышленности;

– повышение точности измерений теплопроводности;

– метрологическое обеспечение средств измерений теплопроводности, мер теплопроводности.

По результатам патентных исследований установлено, что данный эталон обладает патентной чистотой в отношении Республики Беларусь.

Состав эталона. В состав эталона входят:

– эталонная установка А-1 для воспроизведения теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 0,2 Вт/(м·К);

–эталонная установка А-2 для воспроизведения теплопроводности в диапазоне от 0,02 до 5 Вт/(м·К);

– наборы мер теплопроводности

Эталонные установки А-1 и А-2 включают:

– термостаты жидкостные LAUDA PROLINE RP 845;

– регуляторы-измерители температуры ПОЛИКОН 812;

– мультиметры KEITHLEY 2700;

– малогабаритные модульные системы питания Agilent Technologies N6700B;

– модули центрального и охранного нагревателей.

Эталонные установки А-1, А-2. В основу созданных эталонных установок положен стационарный метод горячей плиты с охранной зоной, являющийся наиболее точным методом определения теплопроводности. Измеритель теплопроводности собран по симметричной схеме.

В установках А-1, А-2 плиты-холодильники выполнены из меди. Рабочие поверхности характеризуются допускаемой высотой неровностей R_z 0,1. Отклонение рабочих поверхностей от плоскостности не превышает 20 мкм (0,006 %). Каждая плита состоит из основания и крышки.

Отличительной особенностью установок является разработка новой конструкции наиболее сложного и ответственного узла – модуля центрального и охранного нагревателей, представляющего собой диск диаметром 200 мм с центральной измерительной секцией диаметром 100 мм и кольцевой охранной зоной. В соответствии с СТБ ISO 8302 внешним диаметром модуля центрального и охранного нагревателей опреде-

ляются минимальные габариты испытываемых образцов: 300 мм в диаметре или по стороне квадратного основания.

Согласно СТБ ISO 8302 диаметр центральной секции должен быть в четыре раза, а диаметр охранной зоны – в восемь раз больше максимальной толщины образца. Таким образом, установки позволяют исследовать образцы материалов толщиной до 50 мм.

Существенной и с трудом поддающейся учёту является погрешность, обусловленная теплоотдачей с боковой поверхности модуля центрального и охранного нагревателей. Для уменьшения этой систематической составляющей погрешности следует проектировать модуль центрального и охранного нагревателей с минимально возможной толщиной. При проектировании и изготовлении установок за счёт применения принципиально новых технических решений удалось выполнить модуль центрального и охранного нагревателей толщиной 0,7 мм. Модуль центрального нагревателя состоит из симметрично расположенных относительно собственно центрального нагревателя трёх слоёв: изоляционного, термопарного и несущего.

Каждый термопарный слой содержит две абсолютные термопары в точках с радиусом 10 мм, а также шестнадцать спаев дифференциальных термопар, равномерно распределённых по окружности с радиусом 70 мм. Термопары выполнены из медного и константанового электродов в лаковой изоляции диаметром 0,08 мм. Пространство между термопарами заполнено синтетической плёнкой толщиной 0,1 мм с теплопроводностью 0,2 Вт/(м·К). Все термопары закрепляются на клеевой основе.

Проведение испытаний. Воспроизведение единицы теплопроводности на эталонных установках А-1 и А-2 осуществляется методом горячей плиты с помощью измерителя теплопроводности с симметричным первичным преобразователем. Теплопроводность – это один из видов переноса энергии от их тёплых участков к холодным в результате теплового движения и взаимодействия микрочастиц. Теплопроводность проявляет себя при наличии градиента температуры gradT и в одномерном стационарном случае описывается эмпирическим соотношением, на основе экспериментально полученных данных

$$q = -\lambda \mathrm{grad}T \qquad (1)$$

где q – поверхностная плотность теплового потока, Вт/м^2;

gradT – градиент температуры, К/м;

λ – теплопроводность, Вт/(м·К).

Тепловое сопротивление R_T представляет собой отношение разности температур между двумя изотермическими поверхностями ΔT к поверхностной плотности теплового потока между ними

$$R_T = \frac{\Delta T}{q}, \qquad (2)$$

где R_T – тепловое сопротивление, (м^2·К)/Вт;

ΔT – разности температур между двумя изотермическими поверхностями, К;

Введённое в некую систему тепло затрачивается на приращение внутренней энергии и совершение механической работы, исключая возможность совершения системой механической работы путем сохранения постоянства её объёма, можно записать

$$c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} - \mathrm{div}\lambda \cdot \mathrm{grad}T = 0, \qquad (3)$$

где c_v – изохорная теплоёмкость единицы объёма, Дж/(м^3·К)

τ – время, с;

$\mathrm{div}\lambda \cdot \mathrm{grad}T = div(-q)$ – дивергенция поверхностной плотности теплового потока.

Наличие в системе внутренних источников тепла учитывается введением в уравнение (3) их объёмной плотности q_v

$$c_v \frac{\partial T}{\partial \tau} - \mathrm{div}\lambda \cdot \mathrm{grad}T - q_v = 0. \qquad (4)$$

Уравнение измерений теплопроводности в общем случае можно записать в виде

$$\lambda = f(T, \tau, \mathrm{grad}T, c_v, q, q_v). \qquad (5)$$

Используемая методика прецизионных измерений теплопроводности должна содержать минимальное число неизвестных параметров, определяемых с максимально возможной точностью.

Равенство нулю левой части выражения (6) служит основным классификационным признаком для стационарных методов измерений теплопроводности

$$\frac{dT}{d\tau} = 0. \qquad (6)$$

Для метода горячей плиты с помощью измерителя теплопроводности с симметричным первичным преобразователем уравнение измерения теплопроводности имеет следующий вид

$$\lambda = \frac{0{,}5qh}{\Delta T}, \qquad (7)$$

где h – высота (толщина) образца, мм;

Поскольку тепловой поток делится между образцами поровну, в выражение (7) введён коэффициент 0,5.

Поверхностную плотность создаваемого при этом теплового потока рассчитывают по формуле

$$q = \frac{V \cdot I}{S}, \qquad (8)$$

где V – напряжение электрического тока I, подводимого к нагревателю площадью S.

Функция измерения теплопроводности образцов λ с учетом принятого способа измерения количества теплоты, подводимой к централь-

ному нагревателю, и его геометрии определяется по формуле

$$\lambda = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot h}{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta T}, \quad (9)$$

где V – напряжение постоянного электрического тока, создаваемое на основном нагревателе, В;

I – электрический ток, пропускаемый через основной нагреватель, А;

h – толщина образца, мм;

D – расчетное значение диаметра центрального нагревателя, мм;

ΔT – перепад температуры на образце, К.

Сличения. В 3-м квартале 2013 года проведены сличения по теплопроводности в диапазоне от 0,03 до 0,2 Вт/(м·К) В температурном диапазоне от 10 до 40 ºС, в которых участвовали национальные метрологические институты России (ВНИИМ – пилот), Республики Беларусь (БелГИМ) и Республики Казахстан (КазИнМетр).

Цель сличений состоит в предварительной оценке возможных расхождений результатов измерений в ключевом сличении КООМЕТ или МКМВ.

Транспортируемый эталон сравнения (ТЭС). В качестве ТЭС используют образцы пеноплэкса и органического стекла, специально изготовленные из теплоизоляционных материалов, которые включены в Каталог эталонных материалов ВНИИМ.

Результаты сличений. Измерения теплопроводности проводились при температуре (23,0±0,5)°С и повороте верхнего образца на 90°, на 180° и на 270°; при температуре (10,0±0,5)°С и при температуре (40,0±0,5)°С.

Полученные результаты сличений представлены в графической форме на рисунках 1 – 4.

Заключение. На основе результатов, полученных при исследовании метрологических характеристик эталона, можно сделать вывод, что создание эталона позволит:

– создать государственную систему метрологического обеспечения измерений теплопроводности твердых материалов;

– обеспечить научные подразделения, работающие в области энергосберегающих технологий, прецизионными средствами измерений теплопроводности;

– обеспечить потребность научного приборостроения в методах и средствах измерений тепловых величин, в аттестованных эталонных мерах, служащих для калибровки и поверки установок по определению теплопроводности;

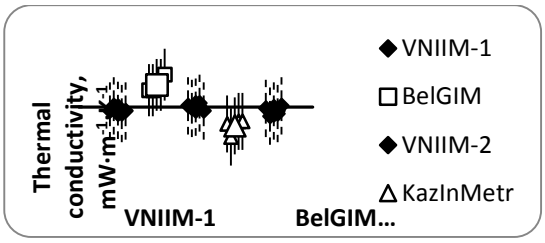


Рисунок 1 – Результаты измерений теплопроводности образцов из пеноплэкса при 23 ºС.

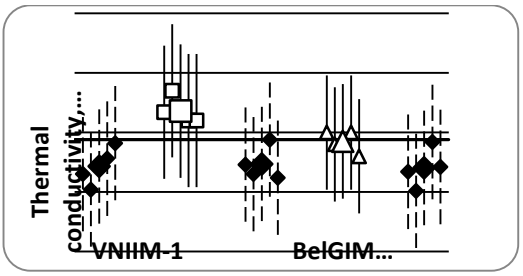


Рисунок 2 – Результаты измерений теплопроводности образцов из оргстекла при 23 ºС.

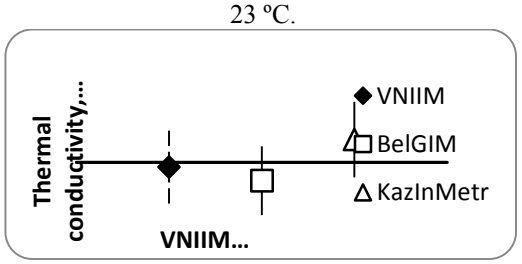


Рисунок 3 – Результаты измерений теплопроводности образцов из пеноплэкса при 10 ºС

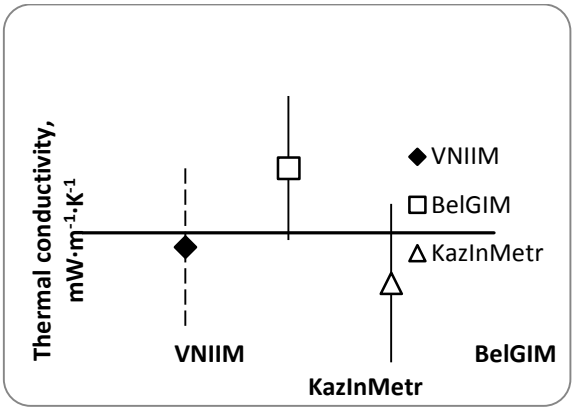


Рисунок 4 – Результаты измерений теплопроводности образцов из пеноплэкса при 40 ºС

– обеспечить потребность проектных и промышленных предприятий в стандартных и справочных данных о теплофизических свойствах материалов.

УДК 004.744.6:006

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРНЕТ-САЙТА КАФЕДРЫ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Купреева Л.В., Токаренко И.М., Щербина А.К.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В современной практике информатизации образования достаточно актуальным является вопрос о создании и поддержании в рабочем состоянии интернет-сайта кафедры учреждения высшего образования. Исходя из сложившейся демографической ситуации в Республике Беларусь, и уменьшением ежегодно числа поступающих абитуриентов в сайт кафедры можно рассматривать как один из наиболее влиятельных факторов управления поведением абитуриента. Трудно переоценить значимость представительства кафедры в сети интернет для ее развития в данной ситуации.

В настоящее время полностью завершена работа по созданию сайта кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» (далее – СМИС). Разработка интернет-сайта кафедры осуществлялась в соответствии с государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 2105-2012 «Информационные технологии. Интернет-сайты государственных органов и организаций. Требования». Данный стандарт устанавливает требования к разработке, дизайну, регистрации и размещению интернет-сайтов государственных органов и организаций.

С целью анализа факторов, влияющих на посещаемость и популярность сайта кафедры среди студентов, предварительно было проведено комплексное социальное исследование, включающее в себя анкетный опрос. В анкетировании приняли участие около 50 респондентов – студентов кафедры СМИС (около 34 % от общей совокупности студентов приборостроительного факультета).

Проблемная ситуация заключалась в отсутствии:

- объективной информации, необходимой для размещения на сайте кафедры,
- доступности навигационного меню на существующем сайте.

По результатам проведенного исследования (опроса) были сделаны следующие выводы:

- наиболее посещаемый ресурс при поиске информации о кафедре СМИС среди студентов – «http://www.bntu.by» (55 % респондентов);
- пользоваться существующим сайтом кафедры предпочитают 27 % студентов.
- посещаемость сайта студентами не более одного раз в 2 месяца, в том числе 25 % студентов второго курса вообще не знают о существовании данного информационного ресурса;
- представленным дизайном сайта были удовлетворены около 55 % студентов (более 35 % студентов скорее не удовлетворены существующим дизайном).

В рамках анкетирования респондентов были также получены рекомендации по информационному наполнению сайта:

- наличие электронных конспектов и методических пособий (76 % опрошенных);
- примеры выполнения курсовых проектов и работ, расчетно-графических работ и индивидуальных заданий по изучаемым дисциплинам (68 % опрошенных);
- информация о расписании занятий/экзаменов профессорско-преподавательского состава кафедры (44 % опрошенных);
- информация о распределении (наличии мест работы) для студентов 5 – 6 курсов специальности (16 %опрошенных);
- проведение полного изменения дизайна сайта кафедры (6 % опрошенных);
- создание фотогалереи кафедры (4 % опрошенных);
- информация о преподавателях (3 % опрошенных);
- информация о проводимых мероприятиях на кафедре (2 % опрошенных) и др.

На основании полученной информации нами были определены основные разделы и подразделы сайта, а также разработан предварительный макет (структура) сайта, содержащий примерное расположение основных информационных и навигационных элементов.

К существующим разделам «Научная деятельность» и «Наши проекты» были добавлены следующие разделы: «О кафедре», «Абитуриенту», «Студенту», «Выпускнику», «Журнал». В частности, опрос показал, что более 85 % студентов поддержали идею создания электронного журнала и около 55 % готовы принять участие в создании данного журнала.

Раздел «Абитуриенту» необходим для получения абитуриентами первичной информации о:

- деятельности кафедры и ее достижениях;
- престижности будущей профессии;
- организации учебного процесса по выбираемой специальности;
- стоимости обучения;
- зачислении студентов и др.

В данном разделе размещается также необходимая информация для родителей абитуриентов,

позволяющая сделать выбор в пользу обучения на кафедре СМИС.

Информация в разделе «Студенты» направлена на информационную поддержку студентов, а также на сокращение затрат на обслуживание студентов за счет перехода информации в онлайн-режим.

Раздел включает следующие подразделы:

- «Тесты» (для проверки собственных знаний студентов в рамках экзаменационной сессии);

- «База средств измерений» (для прохождения производственной практики);

- «Студенческая база знаний», содержащая перечень учебно-методических материалов, списки литературы, перечни контрольных вопросов к экзаменам по изучаемым дисциплинам, а также примеры выполнения курсовых проектов (работ) и расчетно-графических работ;

- «Доска объявлений».

Раздел «Выпускнику» необходим для поддержки выпускников кафедры и предоставляет информацию о правилах поступления в магистратуру/аспирантуру, результатах распределения выпускников прошлых лет, а также сведения об имеющихся вакансиях.

Предложенная структура вновь разрабатываемого интернет-сайта кафедры и его дизайн разрабатывались с учетом требований СТБ 2105.

В настоящее время информация, размещенная на интернет-сайте, стала доступной для пользователей независимо от уровня их образования и технической подготовки. Для обеспечения первоочередной загрузки важнейших элементов на странице интернет-сайта и их доступности основные навигационные ссылки были размещены в верхней части каждой страницы интернет сайта, а выбранный и определенный порядок навигации соблюдается на каждой странице интернет-сайта. Вся информация, размещенная на интернет-сайте, доступна посетителю через ссылку или пункт меню. Количество переходов по элементам навигации для доступа к запрашиваемой информации не превышает пяти. Навигационные элементы выделены на фоне остальных элементов интернет-сайта. Кроме того были соблюдены требования к механизму поиска для интернет-сайта. Форма поиска доступна на каждой странице интернет-сайта, а поле для ввода поискового запроса обеспечивает ввод не менее двадцати символов. Результаты поиска выводятся на отдельной странице, имеющей соответствующий заголовок (при этом поисковый запрос остается в строке поиска). Пользователь информируется соответствующим образом, если в результате поиска не было найдено никакой информации, удовлетворяющей поисковому запросу. При разработке интернет-сайта были также соблюдены требования к его дизайну в соответствии со стандартами The World Wide Web Consortium (W3C). Все страницы оформлены в едином стиле. Навигационные и интерактивные элементы страницы (ссылки, изображения, кнопки и т.п.) легко идентифицируются пользователями. На странице интернет-сайта не используются фоновые изображения, которые могут затруднить его восприятия или исказить информацию. Текст отображается с соответствующим уровнем контраста по отношению к используемому цвету фона. При задании размеров шрифтов, межстрочных интервалов и отступов между абзацами текста были использованы относительные величины. В процессе разработки не использовались эффекты, затрудняющие восприятие информации или отвлекающие пользователя от содержания документа, например, мерцания и мигания, эффекты выделения, движущиеся строки. На странице интернет-сайта использовались разные цвета для посещаемых и непосещаемых ссылок.

После верстки сайта нами была проведена его валидация, т.е. проверка HTML-кода на наличие ошибок и корректность. Валидация HTML-кода состоит из следующих типов:

- валидация синтаксиса. Данный вид проверки является одним из основных, так как от него зависят многие факторы в процессе продвижения сайта в поисковых системах. От валидации синтаксиса зависит корректность отображения всех элементов сайта;

- вложенность кода, т.е. проверяется правильность закрытия всех тэгов и их порядок (например, тэг - «блок»);

- валидация Document Type Definition. В данном случае проверке подлежит правильность написания всех тэгов, атрибутов и прочих элементов кода. Кроме того валидации подвергаются элементы внутри определенного кода;

- посторонние коды. Такой тип проверки способен выявить все ошибки в посторонних кодах (во всех остальных элементах кода).

При проверке разработанного сайта кафедры были устранены найденные ошибки и критические предупреждения и проведена повторная валидация.

Валидация сайта оказывает значительное влияние на продвижение сайта в SEO (англ. search engine optimization) и SMM (англ. social media marketing), а также на удобство и корректность эксплуатации, визуального отображения всех элементов.

Перед разработкой контент-стратегии необходимо было ответить на ряд вопросов. Например, возможные способы привлечения внимания аудитории, необходимые действия по вовлечению читателей с целью реагирования на контент и т.д.

Контент сайта создавался также с учетом требований SEO-оптимизации, а именно, в ответ на спрос аудитории (тактический подход к созданию контента), с учетом ключевых слов, по ко-

торым продвигается сайт; темы статей выбирались с учетом запросов пользователей.

Таким образом, разработанный интернет-сайт кафедры СМИС может существенно повысить интерес абитуриентов к обучению на кафедре, а также организовать эффективное взаимодействие между сотрудниками кафедры и студентами.

УДК 658.562

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОГРАММЫ АУДИТА СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Ленкевич О.А., Мясило Ю.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из ключевых задач современной организации является повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, добиться которой можно через внедрение системы менеджмента качества (СМК). Информацию о функционировании системы руководство организации получает при проведении внутренних аудитов и анализе СМК со стороны руководства. Стремительное развитие научно-технического прогресса неизбежно влечёт за собой рост чрезвычайных происшествий, кризисов и природных бедствий, а также значительное увеличение их последствий. Опасности, неопределенности и возможности сопутствуют любому виду деятельности, а результат их проявления для некоторого объекта характеризуют рисками.

На сегодняшний день рискам уделяется всё больше внимания. В стандартах ISO серии 31000, в частности, приводится указание о том, что «управление рисками необходимо включать во все процедуры и процессы организации таким образом, чтобы оно осуществлялось соответствующим образом, эффективно и результативно. Процесс управления риском должен стать частью этих организационных процессов и не должен отделяться от них. В частности, управление риском следует включать в разработку политики, стратегическое планирование, планирование деятельности и анализ, а также в процессы изменения управления».

С введением в действие с 01.03.2014 межгосударственного стандарта ГОСТ ISO 19011-2013 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента» вводится концепция риска в аудиты систем менеджмента. Принятый подход связан как с риском недостижения целей процесса аудита, так и с потенциальной возможностью вмешательства аудита в деятельность и процессы аудитируемой стороной. Данный стандарт акцентирует внимание на рисках программы аудита.

В стандарте не содержится конкретного руководства по процессу менеджмента рисков, поэтому присутствует необходимость в оценке рисков программы аудита систем менеджмента качества.

Для того чтобы реально понимать, с какими рисками приходится сталкиваться в процессе осуществления деятельности, а затем устранять их или снижать до допустимого уровня, необходимо реализовывать на постоянной основе деятельность – менеджмент рисков. Менеджмент рисков – это скоординированная деятельность для того, чтобы направлять и контролировать организацию в отношении рисков.

Процесс менеджмента риска способствует принятию решения с учётом неопределённости и возможности будущих событий или обстоятельств и их воздействие на цели. Непосредственно процесс менеджмента риска является сложной и многоуровневой процедурой, которую можно условно разделить на ряд этапов, выделяемых в соответствии с последовательностью действий по реализации данного процесса. В общем случае его можно представить в виде алгоритма, изображенного на рисунке 1.

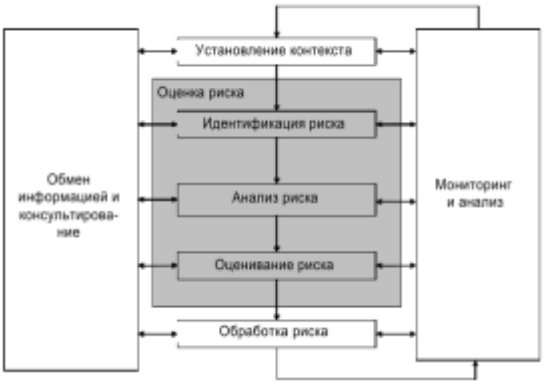


Рисунок 1 – Общий алгоритм менеджмента рисков

Оценка риска является частью менеджмента риска, которая обеспечивает систематизированный процесс, в ходе которого выявляются воздействия, которые могут оказываться на цели, и анализируется риск в отношений последствий и их вероятностей до принятия решения о том, потребуется ли последующая обработка риска.

Назначение оценки риска заключается в обеспечении получения информации и проведения анализа на доказательной основе для принятия обоснованных решений.

Оценку рисков программы аудита следует начинать с правильной классификации данных рисков. Стандарты ISO серии 9000 рассматривают любую деятельность или комплекс дея-

тельности, в которой используются ресурсы для преобразования входов в выходы, как процесс.

Поэтому предлагается классифицировать риски в соответствии с этапами менеджмента программы аудита:

- риски, связанные с установлением программы аудита, например, риск, связанный с незаинтересованностью высшего руководства;
- риски, связанные с внедрением программы аудита, например, риски, связанные с выбором критериев отдельного аудита;
- риски, связанные с мониторингом программы аудита, например, риски, связанные с оцениванием деятельности членов команды по аудиту;
- риски, связанные с анализом и улучшением программы аудита, например, риски, связанные с соответствием процедурам программы аудита.

Следующим шагом является выбор метода оценки рисков. Стандарт ISO/IEC 31010 приводит перечень методов, классифицируя их согласно этапам оценки рисков. Для результативной оценки необходимо проводить обоснование выбора метода с учётом применимости и пригодности.

После определения метода возникает проблема в выборе экспертной группы, которая будет проводить оценку рисков программы аудита. На практике при формировании экспертных групп широко используются различные методы количественной оценки качества экспертов (методы «квалиметрии квалиметрологов»). Наиболее обоснованными в настоящее время являются статистические методы оценки качества экспертов.

Далее рассматривается непосредственная задача оценки рисков программы аудита. Первым и одними из наиболее важных этапов являются идентификация риска. От его правильной организации во многом зависят дальнейшие решения в рамках менеджмента риска. Всесторонняя идентификация имеет большое значение, поскольку риск, не идентифицированный в рамках этого элемента процесса, может быть исключен из дальнейшего анализа. Идентификация должна включать риски независимо от того, управляет ими организация или нет. Цель данного этапа заключается в составлении подробного перечня рисков, основанного на тех событиях, которые могут создавать, повышать, предотвращать, снижать, ускорять или замедлять достижение целей. Наиболее распространёнными методами идентификации рисков являются метод Делфи, «мозговой штурм», структурированные или полуструктурированные опросы.

Не менее важным этапом является анализ рисков. Сущность анализа риска заключается в улучшении понимания риска. Анализ рисков позволяет получить входные данные для оценивания риска и принятия решений относительно обработки рисков, а также для выбора стратегий и методов наиболее подходящей обработки рисков. Анализ риска может также предоставлять входные данные для принятия решений, когда требуется сделать выбор, и варианты, включая различные типы и уровни риска. При анализе риска определяют последствия и их вероятности в отношении выявленных событий риска, принимая во внимание наличие (или отсутствие) и результативность каких-либо имеющихся мер управления. Затем последствия и их вероятности объединяют, чтобы определить уровень риска. Анализ риска включает рассмотрение причин и источников риска, их положительных и отрицательных последствий и вероятность того, что эти последствия могут возникнуть. Необходимо выявить факторы, влияющие на последствия, и вероятность. Событие может иметь множественные последствия и влиять на многие цели. Следует принимать во внимание существующие меры управления риском и их результативности. Анализ риска обычно включает количественную оценку ряда возможных последствий, которые могут возникать в результате события, ситуации или обстоятельства, и связанных с ними вероятностей для того, чтобы была возможность измерить уровень риска. Однако, в некоторых случаях, для которых последствия будут незначительными, или когда предполагается, что вероятность будет слишком низкой, для принятия решения может быть достаточно оценки отдельного параметра риска. Методы, применяемые при анализе риска, могут быть качественными, полуколичественными или количественными. Необходимая степень детализации зависит от конкретного случая применения, наличия достоверных данных и необходимости принятия решений организацией. При анализе часто используются FMEA-анализ, HAZOP.

Заключительным этапом является оценивание риска. Оценивание риска включает сравнение количественно оцененных уровней риска с критериями риска, определёнными при установлении контекста, с целью определения значительности уровня риска и его типа. Самой простой структурой определения критериев риска является отдельный уровень, который отделяет риски, которые нужно обрабатывать, от рисков, не требующих обработки. Оценивание риска основывается на понимании риска, достигнутом при анализе риска, и служит для принятия решений о последующих действиях.

После завершения оценки риска проводится обработка риска и включает выбор и согласование одного или нескольких соответствующих вариантов изменения вероятности возникновения, воздействия рисков или и того, и другого, и реализацию этих вариантов. Затем следует цик-

лический процесс повторной оценки нового уровня риска с целью определения его допустимости в сравнении с ранее установленными критериями с тем, чтобы принять решение о необходимости дальнейшей обработки данного риска.

УДК 006.91.06:621.3.029.64(047.31)(476)

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 300 МГЦ ДО 118,1 ГГЦ

Лобко В.П. [1], Галыго А.В.[1], Гусинский А.В.[2], Луферов А.Н.[2], Певнева Н.А.[2], Толочко Т.К.[1]

[1] Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Минск, Республика Беларусь

[2] Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ) в рамках Государственной научно-технической программы «Разработка и изготовление эталонов Беларуси, уникальных приборов и установок для научных исследований» (ГНТП «Эталоны и научные приборы») с 2008 г. по 2010 г. велись работы по созданию эталона единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 300 МГц до 37,5 ГГц (ЭЕМЭК). Соисполнителями задания являлись Научно-исследовательская лаборатория Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники» (НИЛ 1.9 БГУИР) и Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко» (НИУ ПФП).

Разработанный эталон позволяет воспроизводить СВЧ-сигналы в диапазоне частот от 300 МГц до 37,5 ГГц, проводить измерения и оценку калибровочных коэффициентов измерителей мощности в автоматическом режиме, создавать программы измерений, сохранять протоколы измерений, учитывать поправки при измерениях. Структурная схема эталона приведена на рисунке 1.

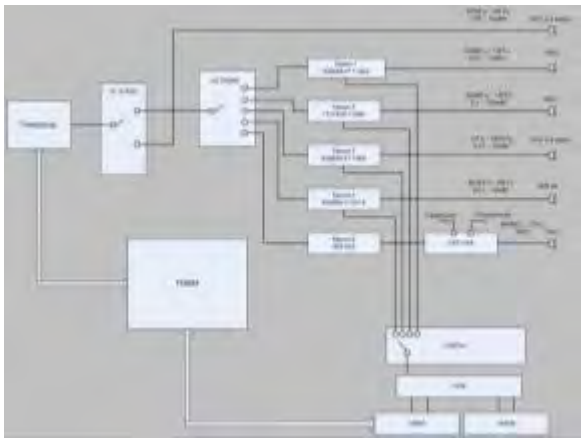


Рисунок 1 — Структурная схема эталона единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 300 МГц до 37,5 ГГц

В состав эталона входят:

– комплект термисторных преобразователей поглощаемой мощности (M1130A, M1109H, M1135A, 1107-8), аттестованных в NPL, Великобритания, и предназначенных для хранения единицы мощности электромагнитных колебаний и калибровки эталона;

– комплект преобразователей проходящей мощности (F1130A, F1109H, M1135A, 1107), предназначенных для передачи размера единицы;

– генератор Agilent E8257D, обеспечивающий воспроизведение СВЧ-сигналов;

– набор усилителей мощности (83006A, 1727A, 83020A, 83050A, 30S1G3);

– скалярный анализатор цепей Agilent 8757 D, предназначенный для оценки качества согласования измерителей мощности;

– измерительный блок Tegam 1806 в комплекте с мультиметрами 3458A, обеспечивающие измерение напряжения на выходе преобразователей поглощаемой и проходящей мощности, пропорционального входной мощности СВЧ-сигнала;

– набор коммутаторов и ПЭВМ для автоматизации процесса измерений и математической обработки результатов.

Для метрологического обеспечения измерителей мощности миллиметрового диапазона в Научно-исследовательской лаборатории БГУИР разработан и изготовлен эталонный измерительный комплекс единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 118,1 ГГц, позволяющий проводить поверку и калибровку измерителей мощности в волноводных трактах в автоматизированном режиме.

Принцип действия эталона единицы мощности миллиметрового диапазона аналогичен эталону, разработанному в БелГИМ. В волноводном тракте 2,4×1,2 мм (диапазон частот от 78,33 до 118,1 ГГц) в состав эталона входят: генератор СВЧ-сигналов SG6A; калибратор мощности РС78-118 и эталонный калориметрический преобразователь поглощаемой мощности PS78-118 с измерительными блоками РМ2, векторный анализатор цепей VNA78-118; управляющий

компьютер. Структурная схема измерительного комплекса приведена на рисунке 2.

Преобразователь мощности PS78-118 построен на основе полупроводниковых диодов и использует принцип преобразования СВЧ-мощности в постоянное напряжение, которое потом измеряется блоком ваттметра РМ2. Преобразование СВЧ-мощности происходит в детекторной секции, входящей в состав преобразователя PCal78-118, которая является согласованной нагрузкой.

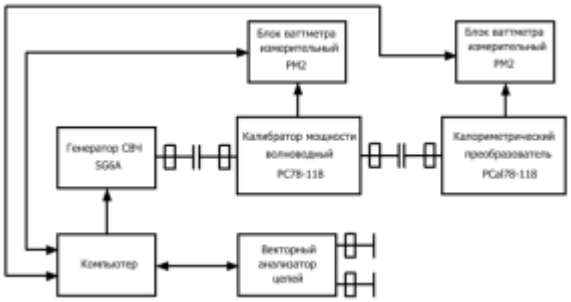


Рисунок 2 — Структурная схема измерительного комплекса в диапазоне частот от 78,33 до 118,1 ГГц

Структурная схема преобразователя PS78-118 приведена на рисунке 3.

P_X – входной СВЧ сигнал; $U_{РАБ}$ – выходное напряжение рабочего диода; $U_{ОП}$ – выходное напряжение опорного диода; I2C SCL – линия тактирования цифрового интерфейса I2C; I2C SDA – линия данных цифрового интерфейса I2C.

Рисунок 3 – Структурная схема приемного преобразователя PS78-118

Преобразователь представляет собой плавный переход с прямоугольного волновода сечением 2,4×1,2 мм на волноводно-щелевую линию, к концу которой подключен рабочий СВЧ-диод. Для термокомпенсации служит опорный диод, на который СВЧ-мощность не подается.

Метрологические характеристики преобразователя PS78-118 определялись сличением при помощи компаратора (в качестве компаратора использовался калибратор РС78-118) с измерителем мощности М 534, аттестованным в Харьковском ННЦ «Институт метрологии».

Результаты определения калибровочного коэффициента K_{CAL} в диапазоне мощностей от 3 до 5 мВт приведены на рисунке 4.

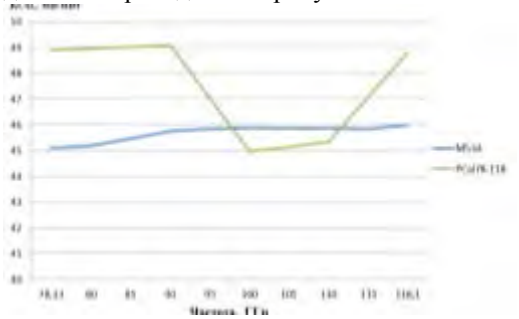


Рисунок 4 — Результаты определения калибровочного коэффициента K_{CAL} эталонного преобразователя PS78-118 в диапазоне мощностей от 3 до 5 мВт

Так как детектор является нелинейным в части рабочего диапазона (т. е. выходное продетектированное напряжение не всегда линейно пропорционально входной мощности), для расширения динамического диапазона и повышения точности измерений калибровочные коэффициенты определялись не только в диапазоне частот, но и в диапазоне мощностей [1]. График зависимости калибровочного коэффициента в диапазоне мощностей для разных частот приведен на рисунке 5.

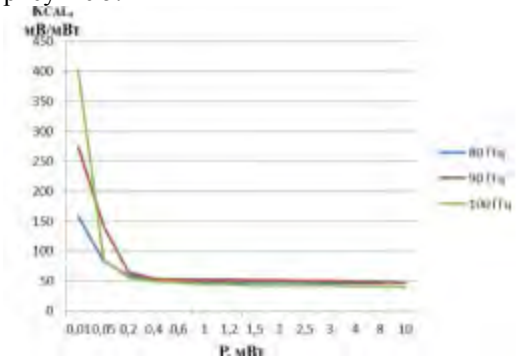


Рисунок 5 — Результаты определения калибровочного коэффициента K_{CAL} эталонного преобразователя PS78-118 в диапазоне мощностей от 0,01 до 10 мВт

Модуль энергонезависимой памяти EEPROM позволяет сохранить калибровочные данные преобразователя PS78-118 и использовать их в процессе дальнейших измерений для автоматической коррекции результатов.

Вывод: Разработанные эталоны единицы мощности электромагнитных колебаний обеспечивают частотный диапазон от 300 МГц до 118,1 ГГц.

1. Андерсон А. К вопросу о внутренней установке нуля и калибровке в датчиках ВЧ-мощности. – Компоненты и технологии. № 1 – 2006.

УДК006.91.531

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Лысенко В.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На кафедре «Стандартизация, метрология и информационные системы» Белорусского национального технического университета разработаны и используются компьютерные учебно-методические комплексы, включающие теоретические материалы, учебные программы, методические указания к лабораторным и практическим занятиям. В некоторые из комплексов входят мультимедийные средства обучения в виде мультипликаций с использованием различного программного обеспечения. Эти программы имеют разные уровни иллюстративности и абстрагирования. Например, программное обеспечение Flash-Macromedia позволяет создавать интерактивные средства обучения, в то время как 3d MAX представляет объекты, приближенные к реальному виду технических устройств.

Мультимедийные средства обучения обычно выполняются как наборы отдельных модулей и в учебно-методическом комплексе они могут быть связаны с текстами лекций и/или других учебных пособий гиперссылками.

Некоторые из таких модулей выполнены как обычная мультипликация, а другая часть – как интерактивные модели реальной системы. В интерактивных программных средствах пользователь имеет возможность изменять численные значения параметров модели по своему усмотрению или по предлагаемому закону и наблюдать изменения в функционировании системы в результате изменения параметров.

Современные информационные технологии позволяют создавать принципиально новые средства исследования и обучения, а также обеспечивают высокий уровень взаимодействия конструктора, исследователя или любого индивидуального пользователя и компьютера. Мультимедиа-технологии позволяют обеспечивать взаимодействие лектора и обучаемого, индивидуального пользователя и компьютера, открывая при этом новые возможности в области образования. В компьютерных учебно-методических комплексах можно использовать мультимедийные средства обучения в виде мультипликаций с использованием программного обеспечения либо в виде интерактивных моделей реальных систем. Часть таких средств выполнены как обычная мультипликация, а другая часть – как интерактивные модели реальной системы. В них пользователь имеет возможность изменять численные значения параметров модели по своему усмотрению или по предлагаемому закону и наблюдать изменения в функционировании системы в результате изменения параметров. При необходимости в модели меняются не только временные, силовые, энергетические и пространственные зависимости, определяющие состояние всей системы или ее отдельных элементов. При реализации процесса проектирования средств измерений на практических занятиях или его имитации на лекциях особый интерес представляет моделирование возникновения и изменения погрешностей средств измерений, имеющих систематический характер для конкретного экземпляра средства измерений.

В некоторой степени утрированные интерактивные модели дают возможность наглядно представить механизм образования погрешности, возможности управления её значениями и компенсации, а в некоторых случаях привести к решению об отказе от исследуемого варианта конструкции. При компьютерном моделировании отпадает необходимость разработки и изготовления экспериментальных установок, а также проведения экспериментальных исследований, что требует намного больше ресурсов, причем как технических и интеллектуальных, так и временных.

Эффективные программные средства могут оказаться полезными не только в учебном процессе, но и при реальном проектировании новых средств измерений.

В компьютерных учебных, исследовательских и производственных информационных технологиях можно использовать программное обеспечение АСКОН (например, КОМПАС-3D – систему трехмерного моделирования для создания интерактивных моделей реальных систем), AutoDesk (например, AutoCAD для создания интерактивных моделей реальных систем) и. Adobe Flash мультимедийная платформа для создания веб-приложений или мультимедийных презентаций. При использовании программ обеспечивается высокая наглядность процесса возникновения погрешности, однако в этом случае обучаемый является лишь наблюдателем и не может участвовать в процессе. Использование программ Flash-Macromedia позволяет пользователю не только наблюдать за процессом возникновения погрешности, но и участвовать в этом процессе, изменяя численные значения параметров модели и наблюдая изменения в функциониро-

вании системы в результате изменения параметров. При этом в ролик может быть включена возможность расчёта наблюдаемой погрешности по заданным параметрам.

Система КОМПАС-3D V12 предназначена для создания двух- и трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология системы позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. Ключевой особенностью «Компас-3D» является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН. Macromedia Flash - мультимедийная платформа, которая используется для создания веб-приложений или мультимедийных презентаций. Flash позволяет визуализировать погрешность, возникающую из-за различных отклонений от формы или расположения поверхностей реальных деталей, а также отобразить численное значение этой погрешности.

Недостатком данного графического редактора является схематичность представления графических даных, что может затруднить восприяте данной информации обычными пользователями и привести к неправилной интерпритации данных.

В данной статье графическое исследование погрешностей имеющих систематический характер при линейно-угловых измерениях было проведено примере контрольно-измерительных приспособлений для измерения полного радиального биения отверстия втулки, контрольного приспособления для контроля полного торцового биения торцовой поверхности ступенчатого вала и контрольного приспособления для контроля полного радиального биения поверхности ступенчатого вала.

На примере контрольного приспособления для контроля полного торцового биения ступенчатого вала проведены исследования инструментальной погрешности, с помощью теоретического расчета и практически, с помощью программного обеспечения КОМПАС-3D.

Все наши компьютерные модели относятся только к инструментальным составляющим погрешности и только погрешностям, имеющим систематический характер Инструментальная погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений. Фактически к инструментальным погрешностям относятся погрешности всех применяемых в данных измерениях технических средств и вспомогательных устройств, влияющих на результат измерений, включая погрешности прибора, мер для его настройки, дополнительных сопротивлений, шунтов, установочных узлов или соединительных проводов и т.д. Главной особенностью систематической погрешности является принципиальная возможность ее выявления, прогнозирования и однозначной оценки, если удается узнать вид функции и значения аргументов. В зависимости от характера измерения систематические погрешности подразделяют на элементарные и изменяющиеся по сложному закону. Элементарные погрешности можно условно разделить на постоянные, прогрессирующие (прогрессивные) и периодические. Прогрессирующими называют монотонно возрастающие или монотонно убывающие погрешности. Периодические погрешности – погрешности, изменение которых можно описать периодической функцией. Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, образуются при объединении нескольких систематических погрешностей.

Рассмотрена составляющая погрешности измерений – погрешность, вызванная неперпендикулярностью направляющей.

Таким образом, можно рассчитать погрешность измерения торцового биение детали данного типа, обусловленную неперпендикулярностью оси направляющей:

Также было рассмотрено другое контрольное приспособление для контроля полного радиального биения отверстия детали и проведено исследование инструментальной погрешности с помощью теоретического расчета и практически, с помощью программного обеспечения КОМПАС-3D.

С целью визуализации механизма действия погрешностей, возникающих из-за отклонения от формы и расположения поверхностей использовалась мультимедийная платформа Macromedia Flash.

Рассмотрена составляющая погрешности измерений при измерении полного радиального биения – погрешность, вызванная отклонением от перпендикулярности оси стойки.

Обеспечивается вовлеченность пользователя в процесс исследования погрешностей, т.к. он является не просто наблюдателем, но и может участвовать в этом процессе, изменяя численные значения параметров геометрической модели и наблюдая изменения погрешности системы в результате изменения параметров.

1. Гиль Н., Лысенко В.Г. Исследование процесса возникновения погрешностей при линейно-угловых измерениях с помощью программных средств. Материалы 5-й Международной НТК. «Новые направления развития приборостроения». Минск, БНТУ. 2012.
2. Лысенко В.Г., Гиль Н.Н., Комиссарова К.В. Исследование инструментальных погрешностей измерения с применением программ

AutoCAD и КОМПАС-3D. Материалы 10-й Международной научно-технической конф. «Наука – образованию, производству, экономике». Минск, 2012.
3. Лысенко В.Г., Цитович Б.В.: Применение средств мультимедиа при изучении технических дисциплин**.** Материалы 5-международной научно-технической конференции «Приборостроение-2012» Минск.2012.
4. Лысенко В.Г., Цитович Б.В.: Комплексное обеспечение студентов компьютерными учебно-методическими материалами Материалы одиннадцатой МНТК «Наука – образованию, производству, экономике», БНТУ Минск 2013.

УДК 534.16

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ РОБОТОСТРОЕНИЯ

Лысенко В. Г., Минченя В.Т.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с актуальными проблемами проектирования принципиально новых роботов. Показано, что использование биологических прототипов для создания роботов и новых методов проектирования позволит решить многие проблемы в этой области. Решение многих проблем проектирования новых роботов базируется на изучении движения насекомых и животных в природных условиях и использовании компьютера для поддержки работы инженера. Функции роботов могут быть реализованы несколькими существенно различными способами. В последние годы центр исследования переместился все больше к безногому (apedal) передвижению роботов, которые созданы подобно змеям или червякам и т.д.

При использовании принципа работы и кинематики биологических образцов, имеется возможность разработать новые идеи для усовершенствования перемещающихся роботов. Некоторые биологические объекты используют необычные способы перемещения своих конечностей, чтобы получить необходимую траекторию. Они изменяют форму и размеры тела, чтобы создать необходимое движение ног. Исследования биологических объектов или альтернативных технических систем и использование новых методов проектирования биологически подобных роботов позволят создать новых роботов и другие технические системы. Используя принцип работы и кинематику биологических прототипов можно получить новые идеи для улучшения движущихся роботов. Некоторые биологические объекты используют необычные способы перемещения своих конечностей по необходимой траектории. По нашему мнению, существует лишь 4…5 наиболее распространенных принципов функционирования биообъектов для создания необходимой траектории движения ног. Предлагаемый подход и анализ биологических прототипов позволил нам создать несколько новых ползающих и шагающих роботов.

В обычных шагающих роботах используют несколько приводов для перемещения каждой ноги. Наши роботы отличаются тем, что каждый привод используется для перемещения нескольких ног. Таким образом, нам удалось минимизировать количество приводов у робота. Это позволит сделать новые шаги в направлении миниатюризации ползающих и шагающих роботов. Можно использовать принцип движения как у Polichetae. В этом биообъекте ноги не имеют приводов и степеней свободы относительно тела. Они жестко прикреплены перпендикулярно к поверхности тела и перемещаются и наклоняются вместе с деформацией этой поверхности. Для получения нужной траектории дистального конца ноги Polichetae и Holothouria используют деформацию корпуса в виде бегущей волны. Количество ног-иголок не ограничено, количество приводов, создающих деформацию корпуса, минимально. Можно создать миниатюрные (микро) роботы с большим количеством ног и с незначительным количеством малогабаритных приводов. Нами разработан двигающийся робот-зонд с десятками и даже сотнями ног и только с 4-мя приводами - «Holothourobot». Он может быть использован в медицине для минимально инвазивной хирургии.

Некоторые биообьекты изменяют форму и размеры своего тела, чтобы создать нужное движение ног. Например, саламандра изгибает тело в горизонтальной плоскости и, благодаря этому, перемещает свое тело относительно точек опоры. Используя деформацию тела робота в горизонтальной плоскости, можно обеспечить его перемещение за счет минимального количества приводов. Приводы не соединены с ногами, они нужны лишь для деформирования тела робота. При наличии трех приводов можно обеспечить перемещение робота, имеющего шесть или даже восемь ног. Нами создана движущаяся механическая модель шагающего робота с восемью ногами и деформируемым телом, к которому же-

стко присоединены эти ноги. Деформация тела обеспечивается тремя линейными приводами.

Возможно создание различных вибрирующих роботов с использованием всего одного привода в виде источника вибрации корпуса робота. Нами создана модель вибро-микроробота, представляющего собой полый цилиндр, внутри которого находится ультразвуковой привод. На внешней поверхности цилиндра расположены эластичные короткие стержни так, что вдоль образующей и направляющей имеет место периодическое расположение стержней, при этом стержни обязательно имеют наклон в сторону противоположную направлению движения. При включении источника ультразвуковых колебаний стержни начинают вибрировать так, что при помещении цилиндра в трубу с диаметром несколько большим диаметра цилиндра, робот достаточно быстро перемещается вдоль трубы, что свидетельствует о том, что колебания отдельных стержней синхронизируются в продольном направлении. Основной недостаток такой модели, заключается в том, что не удается обеспечить реверсивное движение робота внутри трубы.

Некоторые летающие насекомые создают резонансные колебания своих крыльев благодаря периодическому изменению формы и размеров своего жесткого тела. У этих насекомых мускулы соединены не с крыльями, а со стенками жесткого тела и деформируют его. Деформация тела превращается в колебание крыльев. Можно создать движущийся робот, у которого вибрировать будет корпус, а ноги будут лишены приводов. Нужная траектория дистальной части ноги образуется за счет возбуждения в проксимальной части упругой криволинейной ноги высокочастотных колебаний и за счет механической трансформации этих колебаний в низкочастотные. Мы разработали принципиально новую миниатюрную движущуюся систему «Minchrobot». В качестве корпуса и привода используется пьезоэлектрическая биморфная пластина. К ней прикреплены упругие изогнутые ноги на дистальных частях которых можно получить низкочастотные колебания с различными траекториями движения кончика ноги. Трансформация высокочастотных колебаний корпуса робота в низкочастотные колебания концов ног происходит благодаря эластичности ножек, их относительно большой длине и трехмерному изгибу для придания им специфической формы. Наша модель перемещалась по гладкой поверхности со скоростью до 500 мм в секунду.

1. Lysenko, V: Method for improving actuators by modelling the motion of an earthworm. 1. International Conference on Motion Systems, Univ. Jena, 1997
2. V. Lysenko and K. Zimmermann, “Entwurfsmethode für die Entwicklung mobiler Roboter basierend auf einer interaktiven morphologischen Matrix,” 49. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium, TU Ilmenau, 2004.
3. K. Zimmermann, V. Lysenko and V. Minchenya, “Minimization of the number of actuators in legged robots using biological objects,” 52. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium, TU Ilmenau, 2007.
4. K. Zimmermann, V. Lysenko, V. Minchenya, F. Becker and I. Zeidis, “Vibration driven robots - theoretical investigations, design and prototypes,“ Proc. of Int. Conf. of Instrument-making, BNTU Minsk, 2010.
5. Victor Lysenko, Anatoly Chigarev, Klaus Zimmermann, Felix Becker “ Design of New mobile robot with using anisotropy of friction forces”.56 Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium, TU Ilmenau, 2010.

УДК 681.12.08(047.31)(476)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАСХОДОМЕРНОЙ УСТАНОВКИ INOTECH

Манкевич О.Д., Жагора Н.А.
Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

В 2011 году в БелГИМ введена в эксплуатацию установка для испытаний, калибровки и поверки промышленных счетчиков газа Inotech (далее — расходомерная установка Inotech). В работе [1] описаны конструкция и принцип работы данной установки. После введения ее в эксплуатацию возникла задача по определению метрологических характеристик расходомерной установки Inotech при измерении расхода воздуха. Решение этой задачи основывается на рекомендациях [2] и [3] по определению метрологических характеристик и оценке неопределенности измерений расходомерных установок, предназначенных для испытаний газовых счетчиков. Основой для оценки неопределенности измерений является «Руководство ISO по выражению неопределенности в измерении» (1993). [4]

В соответствии с [2] и [3] рабочий эталон калибруется при помощи перемещаемого эталона объема. При этом перемещаемый эталон устанавливается в проверочную линию на место,

где обычно располагается испытуемый образец (рабочий эталон при этом условно становится испытуемым образцом). Измеряется абсолютное давление на перемещаемом и рабочем эталонах. Для измерения объема постоянно используются высокочастотные импульсные выходы счетчиков.

При проведении работ по калибровке этим методом определяют значение объема, измеренное расходомерной установкой и следующие значения неопределенности:

– неопределенность измерений объема рабочим эталоном при его калибровке $U_{\text{Vist,GN}}$;

– неопределенность калибровочного значения рабочего эталона при применении полинома выравнивания U_{GN};

– неопределенность измерений $U_{\text{Vist,P}}$ объема расходомерной установкой при применении рабочего образца, откалиброванного с неопределенностью U_{GN}.

При этом $U_{\text{Vist,P,}}$ – это суммарная неопределенность, которая принимается в качестве неопределенности расходомерной установки.

1. Неопределенность измерений объема рабочим эталоном при его калибровке $U_{\text{Vist,GN}}$.

Неопределенность измерений объема рабочим эталоном определяется путем сравнения объемов, измеренных рабочим и перемещаемым эталонами. При этом объем, измеренный рабочим эталоном, определяется по формуле

$$V_{istGN} = \frac{T_{GN} P_{TN} V_{istTN}}{T_{TN} P_{GN}}, \qquad (1)$$

где T_{GN} — температура на рабочем эталоне;

P_{TN} — давление на перемещаемом эталоне;

V_{istTN} — объем, измеренный перемещаемым эталоном;

T_{TN} — температура на перемещаемом эталоне;

P_{GN} — давление на рабочем эталоне.

В случае некоррелированных входных величин стандартная суммарная неопределенность при измерении объема рабочим эталоном рассчитывается по формуле

$$U_{VistGN} = \sqrt{2c_P^2 U_P^2 + 2U_T^2 + U_{TN}^2 + 2U_V^2}, \quad (2)$$

где c_{p} — коэффициент чувствительности;

U_{P} — неопределенность при измерении давления и перепада давлений;

U_T — неопределенность при измерении температуры;

U_{TN} — неопределенность измерений объема перемещаемого эталона;

U_{V} — неопределенность при индикации объема.

2. Неопределенность калибровочного значения рабочего эталона при применении полинома выравнивания U_{GN}

Отклонения погрешности измерений от полинома выравнивания обладают определенной флуктуацией, которая при применении этого полинома выравнивания должна рассматриваться как дополнительная неопределенность U_{Appr} калибровочного значения. В [3] для этого значения в качестве минимального требования установлена верхняя граница $U_{\text{Appr}} = 0{,}18$ %.

Неопределенность калибровочного значения U_{GN} рабочего эталона рассчитывается по формуле

$$U_{GN} = \sqrt{U_{V_{istGN}}^2 + U_{Appr}^2}. \qquad (3)$$

3. Неопределенность измерения $U_{\text{Vist,P}}$ объема расходомерной установкой при применении рабочего эталона, откалиброванного с неопределенностью U_{GN} рассчитывается по формуле

$$U_{VistP} = \sqrt{2c_P^2 U_P^2 + 2U_T^2 + U_{GN}^2 + 2U_V^2}. \quad (4)$$

Составляющие неопределенности, входящие в формулу (4) рассчитываются аналогично, как для рабочего эталона при его калибровке.

В настоящее время в БелГИМ отсутствует возможность технической реализации метода калибровки расходомерной установки, описанного выше. Поэтому была разработана методика оценки неопределенности измерений расхода воздуха, пришедшего на вход эталонного счетчика расходомерной установки Inotech, как суммарной неопределенности всех измерительных каналов, входящих в состав установки.

При оценке неопределенности математическая модель измерений имеет следующий вид:

$$Q_{эт} = \frac{V_{эт}}{\tau} = \frac{970481{,}125 \cdot N_{эт} \cdot P_{эт}}{(c_{эт} + \delta c) \cdot (100 + f_N) \cdot T_{эт} \cdot \tau_{эт}}, \quad (5)$$

где число, равное 970481,125 — значение, полученное при перемножении постоянных коэффициентов;

$N_{эт}$ — количество импульсов от эталонного счетчика, имп;

$P_{эт}$ — абсолютное давление на эталонном счетчике, кПа;

$c_{эт}$ — вес импульса эталонного счетчика, имп/м^3;

δc — поправка вследствие округленного значения веса импульса эталонного счетчика, имп/м^3;

f_N — погрешность эталонного счетчика, %;

$T_{эт}$ — температура на эталонном счетчике, К;

$\tau_{эт}$ — время измерений эталонным счетчиком, с.

За оценки таких входных величин, как количество импульсов от эталонного счетчика, абсолютное давление, температура, время измерений

принимаются средние арифметические значения n повторных наблюдений. Вес импульса эталонного счетчика является постоянной величиной, значение которой указано на маркировочной табличке счетчика.

За оценку входной величины f_N принимается значение погрешности эталонного счетчика, отображаемое в соответствующем окне ПО.

Для некоррелированных величин суммарную стандартную неопределенность измерений расхода воздуха, пришедшего на вход эталонного счетчика следует находить по формуле

$$u(Q_{cm}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{N}\left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 u^2(x_j)} = \sqrt{\sum_{j=1}^{N}\left[c_j u(x_j)\right]^2}, \quad (6)$$

где $u(x_j)$ — стандартная неопределенность величины x_j;

$c_j = \frac{\partial f}{\partial x_j}$ — коэффициент чувствительности;

$u_j(Q_{cm})$ — вклад в суммарную стандартную неопределенность.

Таким образом, суммарная стандартная неопределенность измерений расхода воздуха, пришедшего на вход эталонного счетчика, рассчитывается по формуле

$$u(Q_{cm}) = \sqrt{\begin{array}{l} c^2_{N_{изм}} u^2(N_{эт}) + c^2_{P_{эт}} u^2(P_{эт}) + \\ + c_t^2 u^2(t) + c^2_{\delta c} u^2(\delta c) + \\ + c^2_{f_N} u^2(f_N) + c^2_{\tau_{эт}} u^2(\tau_{эт}) \end{array}}, \quad (7)$$

где $u(N_{эт})$ — стандартная неопределенность измерений количества импульсов, пришедших на вход блока управления установкой от эталонного счетчика и отображенная на экране компьютера;

$u(P_{эт})$ – стандартная неопределенность измерений давления на эталонном счетчике;

$u(t)$ – стандартная неопределенность измерений температуры на эталонном счетчике;

$u(\delta c)$ – поправка вследствие округленного значения веса импульса эталонного счетчика;

$u(f_N)$ – стандартная неопределенность при определении погрешности эталонного счетчика;

$u(\tau_{эт})$ – стандартная неопределенность измерений времени измерений эталонным счетчиком.

Как видно из вышеизложенного, при оценке неопределенности измерений расхода воздуха расходомерными установками можно использовать различные подходы, но, несмотря на выбранный метод калибровки, при расчете неопределенности измерений необходимо учитывать большое количество влияющих величин.

1. Создание эталонного расходомерного комплекса до 6500 м^3/ч/ Жагора Н.А., Мартынов Н.Е., Манкевич О.Д.// Метрология и приборостроение. Научно-технический журнал − 2013, № 1(60).
2. Dietrich, H.; Hotze, H.-J.; Jarosch, B.; Jünger, F.-J.; Kämpf, M.; Kramer, R.; Mickan, B.; Nath, B.; Polzin, H.; Wendt, G. Band 29: Messgeräte für Gas – Gaszähler: Prüfung von Volumengaszählern mit Luft bei Atmosphärendruck. − 2003.
3. Wendt, G., Dietrich, H.; Hotze, H.-J.; Jarosch, B.; Jünger, F.-J.; Kämpf, M.; Kramer, R.; Mickan, B.; Nath, B.; Polzin, H. Band 30: Messgeräte für Gas – Hochdruckprüfung von Gaszählern − 2003.
4. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. − ISO. Switzerland − 1993.

УДК 006.86

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ И ПРОВЕДЕНИЕ ВАЛИДАЦИИ ПРОЦЕССА УПАКОВКИ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В БЛИСТЕРЫ

Минько Д.В.[1], Тимофеева Т.Л.[1], Тимощук И.В.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

[2]ЗАО «Алтимед», Минск, Республика Беларусь

За последнее время острота проблемы внутрибольничных инфекций не только не уменьшается, но и сохраняет тенденцию роста, несмотря на многообразие новых средств, и методов дезинфекции и стерилизации. Основной причиной внутрибольничных инфекций является нарушение стерильности медицинских изделий и изделий медицинского назначения (далее − ИМН).

Одним из составляющих компонентов успешного сохранения стерильности ИМН является финишная упаковка.

Основными задачами финишной упаковки для ИМН, подлежащих стерилизации, являются: защита стерильного материала от повторного загрязнения после стерилизации, возможность асептическим образом извлекать изделие из упаковки после стерилизации, сохранение стерильности упакованных ИМН при хранении и транспортировке.

Система упаковки для ИМН, подлежащих финишной стерилизации, должна обеспечивать физическую защиту, поддержание стерильности и асептического состояния готовности до момента использования ИМН.

В Республике Беларусь требования к процессу упаковки для ИМН, подлежащих финишной стерилизации, устанавливают стандарты серии СТБ ISO 11607 «Упаковка медицинских

изделий, подлежащих финишной стерилизации». В странах Европейского сообщества данные требования устанавливаются стандартами серии EN 868 «Упаковка медицинских изделий, подлежащих финишной стерилизации».

На данный момент наиболее прогрессивным видом упаковки ИМН является блистерная упаковка, состоящая из жесткого полимерного контейнера (блистера) и подложки из специальной полимерной бумаги Tyvek, которые свариваются между собой при помощи нагрева в специальном прессе, обеспечивая герметичность.

Основная характеристика упаковки – герметичность, определяется качеством сварного шва, соединяющего блистер и бумагу. В тоже время, чересчур прочный сварной шов, обеспечивая наивысшие показатели герметичности, приводит к разрывам бумаги упаковки при вскрытии, сопровождающимся попаданием пыли и ворса на стерильную поверхность ИМН. Поэтому важнейшими требованиями к качеству сварного шва являются обеспечение, с одной стороны, 100 % гарантии герметичности упаковки до ее использования и, с другой стороны, 100 % отделяемости бумаги от блистера при ее вскрытии [1].

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка и валидация процессов упаковки ИМН являются ключевыми для обеспечения целостности упаковки и сохранения её в таком состоянии до использования.

С 1 января 2015 года на территории Республики Беларусь вступит в силу ТР 2010/006/BY «Медицинские изделия. Безопасность». Однако данный документ, не устанавливает конкретных требований к процессу упаковки ИМН.

На данный момент ведется работа над проектом ТР/201_/00_/ЕврАзЭС «Безопасность упаковки». Область применения данного документа также не распространяется на упаковку медицинских изделий и ИМН.

Основными документами, регулирующими процесс упаковки ИМН, подлежащих финишной стерилизации, в Республике Беларусь являются СТБ ISO 11607 − 1 «Упаковка медицинских изделий, подлежащих финишной стерилизации. Часть 1. Требования к материалам, системам обеспечения стерильности и системам упаковки» и СТБ ISO 11607 − 2 «Упаковка медицинских изделий, подлежащих финишной стерилизации. Часть 2. Требования к валидации процессов формования, запечатывания и сборки». Однако данные документы не описывают подробно, как проводить процедуру валидации процесса упаковки ИМН, подлежащих финишной стерилизации.

Показано, что валидация процесса упаковки ИМН включает: аттестацию монтажа, аттестацию функционирования и аттестацию эксплуатации оборудования [2].

В ходе аттестации монтажа рассмотрены конструктивные особенности используемого в процессе упаковки оборудования, условия его монтажа, определены диапазоны параметров процесса упаковки ИМН в блистеры, проведена квалификация персонала, осуществляющего процесс изготовления блистеров и упаковки ИМН, рассмотрены вопросы калибровки оборудования

Особое внимание уделено требованиям к материалам, используемым при изготовлении блистеров.

Показано, что упаковочные материалы общего применения должны соответствовать следующим требованиям (СТБ ISO 11607 1):

– материалы должны быть невыщелачиваемыми, нетоксичными и не должны иметь запаха;

– на поверхности материалов не должно быть физических повреждений;

– плотность материала должна соответствовать плотности, заданной изготовителем;

– удельные и минимальные физические характеристики должны соответствовать требованиям, предъявляемым к ИМН, процессам упаковывания и финишной стерилизации;

– особые химические свойства должны соответствовать требованиям, предъявляемым к ИМН, процессам упаковывания и финишной стерилизации;

– материалы не должны содержать и выделять токсические вещества перед, во время и после проведения процесса стерилизации;

– материалы и компоненты упаковки и ИМН не должны реагировать перед, во время и после проведения процесса стерилизации.

При аттестации функционирования определены:

− степень влияния уровней факторов, влияющих на процесс упаковки изделий в блистер;

− оптимальное соотношение влияющих факторов, при которых прочность сварного шва будет обеспечивать герметичность и 100 % отделяемость блистера от бумаги при ее вскрытии;

− произведены испытания качества сварного шва блистера.

Методом дисперсионного анализа (ANOVA) установлено, что основными факторами, влияющими на качество сварного шва, являются «температура пресс-формы» и «длительность сварки».

При испытаниях прочности сварочного шва блистерных упаковок было установлено, что прочность шва партии блистерных упаковок, изготовленных при параметрах технологического процесса «температура пресс-формы» T = 90 ºC и «длительность сварки» t = 6,0 с, со-

ставляет 0,36 МПа, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к упаковке ИМН, подлежащим финишной стерилизации, установленным производителем материалов и оборудования.

В ходе *аттестации в эксплуатации* показано, что при условиях, определённых в ходе аттестации функционирования, процесс упаковки будет приводить к стабильному выпуску соответствующей техническим требованиям блистерной упаковки ИМН, оценены статистические показатели стабильности процесса упаковки ИМН в блистеры.

В ходе валидации процесса упаковки было доказано, что разработанный процесс упаковки ИМН в блистеры является сходимым и воспроизводимым (Ср > 1,33; Рстаб > 0,9).

По окончанию выполнения работ составлен заключительный отчёт по валидации процесса упаковки ИМН в блистеры.

Заключительный отчет предназначен для ведущих менеджеров фирмы, инспекций и аудиторов как сводный информационный материал.

Отчет включает в себя следующие разделы:

– описание системы и главные спецификации;

– обзор всей документации по валидации процесса упаковки;

– краткое описание процедуры валидации процесса упаковки;

– основные заключения по проведенной валидации процесса упаковки;

– совокупность рекомендаций.

Таким образом, в рамках проведенной научной работы были проанализированы требования НД и ТНПА, а также других документов к процессу упаковки ИМН; составлена классификация видов упаковки ИМН по различным классификационным признакам; спланирован порядок действий по валидации процесса упаковки ИМН, подлежащих финишной стерилизации; проведена валидация процесса упаковки ИМН в блистеры; проведены испытания прочности сварного шва блистерной упаковки на разрыв, осуществлён расчёт расширенной неопределённости при испытаниях прочности на разрыв сварочного шва блистерной упаковки, доказана сходимость и воспроизводимость процесса упаковки ИМН в блистеры, составлен заключительный отчёт.

1. Попов А.Ю. Использование блистерной упаковки в медицинском производстве // Чистые помещения и технологические среды. –2004. –№ 7. –С.7–8.
2. Guideline on General Principles of Process Validation (Указания по общим принципам валидации процесса) // FDA. –1998.

УДК 681.2

ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Новиков А.А., Воробей И.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Трансформаторы относятся к числу наиболее распространенных электротехнических элементов приборов. К ним предъявляются различные требования, изложенные в технических условиях на каждый из типоразмеров. По назначению трансформаторы делятся на силовые, предназначенные для питания различных электрических устройств; промежуточные, предназначенные для согласования электрических цепей; выходные, предназначенные для преобразования уровня выходного напряжения усилителей мощности.

Основными требованиями к трансформаторам являются следующие: коэффициент трансформации (обычно задается значением выходного напряжения при номинальном входном), ток холостого хода (измеряется в первичной обмотке при отсутствии нагрузки на вторичных), рабочие токи в обмотках под нагрузкой, сопротивление изоляции.

Методики испытаний трансформаторов предусматривают измерение перечисленных параметров при различных режимах работы и после воздействия различных внешних факторов. В связи с этим различают испытания в нормальных условиях, испытания на теплостойкость, климатические испытания и др.

Область применения приборов, в которой на них действуют вибрации, и ударные нагрузки неизбежно растёт. В связи с этим является актуальным вопрос контроля сохранности параметров трансформаторов после воздействия данных видов нагрузок т.к. это будет влиять на точность, срок службы и надежность прибора. В данной работе будет рассматриваться методика для испытаний трансформаторов на виброустойчивость.

Комплекс предназначен для проведения испытания трансформаторов на два рода воздействий: вибрации и удары.

Испытание на виброустойчивость.

Испытание проводят с целью проверки способности изделий выполнять свои функции и сохранять свои параметры в пределах значений,

указанных в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, в условиях воздействия вибрации в заданных режимах.

В процессе воздействия вибрации и после ее прекращения должны соблюдаться следующие условия:

-ток холостого хода не должен увеличиться более чем на 5 % от значения, измеренного до испытания.

-напряжение вторичной обмотки при холостом ходе должно остаться неизменным

-не должно произойти механических повреждений трансформатора.

Для испытаний предлагается использовать вибростенд ВЭДС-100Б. Вибростенды серии ВЭДС предназначены для проведения испытаний изделий на воздействие однокомпонентной гармонической вибрации, широкополосной случайной вибрации, на ударную вибропрочность и т.п. и могут эксплуатироваться в лабораторных и производственных условиях в различных отраслях промышленности. Управление работой стенда ручное и автоматическое.

Технические параметры:

-Диапазон частот, Гц: от 5 до 5000;

-Амплитуда вибросмещения, мм: ±7,5;

-Максимальное ускорение без нагрузки, g:40;

-Вес испытуемого изделия, кг: до 50.

Рисунок 1 – Внешний вид вибростенда ВЭДС-100Б

Примечание: Рабочим направлением вибратора ВЭД-IOOA считается его вертикальное положение. При работе вибратора в горизонтальном и олове них его технические характеристики не нормируются. Как рекомендация при горизонтальной работе испытуемое изделие и устанавливаемое виброускорение по массе и величине должны быть в два раза меньше допустимого. Время непрерывной работы не более 4 часов.

Испытание на ударную прочность

Испытание на ударную прочность проводят методом 104-1, ГОСТ 20.57.406 .

Для передвижных и перемещаемых изделий, предназначенных для эксплуатации при перевозках транспортом, не работающих в движении (например, групп исполнения М18, М20, М23—М27, М29, М32—М34, М37, М46, М47), при отсутствии стендов соответствующей *грузоподъемности, допускается проводить* испыта ния путем перевозки на автомашинах, причем расстояние, скорость, вид покрытия дороги выбирают в соответствии с методикой испытания изделий в упаковке на прочность при транспортировании по ГОСТ 23216 и согласовывают с заказчиком. Должны быть также *указаны способ крепления* изделий и *степень загрузки авто* - машины.

Испытание проводят путем воздействия механических ударов многократного действия. Величина пикового ударного ускорения и общее число ударов должны соответствовать указанным в табл. 1.

Таблица 1

Степень жесткости	Пиковое ударное ускорение.	Общее число ударов в стандартах и ТУ	Для предусмотренной на изделия выборке более 3 шт.
1	30(3)	12000	10000
2	70(7)	1200	1000
3	100(10)	12000	10000
4	150(16)	12000	10000
4 а	150(15)	*1200*	*1000*
5	200(20)	12000	1000
6	400(40)	12000	10000
7	750(75)	6000	4000
8	1000(100)	6000	4000
9	1500(150)	6000	4000

Примечание. Для степени жесткости 2а испытания не проводят, соответствие изделия предъявленным требованиям подтверждают испытаниями на соответствие требованиям по синусоидальной вибрации.

После воздействия 12000 ударов с ускорением 15g по ГОСТ 16962.2-90 метод 104-1:

- ток холостого хода не должен увеличиться более чем на 1.1.14 5 % от значения, измеренного до испытания.

- напряжение вторичной обмотки при холостом ходе должно остаться неизменным

- не должно произойти механических повреждений трансформатора.

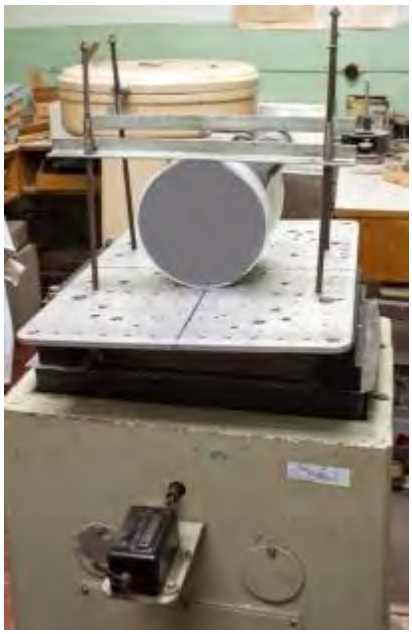


Рисунок 2 – Внешний вид ударного стенда СУ-1

Для испытаний предлагается использовать ударный стенд СУ-1.Он предназначен для испытания изделий и приборов на реагирования толчкам и сотрясениям. Принцип действия стенда основан на свободном падении стола с испытываемыми изделиями и внезапным замедлением его движения.

Технические параметры:

-Диапазон частот, ударов в минуту: от 10 до 120;

-Максимальное ускорение без нагрузки, g: от 10 до 150;

Вес испытываемого изделия, кг: до 58.

1. ГОСТ 20.57.406 Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний
2. ГОСТ 23216-78 Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний
3. ГОСТ 16962.2-90 Изделия электротехнические. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам

УДК 621.317.63

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

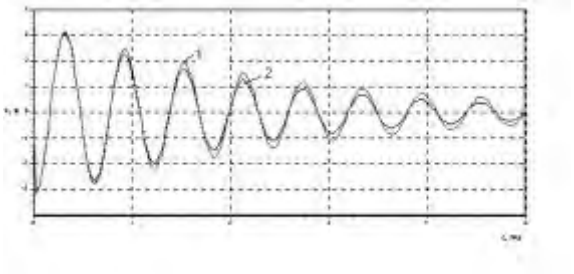
Размыслович Г.И., Брановицкий И.И.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Надежность и долговечность электрических машин в значительной степени определяются состоянием обмоток. Среди дефектов, например, асинхронных двигателей со всыпными обмотками чаще встречаются витковые замыкания и замыкания на корпус (до 90% всех отказов). Известно, что стоимость ремонта асинхронной машины с перемоткой обмоток соизмерима со стоимостью новой машины и составляет от 20 до 300 американских долларов за 1 кВт мощности в зависимости от мощности, скорости исполнения и места ремонта.

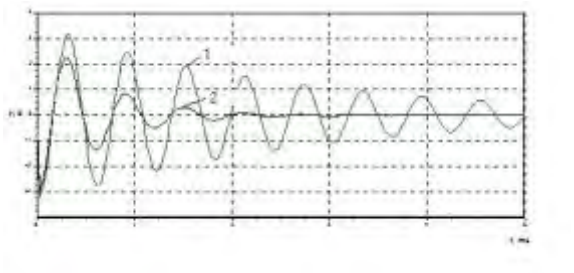
Причинами витковых замыканий являются перенапряжения в процессе эксплуатации, тонкая изоляция эмальпровода и возможность ее повреждения при намотке катушек и укладке их в статор, подвижность обмоток, совпадение сквозных дефектов провода. Для выявление такого рода дефектов в свое время использовались методики, основанные на: измерении полного сопротивления обмотки (кратко Z-метод), где контролируемым параметром является комплексное сопротивление; импульсном методе получения испытательного напряжения, где дефектная катушка определяется наличием Э.Д.С. самоиндукции; векторном методе, где контролируемым параметром является сдвиг фаз между сетевым напряжением и током в измерительной катушке; балансном методе и т.д. Разработанные на основе этих методов приборы не в полной мере отвечают необходимым требованиям по достоверности, производительности и чувствительности средств контроля. Выявление локального ухудшения изоляции между витками – сложнейшая задача дефектоскопии, поскольку сопротивление изоляции шунтируется очень малым сопротивлением витка провода. Поэтому, повышение чувствительности к витковым замыканиям в обмотках электродвигателей является актуальной прикладной задачей и решается по разному: подбором частоты испытательного импульса, близкого к резонансной частоте испытуемой обмотки [1]; заданием определенного значения тока и частоты в частотно-задающей цепи, что приводит к чувствительности измерительного сигнала, в основном, к дефектам в фазных обмотках и отстройки от влияния технологического разброса их параметров [2]; компенсацией различия емкостных параметров сравниваемых фазных обмоток, используя фазовую подстройку

колебательного контура [3]; построение импульсной последовательности в моменты перехода колебательного процесса через ноль и т. д. [4].

В ИПФ НАН Беларуси проведены исследования переходных процессов в катушках статоров трех- и однофазных электродвигателей. В пазах статора электродвигателя искусственно создавались (эмулировались) короткозамкнутые (КЗ) витки (по одному в каждом пазу) и снимались осциллограммы переходных процессов с дальнейшим их сравнением с переходным процессом в такой же катушке без КЗ витков рис.1, 2.



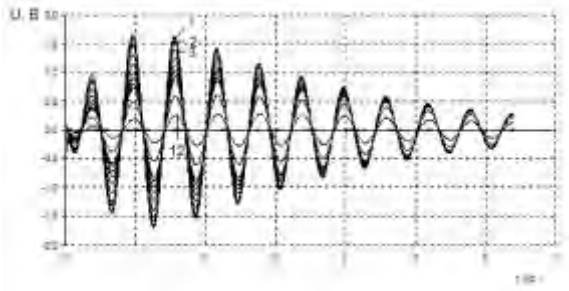
1 – без КЗ витка; 2 – с 1-м КЗ витком.
Рисунок 1 – Переходной процесс в обмотке однофазного статора



1 – без КЗ витка; 2 – с 12-ю КЗ витками.
Рисунок 2 – Переходной процесс в обмотке однофазного статора

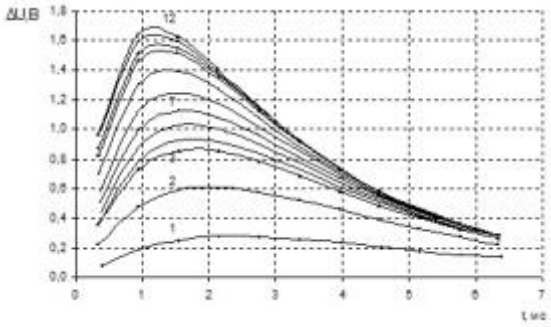
Наличие КЗ витка в испытуемой катушке приводит к увеличению дополнительных потерь энергии и, как следствие, к усилению процесса затухания. Величина раздвоения сигналов, т.е. чувствительность к КЗ витку увеличивается, если измеренный сигнал сравнивать с эталонным сигналом, записанным в памяти компьютера или управляющего процессора. Связано это с тем, что при одновременном возбуждении переходных процессов в колебательных контурах, с включенными в них эталонной и испытуемой катушками, открытый тиристор одновременно шунтирует два колебательных контура и, таким образом, ослабляет раздвоение сигналов, снижая чувствительность к КЗ витку. Кроме того, использование вместо образцовой катушки образцового сигнала позволяет упростить схему высоковольтного генератора, а также создать электронную базу данных эталонных кривых переходного процесса для различных электродвигателей, что особенно важно, например, для ремонтных предприятий, имеющих широкую номенклатуру изделий.

Кривые переходного процесса при наличии КЗ витков и при их отсутствии, позволяют получить и исследовать их разностный сигнал рис.3.



1 - 12 КЗ витках; 2 - 11 КЗ витках; … ; 12 - 1 КЗ витке.
Рисунок 3 – Разностный сигнал затухающих колебаний в обмотке однофазного двигателя

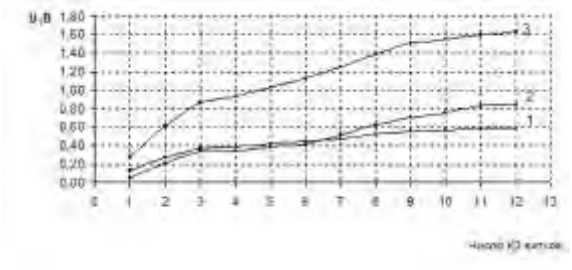
Представленные на рис.4 огибающие разностных сигналов при различном количестве



1 - 1 КЗ витке; 2 - 2 КЗ витках; 12 – 12 КЗ витках.
Рисунок 4 – Огибающие разностных сигналов затухающих колебаний в обмотке однофазного двигателя

КЗ витков в обмотках и построенные по точкам положительных экстремумов, имеют область наибольшей чувствительности к КЗ виткам. Соответственно, диагностирование обмоток по максимальной амплитуде разностного сигнала существенно повышает чувствительность метода по сравнению с традиционно используемыми, когда диагностика проводится по разнице средних значений кривых затухающих колебаний в испытуемой и эталонной обмотках (рис.5).

Таким образом, переход от физических эталонов, т.е. изделий без КЗ витков, аналогичных по параметрам испытуемым, к эталонам кривых затухающих колебаний или к эталонам кривых разностного сигнала, записанных в память в процессе испытаний, либо заранее, позволяет значительно повысить чувствительность метода, основанного на анализе переходных процессов в диагностируемом электрооборудовании. Указанный метод был использован в разработанном на его основе приборе ДО и его модификациях.



1 - измерении их средних значений; 2 - измерении пиковых значений первого импульса; 3 - измерении пиковых значений импульса в области максимальной чувствительности.

Рисунок 5 – Зависимость разностных сигналов кривых затухающих колебаний в обмотке однофазного двигателя от числа КЗ витков

1. А.с. 1404986 СССР, ОБ Открытия изобретений кл. G 01 R 31/06. Способ контроля качества изоляции обмоток/ В.К.Горбунов, С.И.Крюков, Н.И.Суворов и В.Г.Тихобаев. - № 4152227/24-21, 1988.
2. А.с. 2054687 СССР, ОБ Открытия изобретений кл. G 01 R 31/06. Устройство для контроля фазных обмоток электрических машин/ А.М.Марков, В.Ф. Лучук, И.С.Щукин. - № 5033990/07, 1996.
3. А.с. 1797082 СССР, ОБ Открытия изобретений кл. G 01 R 31/06. Способ контроля изоляции обмоток статоров трехфазных электрических двигателей и устройство для его осуществления / О.А.Алекперов, Д.О. Оруджев, Н.Х.Худиев . - № 4833070/21, 1993.
4. А.с. 1465829 СССР, ОБ Открытия изобретений кл. G 01 R 31/06. Способ обнаружения виткового замыкания в обмотке якоря электрической машины/ В.Д.Шевеленко, Ю.В.Суходолов, А.И.Мельников. - № 4117600/24-21, 1989.

УДК 658.562

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АККРЕДИТАЦИИ ОРГАНОВ ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ

Рапопорт А.Л., Петрусенко П.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

С целью реализации потребностей страны для развития интеграционных процессов в Таможенном союзе и Едином экономическом пространстве Белорусский государственный центр аккредитации (БГЦА) активно внедряет в практику аккредитации международные подходы, как того требует Соглашение о взаимном признании аккредитации органов по сертификации, выполняющих работы по оценке (подтверждению) соответствия.

В настоящее время БГЦА осуществляет мероприятия для подачи заявки с целью присоединения к MLAEA и прохождения паритетной оценки со стороны экспертов ЕА.

Согласно ILAC-P4:2003 Соглашения о взаимном признании, требуется, чтобы лаборатории, аккредитованные органами по аккредитации, действовали в полном соответствии со стандартами ISO/IEC 17025 и обладали всеми соответствующими документами серии ILAC-P.

При анализе регламентированных требований по отчетам оценок БГЦА аккредитованных лабораторий выявлено наибольшее количество несоответствий и меньше всего обеспеченность документами различных уровней по направлениям «Обеспечения прослеживаемости результатов измерений» и «Проверка квалификации, МЛС».

В СТБ ИСО 17025 в п.5.9 Обеспечение качества результатов испытаний и калибровок сказано, что одним из мероприятий, которые можно включить в план текущего контроля, является участие в программах межлабораторных сличений или проверок лаборатории на качество проведения испытаний. Существует ILAC - P9 «Политика ILAC по участию в деятельности по проверке квалификации». В ней приведены требования для органов аккредитации по применению деятельности по проверке квалификации в процессе аккредитации для лабораторий и, где применимо, органов инспекций. В ГОСТ ИСО/МЭК 17043 устанавливаются общие требования к компетентности провайдеров программ проверки квалификации, а также к разработке и реализации программ проверки квалификации. Данные требования должны рассматриваться как общие для всех типов программ проверки квалификации и могут использоваться в качестве основы для разработки конкретных технических требований в частных областях применения. Однако требований, приведенных в этих документах, недостаточно. В частности, существует необходимость описания критерия приемлемости результатов ПК и МЛС для целей аккредитации: оценки результатов, полученных при выполнении программ проверки квалификации, организуемых провайдерами ПК; оценки результатов межлабораторных сличений, которые предназначены для целей, отличных от проверки квалификации; оценки двусторонних сличений.

Также в международных документах и ПЛ СМ 7.0-2013 («Политика в отношении участия аккредитованных лабораторий в проверках квалификации») слабо прописаны действия БГЦА и лабораторий в отношении участия в программах ПК и МЛС

Таким образом, можно сделать вывод, что требований к обеспечению прослеживаемости результатов измерений в имеющихся НД недостаточно.

Проанализировав полученные результаты, следует , что меньше всего документов различных уровней по направлениям «Обеспечение прослеживаемости результатов измерений» и «Проверка квалификации, МЛС». Фактически «Обеспечение прослеживаемости результатов измерений» обеспечены лишь документом ILAC - P9 «Политика ILAC по участию в деятельности по проверке квалификации» и ГОСТ ISO/IEC 17043 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации».

Для «Обеспечения прослеживаемости результатов измерений» разработана политика ILAC-P10 «Политика БГЦА в отношении прослеживаемости результатов измерений», также есть п. 5.6 в СТБ ИСО/МЭК 17025. Этого недостаточно для компетентной работы лаборатории по данным направлениям.

Таким образом, становится очевидной необходимость разработки дополнительных документов по прослеживаемости и проверками квалификации.

Поскольку при анализе компетентности лабораторий наибольшее число несоответствий было найдено в «Проверках квалификации, МЛС», разрабатывается документированная процедура «Применение программ проверок квалификации и межлабораторных сличений для целей аккредитации».В частности, существует необходимость описания критерия приемлемости результатов ПК и МЛС для целей аккредитации: оценки результатов, полученных при выполнении программ проверки квалификации, организуемых провайдерами ПК; оценки результатов межлабораторных сличений, которые предназначены для целей, отличных от проверки квалификации; оценки двусторонних сличений. Также в процедуре следует описать действия БГЦА и лабораторий в отношении участия в программах ПК и МЛС. Фактически «Обеспечение прослеживаемости результатов измерений» обеспечены лишь документом ILAC - P9 «Политика ILAC по участию в деятельности по проверке квалификации» и ГОСТ ISO/IEC 17043 «Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации». Для «Обеспечения прослеживаемости результатов измерений» разработана политика ILAC-P10 «Политика БГЦА в отношении прослеживаемости результатов измерений», также есть п. 5.6 в СТБ ИСО/МЭК 17025. Этого недостаточно для компетентной работы лаборатории по данным направлениям.

Таким образом, становится очевидной необходимость разработки дополнительных документов и документированных процедур по прослеживаемости и проверками квалификации. В частности разработана документированная процедура «Применение программ проверок квалификации и межлабораторных сличений для целей аккредитации».

СТБ ИСО 17025 устанавливает, что все оборудование, используемое для испытаний и (или) калибровок, в том числе оборудование для вспомогательных измерений (например, для условий окружающей среды), оказывающее существенное влияние на точность или достоверность результата испытания, калибровки или отбора образцов, должно быть откалибровано перед введением в эксплуатацию. Для калибровочных лабораторий должна быть разработана и реализована программа калибровки оборудования для гарантии того, что калибровки и измерения, выполняемые лабораторией, прослеживаются до Международной системы единиц (СИ). Стандарт устанавливает пути достижения прослеживаемости до единиц СИ.

Что касается испытательных лабораторий, то требования, приведенные в калибровочных, применяются к измерительному оборудованию и испытательному оборудованию для используемых измерительных функций, если не установлено, что связанная с калибровкой составляющая вносит незначительный вклад в суммарную неопределенность результата испытания. Когда возникает такая ситуация, лаборатория должна гарантировать, что используемое оборудование может обеспечить требуемую неопределенность измерений.

В то же время, в принятой в Беларуси Политике БГЦА в отношении прослеживаемости результатов измерений имеющихся требований к обеспечению прослеживаемости измерений недостаточно. В частности,

1. Более четко должны быть обозначены требования к прослеживаемости, касающиеся использования стандартных образцов. В частности, отсутствуют указания, какие стандартные образцы могут рассматриваться в качестве обеспечивающих надлежащую признаваемую прослеживаемость. Также отсутствуют указания, касающихся значений, связанных со стандартными образцами.

2. Также отсутствует указания действий в случаях, когда невозможно обеспечить прослеживаемость до единиц средств измерений или связь с естественными константами либо другими эталонными значениями. В данном случае

должны быть использованы другие средства установления достоверности результатов. Таким образом, можно сделать вывод, что требований к обеспечению прослеживаемости результатов измерений в имеющихся НД недостаточно.

Количество несоответствий по регламентированным требованиям:

1. Система менеджмента – установлены несоответствия у 3-х лабораторий;
2. Производственная среда – не установлены несоответствия;
3. Персонал - установлены несоответствия у 1-ой лаборатории;
4. Методы испытаний – установлены несоответствия у 2-х лабораторий;
5. Закупка и управление оборудованием – установлены несоответствия у 3-х лабораторий;
6. Управление документацией – установлены несоответствия у 2-х лабораторий;
7. Обращение с образцами - установлены несоответствия у 2-х лабораторий;
8. Прослеживаемость – установлены несоответствия у 12-и лабораторий;
9. Проверка квалификации, МЛС – установлены несоответствия у 16-и лабораторий.

Из анализа регламентированных требований, вытекают два основных источника проявления риска:

1. Прослеживаемость измерений.
2. Проверка квалификации и межлабораторные сличения.

Таким образом, становится очевидной необходимость разработки дополнительных документов и документированных процедур по прослеживаемости и проверками квалификации. В частности разработана документированная процедура «Применение программ проверок квалификации и межлабораторных сличений для целей аккредитации».

УДК 519

АПРИОРНАЯ И СУБЪЕКТИВНАЯ ШКАЛЫ ОЦЕНОК

Романчак В.М., Серенков П.С., Кондратьева Н.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В данной работе рассматривается методика, позволяющая, обосновать выбор шкалы в одном из вариантов метода парных сравнений, а также оценивать с помощью априорной или субъективной шкалы латентные переменные (например, качество прибора).

Под измерением обычно понимают сравнения данной величины с другой величиной, принятой за эталон. Из определения следует, что в любом измерении участвуют два элемента: данная величина и эталон.

Рассмотрим способ формализации процесса измерений, который является моделью сравнения элементов множества X с эталоном.

Определение 1. Пусть X – множество объектов измерения. Тогда функция измерения для множества X, это произвольная числовая функция, определенная на декартовом произведении X^2: R=R(a,b).

Определение 2. Пусть X – множество объектов измерения, которое включает фиксированный эталон x^0. Тогда *измерение* - это значение функция вида $r=r(x,x^0)$, которая является результатом сравнения данной величины x с величиной x^0, принятой за эталон.

Измерение является значением функции измерения $r=r(x,x^0)$ при фиксированном эталоне. Будем предполагать, что эталоном может быть любой объект измерения из X.

Изменение эталона в общем случае может приводить к изменению измерений. Вместо значений p могут получиться значения q. В зависимости от того, насколько сильно отличаются измерения, при смене эталона, будем различать различные шкалы измерений.

Ответы респондента часто являются единственным способом, который позволяет обосновать выбор маркетингового решения или, например, оценить качество продукции. Из всех методов экспертных оценок, процедура шкалирования, основанная на непосредственном оценивании, наиболее популярна в силу своей простоты. Наиболее распространенные разновидности метода прямой оценки: числовые и графические варианты *метода*. Шкала может быть определена заранее или респондент может работать со своей внутренней шкалой.

Психофизическая функция $R_{i,j} = f\left(S_i, S_j\right)$ устанавливает связь между числовыми значениями упорядоченной пары сравниваемых физических величин S_i, S_j и значениями субъективной реакции эксперта на это сравнение $R_{i,j}$. Рассматривались два способа представления субъективной оценки: в виде разности (модель парных сравнений) $R_{i,j} = g\left(S_i\right) - g\left(S_j\right)$ и в виде отношений (МАИ) $R_{i,j} = g\left(S_i\right) / g\left(S_j\right)$, здесь

$g(S)$ – субъективная оценка некоторой физической величины, определяемая в зависимости от принятой модели. При нахождении оценок $g(S_i)$, где $i = 1, ..., N$ – общее число оцениваемых объектов, использовались различные планы эксперимента**.**

Критерием выбора модели, может служить степень устойчивости результирующего вектора, построенного на основании оценок, к смене плана эксперимента**.** Всего было предложено рассматривать два плана: план А1 и план *А*2. Например, план *А1* формируется сравнением всех объектов с выбранным фиксированным эталоном. В плане *А*2 сравнивают последовательно все объекты.

Экспериментально показано, что разностная модель, при принятом критерии предпочтения, имеет определенные преимущества при сравнении с моделью отношений**.**

Для проверки возможности оценки разными шкалами проведено исследование варианта метода парных сравнений. Функции измерений конечного множества объектов порождают систему измерений для нахождения оценок объектов. Число уравнений больше числа неизвестных и, значит, система уравнений переопределена. Система измерений может и не иметь решения.

Определение 3. Максимальную линейно независимую подсистему системы парных сравнений будем называть системой измерений.

Методика эксперимента. Оцениваемый параметр – площадь круга. Перед глазами респондента всегда должна быть представлены две последовательные фигуры. Кружки демонстрируются в случайном порядке без повторения. Для оцифровки объектов нами применялись два различных способа оценки: С1 и С2 (две различные шкалы).

С1. Прямое оценивание (A,B). Ограничений по шкале нет, за исключением того, что она должна быть цифровой и иметь одностороннее ограничение. Оценки могут быть любые от нуля до бесконечности. Респондент дает оценку каждому объекту, и далее вычисляются разности, которые и являются основой для построения системы оценок. Из полученной системы линейных уравнений определяем площади с точностью до линейного преобразования.

С2. Априорная 10-ти бальная шкала разностей (A-B). Интервьюер дает вербальные оценки разности. Оцифровываются вербальные оценки целыми цифрами в интервале 0 – 10.

Респондент дает вербальную оценку разности значений. Затем ее преобразовывают в числовую оценку в соответствие с таблицей. Из полученной системы оценок определяют значения с точностью до линейного преобразования.

Были получены одни оценки в шкале отношений (субъективная шкала С1), а другие в шкале интервалов С2 (априорная шкала С2). Чтобы иметь возможность сравнить данные в различных шкалах приведем результаты С1 в шкалу интервалов. Оценка разности в субъективной шкале (которую и следует применять исходя из требований математической модели) вызывала у респондента чувство дискомфорта и нами не применялась.

Таблица 1 – Вербально - числовая шкала разностей (A≥B)

Вербальная	Числовая
Объекты равны	0
Слабое **“-”**	1
Слабое превосходство	2
Слабое **“+”**	3
Среднее **“-”**	4
Среднее превосходство	5
Среднее **“+”**	6
Сильное **“-”**	7
Сильное превосходстово	8
Сильное **“+”**	9
Абсолютное	10

Для проверки методики выбора шкалы, был проведен пилотажный опрос респондентов. Некоторые результаты представлены на графиках (рисунок 1 - рисунок 3).

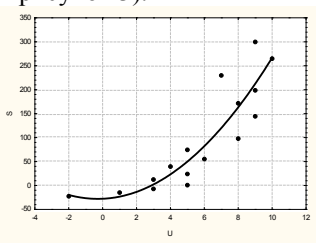


Рисунок 1 - Зависимость площади *S* от оценок *U* в шкале интервалов для априорной шкалы

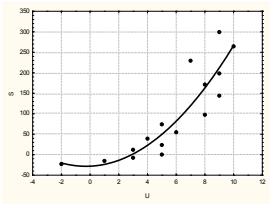


Рисунок 2 - Зависимость площади *S* от оценок *и* в шкале интервалов для субъективной шкалы

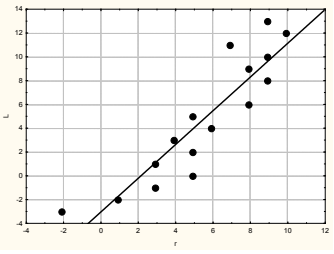


Рисунок 3 - Зависимость между оценкой линейного размера круга *L* и его радиусом в шкале интервалов

Полученные результаты тестирования респондента могут служить обоснованием выбора шкалы и интерпретации результатов, при нахождении латентных переменных (например - качество объекта).

УДК 620.179.14

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ НА СТОЙКОСТЬ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВНЕШНИМ ФАКТОРАМ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Русак И.И.
Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

Влияние вибрационных нагрузок на технику и технические устройства. Причиной возникновения вибрационных нагрузок являются условия эксплуатации изделий, их транспортировка и конструкция. Избежать механических колебаний на практике почти нельзя, так как они обусловлены динамическими явлениями, сопровождающими присутствие допусков, зазоров и поверхностных контактов отдельных деталей машин и механизмов. Даже механические колебания с малой амплитудой часто вызывают резонансные колебания других элементов конструкций, усиливаются и становятся важным источником вибрации и шума.

Основным критерием успеха разработки конструкций технических устройств, относящейся к медицинской аппаратуре, средствам измерения, устройствам бытового либо промышленного назначения, является анализ воздействия вибрационных нагрузок различного уровня.

Разработчики должны учитывать то, что их продукция в течение срока службы, так или иначе будет подвергаться воздействию вибрации. Отказы неудачно разработанных конструкций снижают доверие потребителя к изготовителю и его продукции. Что в свою очередь снижает конкурентоспособности продукции на мировом рынке.

С течением времени проанализировано и собрано огромное количество информации и данных по вибрационным воздействиям. Как результат на сегодняшний день существуют сотни ТНПА, которые общим либо частным образом рассматривают и регламентируют вопросы вибропрочности и виброустойчивости технических средств. В основу этих ТНПА заложены уровни воздействий, которые необходимо передать на технические устройства. Основной задачей испытательной лаборатории является воспроизведение этих уровней и условий. Решением этой задачи является использование вибрационных испытательных систем.

Состав и устройство вибрационной измерительной системы

Важнейшими компонентами вибрационной испытательной системы являются:

– вибростенд;
– усилитель;
– контроллер;
– акселерометр.

По принципу работы сам вибростенд похож на громкоговоритель, у которого движение катушки происходит в результате взаимодействия двух магнитных полей: переменного и постоянного. Переменное магнитное поле наводится протекающим по катушке током. Постоянное поле создается постоянным магнитом в небольших вибростендах или электромагнитом в больших вибростендах.

Назначение усилителя — подвести необходимую мощность к подвижной катушке вибростенда в виде напряжения и тока. Чем больше требуемая скорость движения арматуры, тем больше нужно напряжение. Чем больше требуемая сила или ускорение, тем больше нужен ток.

Основным отличием вибрационной испытательной системы от механических или электродинамических вибростендов с ручным либо полуавтоматическим управлением является наличие контроллера.

Задача контроллера — следить за тем, чтобы сигнал, получаемый с акселерометра, соответствовал сигналу, запрограммированному в контроллере, другими словами, нагружение испытываемого образца должно соответствовать заданным режимам испытаний. Режимы испытаний вводятся в контроллер оператором. Контроллер сравнивает выходной сигнал акселерометра с табличным значением и вносит коррекцию, чтобы оба сигнала стали равными. Система работает как система с обратной связью.

Завершающим звеном системы является акселерометр, который служит для преобразования ударного и вибрационного ускорения в точке контроля в электрический сигнал. Этот сигнал и обрабатывает контроллер для внесения необходимых корректировок в цепь усиления.

Метод испытания синусоидальным сигналом

Одним из самых распространенных методов проведения испытаний является метод испытания синусоидальным сигналом. При этом виде

испытаний сигнал управления вибростендом имеет форму синусоиды, частота которой изменяется по времени.

Уровень или амплитуда сигнала может задаваться в виде ускорения, скорости или перемещения.

Существует однозначная математическая зависимость между этими величинами. Если известны любые два параметра из четырех, другие два можно определить.

Метод испытания сигналом случайного характера

Случайный сигнал, используемый в вибрационных испытаниях, имеет непрерывный спектр с амплитудой, варьирующейся в соответствии с гауссовым распределением. Внутри заданного частотного диапазона должны присутствовать все амплитуды, но на практике усилители и генераторы вносят в этот диапазон ограничения.

Метод испытания ударным воздействием

Степень жесткости и форма ударного импульса, воздействующего на образец, по возможности должны определяться внешними условиями, которым образец подвергается в процессе эксплуатации и транспортирования. Но, поскольку образцы зачастую подвергаются ударам различной амплитуды, имеющим сложный и случайный характер, параметры и методы испытаний стандартизованы.

Определение параметров вибрационной испытательной системы

Главная задача вибрационной системы заключается в создании определенных и воспроизводимых механических колебаний, передаче их объекту испытаний, а также в имитации реальных условий вибрации, создании переменных напряжений в объекте испытаний для выявления скрытых дефектов, изучении свойств испытываемой конструкции. Поэтому генератор колебаний — вибростенд — должен обеспечивать колебательные движения с малыми искажениями и иметь перемещение, скорость и ускорение, покрывающих большую часть требований по проведению испытаний в пределах создаваемой толкающей силы.

При определении параметров вибрационной испытательной системы необходимо учитывать, что возможности системы должны быть на 20–30 % больше, чем необходимо. Не существует одной универсальной вибрационной системы. Поэтому любая лаборатория при постановке задачи обеспечения виброиспытаний, должна оценить основное направление и тип изделий, которые будут испытываться, и будет ли услуга пользоваться спросом.

Испытательные возможности НИЦИСИиТ

НИЦИСИиТ БелГИМ оснащен вибрационной испытательной системой V830 производства фирмы "Brüel & Kjær", Дания. Система позволяет проводить исследования влияния механических факторов, условий транспортирования на образцы техники. Обеспечивает широкий диапазон воспроизведения и высокую точность поддержания механических факторов для определения влияния на метрологические характеристики СИ и их устойчивость к таким воздействиям.

Построение алгоритмов испытаний на базе программного

Обеспечения Shaker Control 8.0092

Программное обеспечение Shaker Control 8.0092 испытательной системы V830 позволяет проектировать модели проведения испытаний на устойчивость к механическим нагрузкам, проводить анализ производимых воздействий, а также отслеживать отклики испытываемых изделий на передаваемую им нагрузку. При первом знакомстве с данным программным обеспечением возникает множество вопросов по задаваемым параметрам, отработки данных в системе защиты и безопасности, формированию модели вибрационных испытаний. Для обучения каждого сотрудника испытательной лаборатории могут быть затрачены большие временные и финансовые средства. Испытательная система V830 вместе с программным обеспечением Shaker Control 8.0092 предоставляет возможность создания алгоритмов испытаний и сохранения их на жесткий диск в виде отдельных файлов. Это позволяет испытательному центру минимизировать время на обучение персонала работе с вибрационной системой, минимизация рисков изменения критических параметров вибрационной системы, снижение временных затрат на подготовку и проведение виброиспытаний.

Применение в испытательной лаборатории вибрационной системы позволяет проводить исследования влияния механических факторов, условий транспортирования на образцы техники. Использование предустановленных алгоритмов испытаний позволяет снизить риски связанные с человеческим фактором при настройке вибрационной системы, сократить время подготовки к испытаниям и увеличить пропускную способность лаборатории.

УДК 621.762

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО- И МАКРОПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ПОРИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ ПОРОШКОВ ТИТАНА

Савич В.В.[1], Шелухина А.И.[1], Маркова Л.В.[1], Макаренко М.В.[2]
[1]ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
[2]ГНУ «Институт биоорганической химии» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Пористые порошковые и волокновые металлические проницаемые материалы, благодаря своим уникальным эксплуатационным характеристикам, определяемым свойствами их поровой структуры, находят самое широкое применение практически во всех областях современной техники. Разработку и производство таких материалов и изделий из них невозможно вести без исследования особенностей свойств их поровой структуры.

Известен ряд стандартных методов определения пористости, размеров пор, коэффициента проницаемости пористых порошковых материалов (ППМ) [1]. Разработаны и некоторые специальные методы и приборы для определения капиллярных, физических и иных специфических свойств ППМ [1, 2]. Все эти методы используются и при разработке особой группы изделий медицинской техники – дентальных, ортопедических и кардиологических имплантатов, в которых в поры ППМ врастают костные или иные ткани и обеспечивают тем самым интеграцию имплантата с организмом, длительное стабильное и эффективное функционирование имплантата в нем [3-4]. Для оценки взаимодействия биологических тканей и ППМ необходимы специфические методы исследования микро- и макропоровой структуры металлических ППМ, поры которых заполнены тканями.

Целью данной работы является комплексное представление методик исследования структуры ППМ совместно с биологическими тканями, жидкостями и иными средами, заполняющими поры в нем.

Исследования оптической микроскопией. Специалистами ГУ «РНПЦ неврологии и нейрохирургии» МЗ РБ и ГНУ «Институт порошковой металлургии» НАН Беларуси разработана методика препарирования и исследования на металлографическом микроскопе на просвет фрагментов пористых имплантатов. Методика подготовки препарата заключается в следующем. Извлеченный из организма имплантат с вросшими в его поры костными тканями фиксируют под отрицательным давлением (750 мм рт. столба) в течение 3 суток. Затем проводят дегидратацию, помещая образцы последовательно в 70%-ти, 80%-ти, 90% и 100%-ный этиловый спирт, после чего - в 100%-ный ацетон на 3 суток. Полная сушка осуществляется в вакууме в эксикаторе в течение 24 часов. Высушенные таким образом образцы заливают под вакуумом эпоксидной смолой и выдерживают в вакууме до момента прекращения выделения пузырьков газа. В эпоксидную смолу можно добавить для повышения текучести и ускорения последующего твердения до 5-10% ацетона. После полной полимеризации смолы из образцов делают тонкие поперечные срезы в виде пластин 1-2 мм толщиной при помощи алмазной пилы. Вырезанные пластины наклеивают циакрином на аналоги предметных стекол из оптически прозрачного полиметилметакрилата. Подготовленные таким образом препараты шлифуют и полируют абразивными пастами до толщины 0,10-0,15 мм и менее. Затем проводят окраску препаратов по A. Khiara et all (1987) смесью красителей, включающей метиленовый синий, основной фуксин и светло - зеленый. Окрашенные препараты помещают на предметный столик микроскопа и исследуют на просвет.

На рис.1 представлена фотография подобного препарата, полученного после пребывания в течение 3-х месяцев в кости лабораторного животного [5, 6].

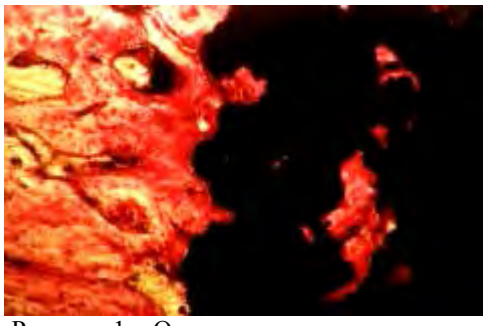


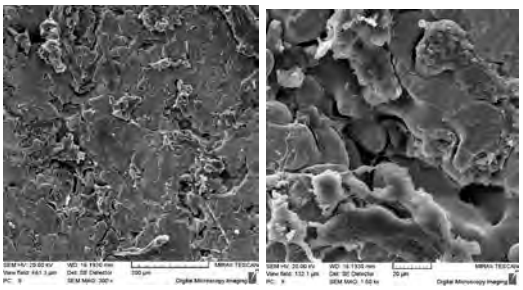
Рисунок 1 – Остеоинтеграция пористого имплантата из губчатого порошка титана. Размер частиц – 0,4-0,63 мм. ^{x}100

Как видно из рис.1, методика позволяет выявить не только особенности микро- и макроструктуры ППМ, из которого выполнен имплантат, но и все компоненты новообразованных костных тканей.

Исследования методами СЭМ. В разработанной методике [7] используется сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) высокого разрешения MIRA фирмы TeScan (Чехия) с приставкой микрорентгеноспектрального анализа INCA 350. Особенностью методики исследований СЭМ является нанесение золотого токопроводящего слоя для получения качественных изображений

структуры.

Результаты исследований фрагмента пористых вставок в ножку эндопротеза системы SLPS [5], удаленного в ходе ревизионной операции представлены на рисунках 2 - 5. На рис.2 видно, что СЭМ позволяет охватывать при исследованиях в одном поле зрения как довольно крупные объекты размерами 1-2 мм (рис.2, а), так и наблюдать микронные и субмикронные структурные элементы, такие, например, как остеоны и фрагменты вросших в поры тканей, интегрированных на поверхности отдельных частиц исходного порошка (рис.2, б). При этом четко можно определить, что костные ткани заполняют практически весь объем пор вставки из губчатого порошка титана, а также морфология поверхности костной ткани, весьма похожа на поверхность губчатых частиц титана. На рис. 2 (б) особенно хорошо видно, как костные фрагменты буквально врастают, внедряются во все микронеровности губчатых частиц порошка титана, причем прочность сцепления клеток с поверхностью частиц порошка, покрытой слоем оксида титана выше, чем прочность собственно костных тканей.



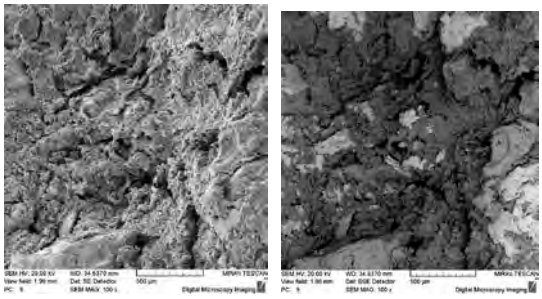
а б

а – ^{x}300; б – ^{x}1500.

Рисунок 2 – Морфология наружной поверхности пористой вставки ножки эндопротеза тазобедренного сустава типа SLPS с фрагментами проросшей костной ткани

Из рис.3 видно, что и на глубине костные ткани заполняют практически весь объем пор. При этом на рис.3,б, полученном в режиме съемки BSE (обратно рассеянных электронов) это особенно хорошо видно из-за повышенного контраста. При режиме BSE цвет структурных составляющих определяется усредненным атомным номером каждой структурной составляющей. Так органический материал имеет темно-серый цвет, а губчатый титан светло-серый (почти белый). Такой режим съемки позволяет точно диагностировать присутствие костной ткани в губчатом титане.

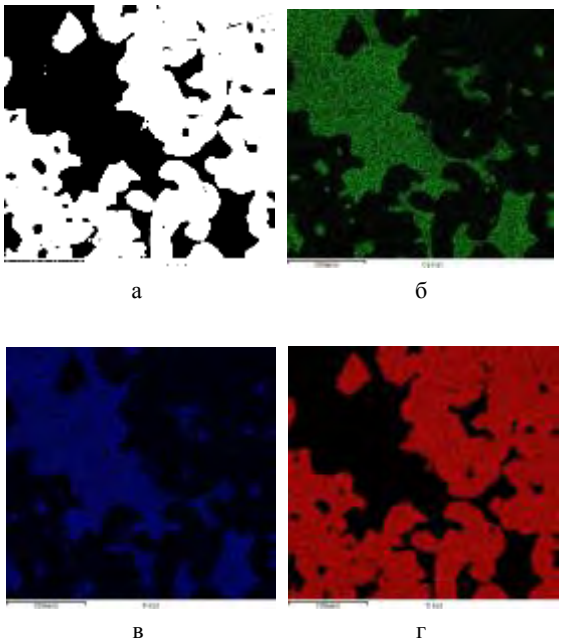
Использование метода МРСА и исследование с его помощью стандартного для пористых порошковых материалов шлифа позволяет четко устанавливать распределение химических элементов в плоскости шлифа и на некоторую глубину. Так из фотографий (рис.4) хорошо видно, что Са и Р – основные неорганические компоненты костных тканей – занимают практически весь объем пор вставки (рис.4, б, в), а металлическая компонента - это практически чистый титан (рис.4, г). Определить это на исходной фотографии шлифа практически невозможно.



а б

а - в обычном режиме, б – в режиме BSE. ^{X}100.

Рисунок 3 – Морфология поверхности излома пористой вставки с фрагментами проросшей костной ткани



а б

в г

а – исходный; полученные съемкой в характеристическом рентгеновском излучении CaKα (б), PKα (в) и TiKα (г).

Рисунок 4 – Микроструктура шлифа пористой вставки

Метод СЭМ, особенно в режиме BSE, позволяет четко идентифицировать поверхность губчатой частицы порошка титана и поверхность разрыва костных тканей, образованную в результате удаления ножки эндопротеза из тела паци-

ента. При этом морфология поверхности губчатых частиц порошка титана и поверхности костных тканей весьма подобны. Это предопределяет преимущество пористых имплантатов из губчатых частиц титана перед аналогичными имплантатами из сферических частиц титана.

Комплексная методика оценки эффективности пористых имплантатов адсорбцией белков. Проведение исследований имплантатов *in vivo* занимает длительное время, затратно и связано с рядом этико-социальных проблем. В связи с этим, специалистами ГНУ «Институт биоорганической химии» НАН Беларуси были предложены методы оценки эффективности пористых имплантатов адсорбцией белков [8-11].

В качестве модельных сред выбран человеческий сывороточный альбумин (ЧСА), содержание которого в сыворотке крови составляет 52-62 % от общего количества белков. Изучение адсорбции ЧСА проводили при концентрации 20-25 мг/мл, что близко к концентрации ЧСА в плазме крови человека (35-45 мг/мл) [12]. Время инкубации равно 15 час при комнатной температуре.

Измерение массы образцов имплантатов на аналитических весах с точностью измерений до 0,0001 г позволило установить четкую зависимость увеличения массы образцов (в единицах мг) за счет адсорбции альбумина от микро- и макротекстуры поверхности, вида ее обработки даже у непористых титановых имплантатов [8-11]. Еще больший привес (десятки мг) имеют пористые образцы имплантатов. Для сравнения разных образцов степень адсорбции альбумина удобнее выражать в мг/г – прирост массы к исходной массе образца либо в мг/см^2 – прирост массы к площади поверхности образца, что более удобно для непористых образцов.

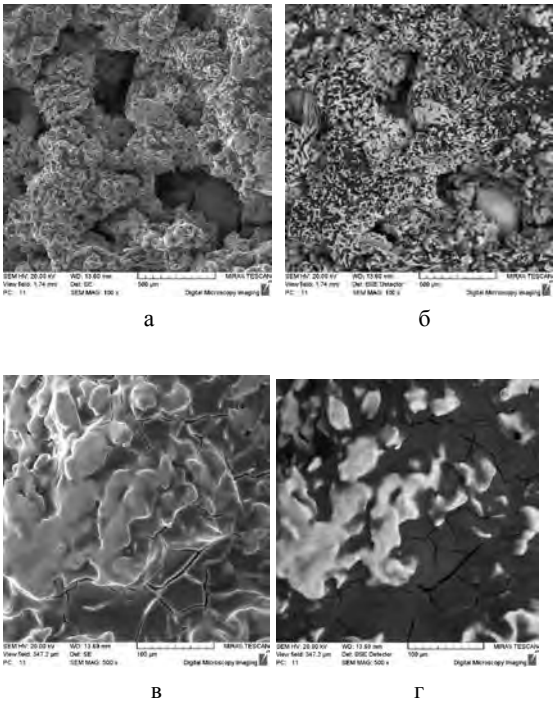
Методами СЭМ, в том числе и в режиме BSE (обратно рассеянных электронов) можно установить как собственно морфологию адсорбированных белковых фрагментов на поверхности металлического имплантата, так и оценить занимаемую ими площадь (рис.5).

Выводы

1. Предложена методика подготовки и исследования методами оптической микроскопии на просвет препаратов пористых имплантатов с вросшими в них костными тканями, позволяющая сохранить биологические ткани, выделить их компоненты и оценить контакт с поверхностью пор.

2. Предложена методика исследования СЭМ излома пористых имплантатов с вросшими в них костными тканями, позволяющая в режиме BSE четко идентифицировать металлическую и органическую фазы, а при большом увеличении четко фиксировать и отдельные элементы тканей – остеоны, фибриллы и т.п. без их окрашивания.

3. Использование метода МРСА и исследование с его помощью стандартного шлифа имплантата с вросшими в него тканями позволяет установить распределение химических элементов в плоскости шлифа и на некоторую глубину, что позволяет определить долю объема пор, которую занимают Са и Р – основные неорганические компоненты костных тканей.



а б в г

а и б – ^{x}100; в и г – ^{x}500;
а, в – режим SE; б и г – режим BSE.
Рисунок 5 – Адсорбция ЧСА на поверхности и в объеме пористого имплантата из губчатого порошка титана с размером частиц 0,4-0,63 мм

4. Изучение адсорбции ЧСА (человеческого сывороточного альбумина) методами гравиметрии и СЭМ (в том числе – в режиме BSE) позволяет не только оценить степень адсорбции, но и установить морфологию адсорбированных фрагментов на поверхности имплантата, оценить занимаемую ими площадь, заменить эксперименты *in vivo* при разработке новых конструкций имплантатов, совершенствовании технологии их изготовления, на более оперативные и доступные исследования *in vitro*.

1. Спеченные порошковые материалы: методы и приборы контроля свойств исходных порошков, исследования структуры и эксплуатационных характеристик изделий из них / Савич В.В., Дъячкова Л.Н., Шипица Н.А. и др. - Мн: Тонпик, 2008. - 320 с.
2. Методы и приборы исследования структуры и свойств порошков и спеченных материалов из них, разработанные в Беларуси. В кн.: 50 лет порошковой металлургии Беларуси. История,

достижения, перспективы / ред. кол.: А.Ф.Ильющенко [и др.]. Ильющенко А.Ф., Андреев М.А., Жарин А.Л. и др.– Минск, ГНПО ПМ, 2010. – Глава 19. - С.437-487.
3. Современные материалы хирургических имплантатов и инструментов / Савич В.В., Киселев М.Г., Воронович А.И.- Мн.: «Технопринт», 2003. - 119 с.
4. Технологии и материалы порошковой металлургии в производстве имплантатов / Савич В.В., Киселев М.Г., Павич Т.П. // Порошковая металлургия. - 2005. - №28. – С.192-209.
5. В.В.Савич. Разработка технологии изготовления и конструкции безцементного тотального эндопротеза тазобедренного сустава системы SLPS (SelfLockingPorousSystem) // I Sympozium Inzyneria Ortopedyczna i Protetyczna - IOP`97. - Bialystok, 23-24 czerwca 1997. - S.515-525.
6. Савич В.В.Влияние морфологии поверхности частиц порошка титана на остеоинтеграцию образцов пористых имплантатов из них // Пористые проницаемые материалы: технологии и оборудование на их основе: Материалы докладов международного симпозиума, 21-22 октября 2008 г., Минск. Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ НАН Беларуси. – 2008. – С.345-360.
7. Методика исследования фрагментов пористых имплантатов с костными тканями с использованием сканирующей электронной микроскопии / Савич В.В., Маркова Л.В., Гамзелева Т.В. // Порошковая металлургия. 2009. - №32. – С.174-179.
8. Модификация поверхности титановых имплантатов: топография и адсорбция белков / Макаренко М.В., Савич В.В., Шипица Н.А. и др. // Материалы VIII международной научно-технической конференции «Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии» (Гродно, 29-30 окт.2009 г.). В 2 ч. Ч.2 /редкол.: А.И.Свириденок (отв. ред.) [и др.]. -Гродно: ГрГУ, 2010. – С.90-96.
9. Оценка химических методов формования биоактивных поверхностей имплантатов / Макаренко М.В., Савич В.В., Шипица Н.А. и др. // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы докладов 9-й международной научно-технической конференции, Минск, Беларусь 29-30 сентября 2010 г. Минск, Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ, 2010 г. С. 228-229.
10. Savich V.V. Comparative Study on the Morphology and Biocompatibility of Titanium Jet-Abrasive Processed Surfaces and Porous Structures From Sponge Titanium Powder // Proceedings of EuroPM2011 Powder Metallurgy Congress & Exhibition. Barcelona, 10-13 October 2011, Vol.2 , p.471-477.
11. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / Савич В.В., Сарока Д.И., Макаренко М.В., Киселев М.Г. – Мн.: Беларуская навука, 2012. - 256 с.
12. Мецлер, Д. Биохимия // Москва, 1980. -Т. 1, - С. 103.

УДК 389.1

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОНЯТИЙ, СВЯЗАННЫХ С РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ЦВЕТОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Савкова Е.Н., Гиль Н.Н., Демидович А.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Цвет является трехмерной векторной величиной и количественно описывается координатами цвета и цветности в цветовых пространствах. Встречаются ситуации, когда в рекламных целях производители цифровой техники заявляют о возможности воспроизведения нескольких миллионов цветов (теоретически – около 16 777 216 цветов). Часто эти данные являются неоправданно завышенными, поскольку существует нижний порог, ограниченный дефинициальной неопределенностью, что связано с субъективными особенностями человеческого глаза, однако при объективном измерительном контроле системы технического зрения позволяют повысить точность, поскольку дают возможность отстраиваться от зрительных феноменов цветовосприятий. Установлено, что воспроизведение оттенков каждого цвета ограничивается по яркости количеством градаций в каждом цветовом канале (8, 12 и 24 бит на канал), а по времени – частотой Найквиста, равной половине частоты дискретизации. Для корректной оценки точности методов и средств колориметрических измерений, основанных на регистрации объектов с помощью матричных фотоприемных устройств и обработке их изображений, необходимо решить задачу оценивания неопределенности идентификации цвета как точки (или множества точек) на шкалах цветовых пространств. В этом смысле важно определить понятие цветового разрешения, довольно часто используемое в литературе, посвященной обра-

ботке цифровых изображений. Однако данный термин не стандартизован. Авторами выполнен анализ действующих нормативных документов с целью упорядочения терминологии применительно к разрешающей способности цветопередающих устройств.

РМГ 29-99 устанавливает определение термина «разрешение средства измерений» – это характеристика средства измерений, выражаемая наименьшим интервалом времени между отдельными импульсами или наименьшим расстоянием между объектами, которые фиксируются прибором раздельно. В примечании сказано, что «различают временное разрешение и пространственное разрешение». ISO 12233 устанавливает определения применительно к цифровой камере. Разрешение – мера возможности системы камеры или компонента системы камеры изобразить деталь изображения (к показателям разрешения относятся разрешающая способность, амплитудно-частотная характеристика, модуляционно-частотная характеристика, оптическая передаточная функция). Также данный стандарт устанавливает определения вертикального, горизонтального и предельного разрешения, относящихся к геометрическим характеристикам цифрового изображения миры. Пределом разрешения может быть значение контрольного образца, в ширинах строки на высоту изображения (LW/PH), соответствующее выходному уровню модуляции камеры 5 % от выходного уровня модуляции камеры на указанной частоте, равное 10 LW/PH. Разрешение описывается такими показателями как пары линий на миллиметр (lp/mm), линиями на миллиметр (lines/mm), шириной строк на высоту кадра (LW/ PH).

Разрешающая способность R определяется максимальным количеством линий (отнесенных к одному миллиметру), которое еще может быть воспринято данным цветопередающим устройством без их слияния в одно целое. Очевидно, что в ПЗС максимальная разрешающая способность $R_{макс}$ определяется длиной одного светочувствительного элемента $L_Э$ вычисляется по формуле:

$$R_{макс}=1/L_Э \quad (1)$$

Для трехтактных ПЗС

$$L_Э = 3(L + l), \quad (2)$$

где L – длина электрода;

l – длина зазора между электродами.

Реальная разрешающая способность ПЗС ниже рассчитанной по формуле. При малых уровнях освещенности в светочувствительных ПЗС-элементах накапливаются малые зарядовые пакеты и большую роль начинают играть шумы. В этом случае минимальный размер светочувствительного элемента определяется условием получения требуемого отношения сигнал/шум от 3 до 5.

Разрешающая способность ПЗС при низких уровнях освещенности ограничена главным образом шумами в фоновом заряде и шумами процесса захвата носителей. Установлено, что разрешающая способность ограничена шумами от 10^8 до 10^9 см$^{-2}$ (что соответствует значениям от 10^{-4} до 10^{-3} лк·с).

Яркость каждого элемента изображения определяется квантованным по уровню сигналом.

Обрабатываемые изображения представляются в виде матрицы целых чисел $L_{скв}$, описывающих значения яркости в точках взятия отсчетов вычисляется по формуле:

$$L_{скв} = \frac{L_{смакс}}{m-1}\left(a_{n0}2^{n_0-1} + a_{n-1}2^{n_0-2} + \cdots + a_1 2^0\right), \quad (3)$$

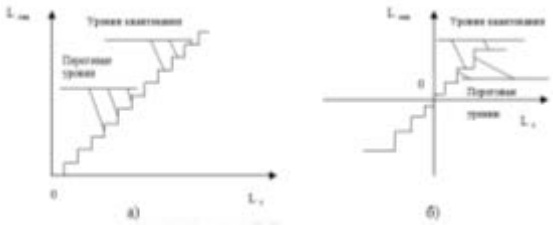
где $L_{смакс}$ – максимальное значение яркости в изображении;

$a_k = 1$ или 0; $k = 1, 2, \ldots, n_0$;

m – число уровней квантования, $m = 2^{n0}$;

n_0 – число разрядов двоичного кода на один отсчет (пиксел) изображения.

Преобразование аналоговой величины L_c, представляющей значение яркости в точке отсчета, которая может принимать любые значения в интервале $0 \div L_{смакс}$, в квантованную величину $L_{скв}$, принимающую только дискретные значения, называется квантованием. Квантование является нелинейным преобразованием сигнала. Главной характеристикой, описывающей работу квантующего устройства, является его амплитудная характеристика. Амплитудная характеристика квантующего устройства представляет собой зависимость значения выходного сигнала от его входного значения. На рисунке 1, а в качестве примере приведена амплитудная характеристика квантующего устройства с равномерной шкалой квантования. На практике применяют также неравномерные шкалы квантования. В отличие от равномерной шкалы квантования, при неравномерной шкале квантования пороговые уровни и уровни квантования располагаются друг относительно друга на неодинаковом расстоянии. В качестве примера на рисунке 1, б приведена амплитудная характеристика квантующего устройства с неравномерной шкалой квантования. Квантующие устройства с неравномерной шкалой квантования сложнее в своей реализации, но в ряде случаев они обеспечивают лучшие результаты, чем квантующие устройства, у которых шкала квантования равномерная.



а – с равномерной шкалой квантования,
б – с неравномерной шкалой квантования

Рисунок 1 – Амплитудные характеристики квантующих устройств

При квантовании в исходный сигнал, например, сигнал, определяющий яркость изображения в точке отсчета L_c, вносится ошибка, называемая шумом квантования. Величина этой ошибки вычисляется по формуле

$$L_{шкв} = L_{скв} - L_c \qquad (4)$$

Если квантуемый сигнал распределен равномерно в интервале значений от 0 до $L_{смакс}$, оптимальной, т.е. обеспечивающей минимальный уровень шума квантования, будет равномерная шкала. При этом шаг квантования $\delta_{кв}$, представляющий собой разность двух смежных уровней квантования $L_{квk}$ и $L_{квk-1}$ с номерами k и k-1, будет постоянным $\delta_{кв} = const$ и вычисляемым по формуле

$$\delta_{кв} = L_{смакс} / m - 1, \qquad (5)$$

При оцифровке изображений используется равномерная шкала квантования, несмотря на то, что в данном случае она не является оптимальной, поскольку закон распределения яркости в изображении не является равномерным. Обусловлено это тем, что при равномерной шкале после кодирования мы получаем код, который представляет номер уровня квантования в виде двоичного числа, удобного для дальнейшего использования.

Плотность вероятности шума квантования в рассматриваемом случае описывается по формуле

$$W(L_ш) = \begin{cases} 1/\delta_{кв} \; при - \delta_{кв}/2 \le L_ш \le \delta_{кв}/2 \\ 0 \; при \; невыполнении \; этого \; условия \end{cases} \qquad (6)$$

Ширина спектра шума квантования, как показывают расчеты и экспериментальные исследования, определяется числом уровней квантования и спектром квантуемого сигнала, и во много раз превышает последний.

СТБ ЕН ИСО 10545 устанавливает определение термина «цветовое различие», характеризующее цвет испытуемого образца по сравнению с образцом-эталоном.

Таким образом, стандартизация понятий, связанных с разрешающей способностью цветопередающих устройств представляет собой развивающееся направление, что обусловлено разнообразием данных устройств и технологий.

1. РМГ 29-99 Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений
2. ISO 12233:2000 Photography -- Electronic still-picture cameras - Resolution measurements
3. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2 D- и 3D-изображений: учеб. пособие. – СПБ.: БХВ-Петербург.2011.-608 с.
4. СТБ ЕН ИСО 10545-16-2007 Плитки и плиты керамические. Часть 16. Определение незначительных цветовых отклонений

УДК: 535.3

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Савкова Е.Н.[1], Длугунович В.А.[2], Никоненко С.В.[2], Демидович А.Г.[1],
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время оценивание неопределенности измерения является важным аспектом пригодности значения измеряемой величины для поставленной задачи. Так как измерения присутствуют практически во всех видах человеческой деятельности, которые включают промышленную, научную деятельность, здравоохранение, безопасность и др., появляется необходимость в приобретении опыта по оценке неопределенности.

В основе подхода к оцениванию и выражению неопределенности измерений лежат основополагающие понятия и принципы теории вероятностей [1]. Если все величины, от которых зависит результат измерения, изменяются, их неопределенность можно оценить статистическими методами. Однако так как на практике это редко представляется возможным из-за ограниченного времени и ресурсов, неопределенность результата измерения обычно оценивают, используя математическую модель измерения и закон распространения неопределенности.

Основные этапы оценивания неопределенности включают в себя формулирование и вычисление [1]. Этап формулирования при оценивании неопределенности включает в себя разработку модели измерений, учет соответствующих поправок и других воздействий, если это

необходимо. Этап вычислений состоит из трансформирования распределений вероятностей для входных величин с помощью модели измерений, с целью получения распределения вероятностей для выходной величины, и подведения итога с использованием этого распределения.

В данной работе рассматривается процесс оценивания неопределенности измерений комплекса для измерений спектральной плотности энергетической освещенности (далее СПЭО) «Лямбда УФ» (далее комплекс). Комплекс предназначен для испытаний источников ультрафиолетового излучения, производимых и используемых в Республике Беларусь. Согласно ТКП 8.004 средства измерений, предназначенные для применения в сфере законодательной метрологии и прошедшие метрологической аттестации, полежат калибровке в соответствии с ТКП 8.014.

3) Диаграмма «причина-следствие». Для выявления источников неопределенности, их взаимосвязей и влияния на неопределенность конечного результата, используем диаграмму «причина – следствие», представленную на рисунке 1.

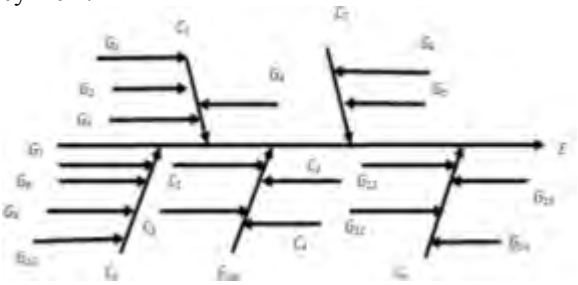


Рисунок 1 – Диаграмма «причина-следствие»

G_1 – техническое несовершенство эталонной лампы; G_2 – техническое несовершенство приемника; G_3 – техническое несовершенство концевых мер длины; G_4 – техническое несовершенство угольника; G_5 – манипулирование объектом измерения; G_6 – манипулирование техническими средствами; G_7 – несовершенство подаваемого тока; G_8 – идеализация объекта измерений; G_9 – несовершенство компьютерной обработки; G_{10} – несовершенство подаваемого напряжения; G_{11} – влияние температуры; G_{12} – влияние влажности; G_{13} – влияние вибраций; G_{14} – влияние давления.

4) Окончательная модель измерения. В результате анализа составляющих изменчивости измерений СПЭО получена окончательная модель измерений:

$$E = E_{\text{ind}} + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 \qquad (2)$$

5) Оценивание значений относительных стандартных неопределенностей входных величин. Точечная оценка значения СПЭО находится как среднее арифметическое результатов многократных наблюдений:

$$E_{ind} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_i \,, \qquad (3)$$

где E_i – i-е измерение оцениваемой величины.

Относительная стандартная неопределённость результатов наблюдений рассчитывается как относительное стандартное отклонение среднего значения оцениваемой величины по формуле

$$\delta(E_{ind}) = \frac{u(E_{ind})}{\overline{E}_{ind}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{E} - E_i\right)^2}{n\cdot(n-1)\cdot\overline{E}^2}} \qquad (4)$$

Результаты оценивания точности результатов измерений СПЭО для номинальной длины волны 400 нм представлены в виде бюджета неопределенности в таблице 1. Анализ бюджета неопределенности показал, что наибольший вклад в суммарную неопределенность измерений вносит составляющая, обусловленная техническим несовершенством приемника излучения.

Основным разделом разработанной методики калибровки является «Обработка результатов измерений», включающим методики оценивания неопределенности результатов измерений. В процессе оценивания неопределенности результатов измерений определяются:

– модель измерений;

– оценки входных величин, включенных в модель измерения и связанные с ними стандартные неопределенности;

– измеренное значение величины (оценка измеряемой величины);

– суммарная стандартная неопределенность;

– расширенная неопределенность с указанием значения вероятности и коэффициента охвата.

Рассмотрим поэтапно процесс оценивания относительной расширенной неопределенности на примере измерений СПЭО дейтериевой лампы в спектральном диапазоне от 200 до 400 нм с помощью комплекса.

1) Измерительная задача. СПЭО дейтериевой лампы измеряют многократно (n=10) на комплексе, методом сравнения с мерой – эталонной дейтериевой лампой с относительной стандартной неопределенностью измерений 1 %. Схема измерений представлена на рисунке 2.

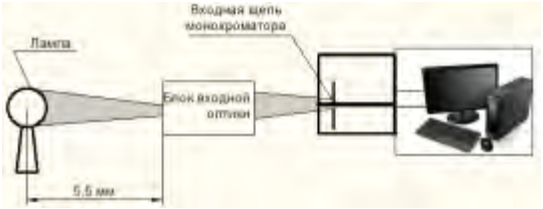


Рисунок 2 – Схема измерений СПЭО дейтериевой лампы

2) Общая модель измерений

$$E = E_{\text{ind}} + C_1 + C_2 + C_3 + C_4, \qquad (1)$$

где E_{ind} – точечная оценка СПЭО;
C_1 – поправка, обусловленная погрешностью средств измерений;
C_2 – поправка, обусловленная индивидуальными особенностями оператора;
C_3 – поправка, обусловленная несовершенством метода измерения;
C_4 – поправка, обусловленная изменением условий измерений.

Относительная суммарная стандартная неопределенность измерений СПЭО вычисляется по формуле

$$\delta_c(y)=\sqrt{\left[\frac{u(E_{ind})}{E_{ind}}\right]^2+\left[\frac{u(G_1)}{G_1}\right]^2+\left[\frac{u(G_2)}{G_2}\right]^2+\left[\frac{u(G_3)}{G_3}\right]^2+\left[\frac{u(G_4)}{G_4}\right]^2} \quad (5)$$

Суммарная относительная стандартная неопределенность для номинальной длины волны 400 нм составила δ_c = 2,2 %.

Относительную расширенную неопределенность U получим путем умножения суммарной относительной стандартной неопределенности $\delta_c(y)$ на коэффициент охвата k = 2; U = 4,4 %.

Таблица 1 – Бюджет неопределенности результатов измерений СПЭО

Величина X_i	Единица измерений	Оценка, x_i	Тип оценивания неопределенности	Распределение вероятностей	Относительная стандартная неопределенность,%	Вклад в суммарную неопределенность %
E_{ind}	кВт/м^3	279,9	А	нормальное	0,08	0,06
G_1	Вт/м^3	0	В	равномерное	1	16,9
G_2	нм	0	В	равномерное	2	71,8
G_3	мм	0	В	равномерное	0,0022	9,6
G_4	мм	0	В	равномерное	0,00003	1,5

Результаты измерений СПЭО дейтериевой лампы для диапазона длин волн от 200 до 400 нм представлены в графическом виде на рисунке 3.

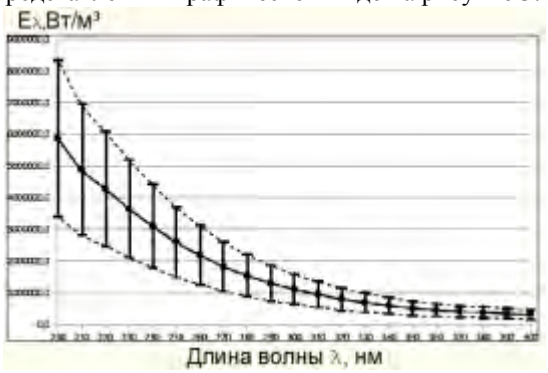


Рисунок 3 – Графическое представление результатов измерений

1. Руководство по выражению неопределенности измерения. – СПб.: Государственное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева». 1999. -119 с.
2. ТКП 8.004-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.
3. ТКП 8.014-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ.

УДК 53.088.3

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА В РЕЖИМЕ СТАТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Мохаммед Салем А.А.[1], Мельникова Г.Б.[2], Маханёк А.А.[2], Чижик С.А.[1]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Измерениям модуля упругости в статическом режиме методом атомно-силовой микроскопии предшествует калибровка прибора. Ее цель – установление масштаба максимального отклонения кантилевера, т.е. получение калибровочного коэффициента для пересчета отклонения консоли, измеряемого в условных единицах, в единицы длинны, выраженные в нм. Методика калибровки состоит в индентировании образца, обладающего достаточно большим модулем упругости и определении переводного коэффициента K, представляющего тангенс угла наклона кривой индентирования к оси перемещения образца. При этом пренебрегают деформацией зонда и образца, т.е. предполагают, что фактическое отклонение консоли тождественно перемещению образца. Калибровка осуществляется обычно по пластинкам кремния. Расчетное соотношение для определения калибровочного коэффициента имеет вид

$$K=\left(Z^*_{defl,n}-Z^*_{defl,m}\right)/\left(Z_{pos,n}-Z_{pos,m}\right), \quad (1)$$

где Z^*_{defl}, Z_{pos} – измеренное в условных единицах отклонение консоли и фактическое перемещение рабочей площадки (образца). В последующем калибровочный коэффициент используется для вычисления фактического отклонения кантилевера $Z_{defl}=Z^*_{defl}/K$.

Целью данной работы является уточнение некоторых методических особенностей определения калибровочного коэффициента.

Прежде всего, отметим, что при вычислении калибровочного коэффициента по формуле (1) нельзя выбирать близкие точки n и m кривой индентирования. Вычисление тангенса локального угла наклона кривой Z^*_{defl} по отношению к оси перемещения образца весьма чувствительно к ошибкам во входных данных, обусловленных вибрационными, акустическими и другими шумами, присутствующими в измеряемом сигнале Z^*_{defl}. Рисунок 1 иллюстрирует это утверждение. Здесь штрихпунктирные линии показывают наклон калибровочной кривой в области точек, отмеченных сплошными символами. Им соответствуют калибровочные коэффициенты 710 и 455 нм$^{-1}$, тогда как линейная аппроксимация всех точек (сплошная линия) дает K=430 нм$^{-1}$. При более сильных помехах относительная ошибка в величине калибровочного коэффициента может составлять сотни процентов.

При определении калибровочного коэффициента целесообразно использовать не локальное значение тангенса угла наклона кривой внедрения, а осредненное по линейному участку данной кривой с достаточно большим (более 20) количеством точек. Главным достоинством такого подхода по сравнению с двухточечной оценкой K по формуле (1) является уменьшение влияния помех во входных данных на величину калибровочного коэффициента. Наш опыт показывает, что определение калибровочного коэффициента таким способом дает меньший разброс значений при анализе множества калибровочных кривых. Из этого множества и выбирается максимальное для данной консоли значение K.

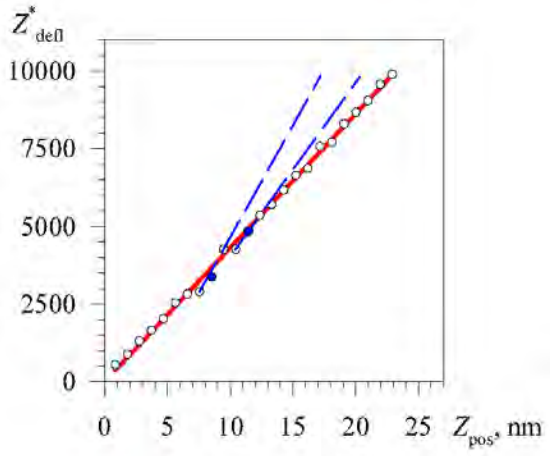


Рисунок 1 – Калибровочная кривая по кремнию

В некоторых случаях возможно возникновение ситуации, когда многократно повторенная калибровка дает заниженное значение калибровочного коэффициента. Тогда вычисленный модуль упругости исследуемого материала оказывается сильно завышен. Подобный артефакт вызван проскальзыванием зонда по более твердой, чем у исследуемого образца, поверхности кремниевой пластинки из-за значительного отклонения нормали к этой пластинке от осевой линии зонда и наличия достаточно больших латеральных сил при взаимодействии зонда с поверхностью. Тогда можно провести калибровку отклоняющейся системы атомно-силового микроскопа по эталонному образцу с известными значениями модуля упругости E_e и коэффициента Пуассона ν_e. Для этого запишем формулу Герца, описывающую кривую внедрения полусферического зонда в полубесконечную плоскую пластину, в виде

$$Z^*_{defl} / K - C\left(Z_{pos} - Z^*_{defl} / K\right)^{3/2} = 0 . \qquad (2)$$

Здесь $C = 4E_e R_t^{1/2} / \left[3k\left(1-\nu_e^2\right)\right]$, R_t – радиус закругления наконечника зонда, k – жесткость консоли. При неизвестном K величина деформации в точке ($Z^*_{defl,n}$, $Z_{pos,n}$) также не известна, но должна быть достаточной для получения близкого к асимптоте значения модуля упругости (при решении прямой задачи определения E по точкам кривой внедрения). Т.е. необходим согласованный выбор жесткости консоли, величины максимальной прикладываемой силы и размеров зонда для получения значения E, близкого к асимптотическому, что приводит к необходимости нескольких повторных измерений для разных сочетаний этих параметров.

При слишком малых глубинах внедрения $\delta = Z_{pos} - Z_{defl}$, когда E сильно зависит от δ, мы предлагаем использовать для оценки асимптотического значения модуля упругости E_a следующую Паде-аппроксимацию [1] логарифма модуля упругости, вычисленного по модели Герца:

$$\ln E(\delta) = \left[\ln(E_0) + C_1\delta \ln(E_a)\right] / (1 + C_1\delta) . \qquad (3)$$

Алгоритм нахождения параметра K тогда состоит в решении уравнения (2), вычислении из модели Герца зависимости $E(\delta)$, нахождении коэффициентов модели (3) в итерационном цикле уточнения искомых K, E_0, C_1 и E_a до сходимости E_a к известному значению E_e.

Рисунок 2 иллюстрирует применение подобного подхода для определения калибровочного коэффициента по кривой внедрения в материал с известными механическими свойствами (поликарбонат с E_e = 3.1 ГПа, ν_e = 0.37 [2]). При K=430 нм$^{-1}$ получили E_a=2.4 ГПа.

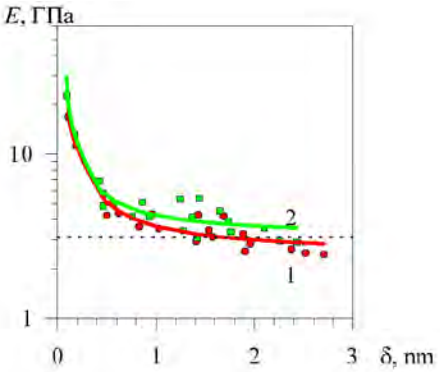


Рисунок 2 – Модуль упругости поликарбоната при разных δ: 1 – калибровочный коэффициент K = 430 определен из калибровки по кремнию, 2 – параметр K = 426 вычислен из (2), (3) при $E_a = E_e$

Наши данные показывают высокую чувствительность величины вычисляемых модулей упругости и их предельного значения к изменениям калибровочного коэффициента. Эти изменения могут быть обусловлены механическими помехами и загрязнениями поверхности зонда. Для уменьшения методической ошибки обработки данных атомно-силовой микроскопии целесообразно многократное (более 10 раз) повторение калибровки с выбором разных участков кремниевой пластинки или эталонного образца с известными упругими свойствами. Допустимый уровень вибрационных помех должен соотноситься с требуемой точностью получаемых результатов.

1. Бейкер Дж., Грейвс-Моррис П. Аппроксимации Паде. Пер. с англ. под ред. А.А. Гончара. – М.: Мир, 1986. – 502с.
2. Герасимов С.И. Применение метода фотоупругости для анализа остаточных напряжений в компакт-дисках / С. И. Герасимов // Прикладная механика и техническая физика. – 2004. – Т.45. С. 176–180.

УДК 005.6

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ПРИЧИН НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СОБЫТИЯ

Серенков П.С., Павлов К.А., Краснова М.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Разработав план проведения эксперимента и определив, какую именно информацию необходимо собрать, исследователь вплотную сталкивается с проблемой выбора метода и шкалы оценивания, поскольку от этих двух составляющих зависит адекватность результатов эксперимента.

Если к выбору метода оценивания в настоящее время подходят достаточно обоснованно, то выбору шкалы, по которой будет оценен тот или иной параметр, не уделяется должного внимания. Вид шкалы измерения по умолчанию связывают с методом без приведения обоснованных доказательств.

Целью любой процедуры сбора данных является получение информации, которая может быть подвергнута дальнейшему анализу. При таких условиях существенным является не только способ получения этой информации, но и предположения о том, каким образом эксперт производит оценивание параметров объекта [1].

Оценивание предъявляемых факторов обычно производится либо их ранжированием, либо процедурой парных сравнений. При ранжировании эксперт выстраивает предложенные для оценки факторы в иерархию (ряд). Очевидным является тот факт, что методу оценивания ранжированием соответствует порядковая шкала измерения. При процедуре парных сравнений эксперт попарно сопоставляет параметры объектов, выставляя оценку, которая отображает, насколько один параметр более значимый, чем другой. В данном случае для оценивания используется интервальная шкала измерения.

Соответствие шкалы измерения методу оценивания, как показано в таблице 1, позволяет получить надежные и достоверные результаты эксперимента. Однако выбор метода оценивания и шкалы измерения является сугубо индивидуальным подходом, так как кроме надежности и достоверности результатов следует также принимать во внимание такие практические факторы, как:

- цель проведения эксперимента;
- затраты на проведение эксперимента;
- возможности, которыми располагают эксперты;
- характеристики рассматриваемых параметров;
- характер и метод обработки получаемых данных и т.д.

Понятие вероятности ассоциируется с проведением эксперимента, результат которого зависит от ряда факторов, которые изменяются случайным образом.

$$P = P(x_1, x_2, \dots, x_i \,|y)$$

где P – полная вероятность событий;
x_i– потенциально влияющий фактор;

y – событие, которое произошло в результате влияния факторов.

Таблица 1 – Соответствие шкалы измерения методу измерения

Вид шкалы измерения	**Метод оценивания**
Шкала порядка	Ранжирование (метод рангов)
Шкала интервалов	Метод парных сравнений (метод альтернатив)
Шкала отношений	Комбинированный

Все параметры можно разделить на две группы по количеству шкал для измерения:

1. Параметр, который можно оценить одной шкалой измерения (наименований, порядка, отношений, абсолютной);
2. Параметр, который можно оценить различными шкалами в зависимости от целей и ожидаемого результата эксперимента.

Такая величина, как вероятность, относится ко второй группе параметров, поэтому было принято решение использовать ее как величину для оценивания параметра при проведении эксперимента. Также было уделено особое внимание выбору метода и шкалы оценивания, поскольку от этих двух составляющих зависит адекватность результатов эксперимента.

Каждая шкала измерения позволяет ответить на определенный вопрос, как показано на рисунке 1.

Рисунок 1 – Вопросы, на которые позволяет ответить шкала оценивания

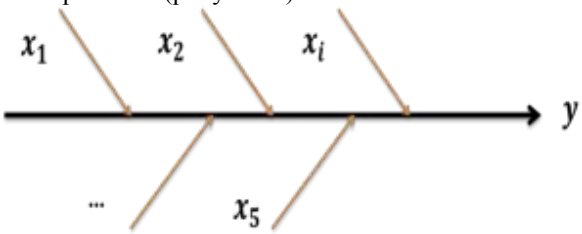
При выборе шкалы важно помнить, с какой целью осуществляется сбор информации, которая может быть подвергнута дальнейшему анализу и на какие вопросы необходимо ответить.

Для проведения эксперимента была поставлена задача выявить наиболее вероятные причины дефекта, поскольку данный деффект систематически возникает при производстве продукции.

Для проведения эксперимента был составлен план, который состоит из следующих этапов:

1. Выявление возможных влияющих факторов на качество продукции
2. Бальная оценка вероятности того, что причиной дефекта является выявленный фактор, с применением шкалы порядков
3. Экспертное оценивание методом парных сравнений с применением шкалы интервалов
4. Оценка вероятности свойства типа «вероятность события» в шкале отношений

Первым шагом в проведении эксперимента по выявлению наиболее вероятных причин дефектов продукции являлась идентификация факторов, которые потенциально влияют на качество продукции, которые подлежат исследованию. Для выявления таких факторов был выбран метод построения причинно-следственной диаграммы, который позволяет наглядно отобразить вляиние факторов на объект эксперимента (рисунок 2):



x_i –фактор, который может быть причиной случившегося дефекта; y – выявленный дефект продукции.

Рисунок 2 – Идентификация факторов, потенциально влияющих на событие

С точки зрения теории вероятности данная задача сводится к тому, что вероятность любого события равна сумме вероятностей всех возможных факторов, при этом учитываются любые совместные влияния всех факторов:

$$P = \sum_{i=1}^{n} P(x_i/\mathrm{y}) + \sum_{i=1}^{n} P(x_j x_i/\mathrm{y}) + \cdots + \sum_{i=1}^{n} P\left(x_j x_i \ldots \frac{x_n}{\mathrm{y}}\right),$$

где x_i –фактор, который может быть причиной случившегося дефекта;

y – случившийся дефект продукции;

P – полная вероятность событий.

Рассмотренный подход не соответствовал целям проведения эксперимента, поскольку задача состояла в том, чтобы найти не конкретную причину уже случившегося дефекта, а определить перечень возможных причин данного вида несоответствия, отбросив при этом маловероятные факторы.

Была использована упрощенная модель оценкиполной вероятности с применением только вероятностей влияния отдельного фактора на общий результат, при этом в каждый фактор x_i вкладывается все возможные его взаимодействия с другими факторами:

$$P = \sum_{i=1}^{n} P(x_i/\text{у})$$

На втором этапе эксперимента эксперту предлагалось оценить вероятность влияния каждого фактора на появление дефекта согласно разработанной шкале порядка. Результаты были сформированы в виде баллов от 0 до 1.

Следующим шагом было проведение экспертного оценивания вероятностей методом парных сопоставлений в проработанной шкале сравнительного превосходства. Полученные результаты были проверены на устойчивость по критерию К1.

На заключительном этапе эксперимента результаты оценок вероятности методом ранжирования и парного сопоставления были подвержены сравнению и была найдена математическая зависимость результатов этих двух методов. Полученная модель позволила получить уточненные оценки вероятностей в шкалы отношений.

Разработанный метод позволит создать комплексные организационно-технические мероприятия как по проведению аудитов, так и поиску причин несоответствий продукции.

Получив необходимые результаты, можно будет сформировать базу знаний о данном типе дефекта. В последствие при выявлении данного вида дефекта будет организован аудит для выяснения конкретной причины в тех местах, которые были выделены как потенциально возможные.

1. С.Л. Клигер, М.С. Косолапов, Ю.Н. Толстова Шкалирование при сборе и анализе социологической информации – М.: Издательство «Наука»; 1978 – 107 с.
2. Серенков П.С. Методы менеджмента качества. Методология организационного проектирования инженерной составляющей системы менеджмента качества. – Мн.: Новое издание; ИНФРА-М, 2011 – 491 с.
3. Серенков П.С., Курьян А.Г., Соломахо В.Л. Методы менеджмента качества. Методология описания сети процессов: Монография. – Мн.: БНТУ, 2006. – 484 с.
4. С.С. Мигас «Интеллектуальные информационные системы» - Методическое издание для студентов специальностей 230201 «Информационные системы и технологии» и 080801 «Прикладная информатика в экономике» – С-Петербург.: СПбГИЭУ, 2009 – 160 с.

УДК 004.744.6:006

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ, ГАРМОНИЗИРОВАННОЙ С БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ КОМПАНИИ БЕЛАРУСЬ

Серенков П.С., Ромбальская О.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Организационная структура оказывает активное воздействие на процесс функционирования предприятия. Чем совершеннее структура, тем эффективнее воздействие на объект управления и выше результативность работы предприятия. Правильный выбор организационной структуры – необходимый фактор успешного функционирования предприятия. Возникает вопрос оптимального выбора организационной структуры.

Главной целью формирования организационной структуры является установление четких взаимосвязей между отдельными подразделениями организации, распределение между ними задач, прав и ответственности. Если все взаимосвязи, описываемые организационной структурой, применены правильно, то они ведут к гармоничному сотрудничеству и общему стремлению выполнить поставленные перед предприятием задачи. Организационная структура - это своеобразный скелет организации, и если она выстроена неправильно, это ведет к различным патологиям, как то неэффективное выполнение бизнес-процессов компании, что приводит к тому, что организация не достигает ожидаемых результатов, либо их достигает, но с большим трудом, чем могла бы. Построение рациональной организационной структуры равносильно подбору слаженной проектной команды и разумному распределению ролей между ее участниками. Если все сделано верно, - команда будет работать слаженно и достигнет планируемых результатов.

Из литературных источников известны различные типы организационных структур: функциональная, линейная, линейно-штабная, линейно-функциональная, дивизионная, кросс-функциональная, бригадная, проектная, матричная.

Однако, анализ организационных структур показал, что у этого ряда структур нет единой классификационной основы. Организационная структура должна отражать взаимодействие и взаимосвязи основных и обеспечивающих процессов с управляющими процессами. Как правило, основной процесс представляется в виде потока выполняемых работ. Управляющие же

процессы многообразие различных процессов в силу количества этапов жизненного цикла продукции (маркетинг, разработка, закупки, финансы и т.д.).

В соответствии с определением СТБ ISO 9000, организационная структура – упорядоченное распределение ответственности, полномочий и взаимоотношений между работниками.

Р. Акофф, Д. Клиланд и В. Кинг рассматривают организацию любого профиля, прежде всего, как систему, направленную на достижение целей. Система управления рассматривается, как реализация целенаправленного поведения организации и может быть материализована в виде ряда организационных форм, начиная от традиционной функциональной на принципах иерархии и заканчивая чисто целевой. Между ними находится бесчисленное множество комбинированных организационных форм систем управления, типа матричных, проектных, функционально – целевых и т.п. Оптимальная структура, по их мнению, определяется конкретными условиями задач управления.

По мнению Сухова С. В., когда мы говорим об организационной структуре управления предприятием, «речь скорее должна идти о способах корректного распределения работ внутри бизнес-процессов». Это обусловлено тем, что организационная структура (иерархическая, функциональная, матричная и др.) «фактически является лишь субъективным способом кластеризации отдельных фрагментов бизнес-процессов по функциональным подразделениям», осуществляемым руководством организации. По результатам его анализа организационная структура практически не оказывает влияния на эффективность деятельности организации, важно только корректное распределение функций, ресурсов, владельцев и исполнителей в рамках реализуемых бизнес-процессов.

Мы же считаем, что органичная организационная структура, привязанная к соответствующему варианту бизнес-деятельности организации, способствует достижению плановых показателей. Если же организационная структура существует в отрыве от процессного представления бизнес-деятельности компании, то она уменьшает результативность системы менеджмента качества.

Обоснованно можно считать, что в основе классификации организационных структур должно лежать взаимодействие и взаимосвязи основных и обеспечивающих процессов с управляющими процессами.

Нами предлагается адекватная классификация организационных структур, которая отражает различия структур в зависимости от их связи с процессным представлением деятельности компании, т.е. их связь с процессами (рисунок 1).

Из рисунка 1 видно, что все организационные структуры подразделяются на: функциональные, целевые, смешанные.

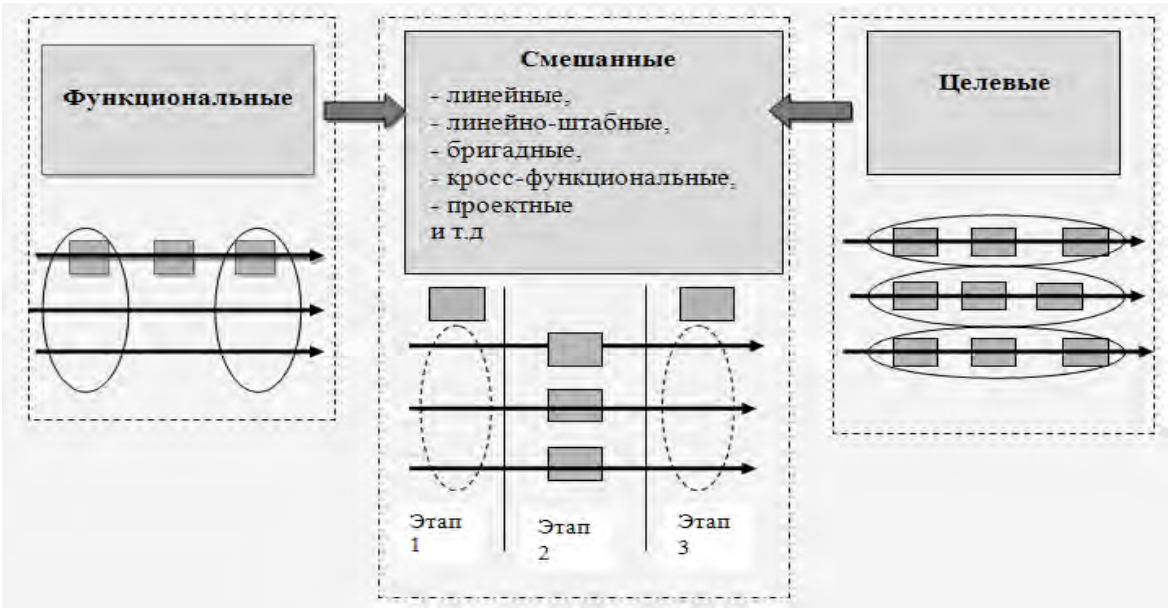


Рисунок 1 - Классификация организационных структур

К смешанным организационным структурам относятся: линейные, линейно-штабные, кросс-функциональные, проектные и т.д.

Нами предлагаются рекомендации по применению той или организационной структуры в зависимости от условий деятельности, решаемых задач, а так же от размеров организации.

Функциональные организационные структуры эффективно использовать организациям, выпускающим однородную продукцию пар-

тиями, сериями, либо разнородную продукцию массово.

Целевые организационные структуры эффективно использовать организациям, занимающимся массовым производством однородной продукции либо серийным, единичным производством разнородной продукции;

Проектную организационную структуру эффективно использовать для:

- IT компаний;
- других организаций при необходимости например, реконструкции производства, разработки и освоению новых видов продукции и технологических процессов, строительство объектов и т.д.

Матричную организационную структуру эффективно использовать для организаций, продукт которых является уникальным и может рассматриваться как отдельный проект. Т.е. применяются такими организациями как:

- исследовательскими организациями и фирмами, специализирующимися на управленческом консалтинге;
- инновационными подразделениями в корпорациях, работающих в сфере высоких технологий, таких, как авиакосмическая промышленность, телекоммуникации, фармацевтика, электронная промышленность;
- фирмами, функционирующими в условиях быстрой смены товарной номенклатуры (фирмы, производящие сложное оборудование по единичным заказам; редакции газет и журналов; компании звукозаписи; компании, специализирующиеся на выпуске модной одежды; косметические фирмы; рекламные компании).

Линейную организационную структуру эффективно использовать для мелких и средних организаций, которые осуществляют несложное производство, выполняют повторяющиеся операции. Организациям с таким типом организационной структуры трудно приспособиться к новым целям и задачам.

Дивизионную организационную структуру эффективно использовать при интеграции организации, образовании холдингов.

По результатам проведенной работы предложена адекватная классификация организационных структур, отражающая взаимодействие и взаимосвязи основных и обеспечивающих процессов с управляющими процессами.

Обосновано, что организационная структура влияет на результативность деятельности организации. При условии, что она гармонизирована с соответствующим вариантам бизнес-деятельности организации, т.е. является проекцией сети процессов.

УДК 004.744.6:006

ПОЛНЫЙ ЦИКЛ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА КАК КРИТЕРИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СМК

Серенков П.С., Ромбальская О.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Анализ систем менеджмента качества (далее СМК) ряда компаний малого бизнеса Республики Беларусь самого различного профиля показал, что бизнес-процессы организаций, как правило, представляются в виде потоков работ.

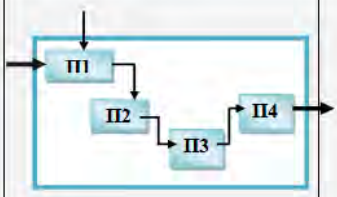
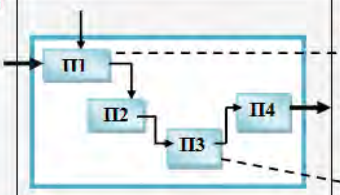
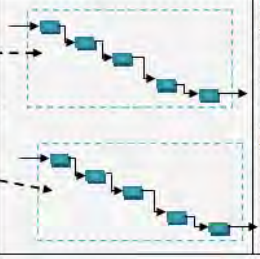
В ходе анализа были выявлены типовые варианты представления бизнес-процессов организаций.

Вариант 1. В таком варианте наблюдается отсутствие общей схемы бизнес-процесса. Описание процессов (как графическое, так и текстовое) реализуются в рамках руководства по качеству. Процессы, входящие в бизнес-процесс детализируются в виде блок-схем.

Вариант 2. В таком варианте представлена общая схема описания бизнес-процесса. Детализация же процессов бизнес-процесса отсутствует. Процессы описываются в виде карт процессов, а так же в руководстве по качеству (как графически, так и в виде текста).

Вариант 3. В таком варианте представлена общая схема бизнес-процесса. Каждый процесс бизнес-процесса детализируется и в виде потока осуществляемых работ. Все процессы описываются по картам процессов, так же в руководстве по качеству.

Таблица 1 – Типовые варианты представления бизнес-процессов организации

№	Наличие общей схемы бизнес-процесса	Детализация процессов бизнес-процесса	Описание процессов	
			Графическое	Текстовое
1	2	3	4	5
1	НЕТ	ЕСТЬ	+	Руководство по качеству
2		НЕТ-	Карты процессов ***Процесс 1*** Входы ……. Выходы ……. Управление ….. Механизмы …… ***Процесс 2*** Входы ……. Выходы ……. Управление ….. Механизмы ……	Руководство по качеству
3			Карты процессов ***Процесс 1*** Входы ……. Выходы ……. Управление ….. Механизмы …… ***Процесс 2*** Входы ……. Выходы ……. Управление ….. Механизмы ……	Руководство по качеству

Из описания вариантов, видно, что первые два наиболее неудачные примеры. В них отсутствует структура процессов, не выработаны механизмы управления несоответствиями. Такое описание не несет никакой значимой информации для персонала компаний.

Третий вариант является наиболее рациональным. Здесь реализуются, но не в полной мере система целей, система ответственности и полномочий (организационная структура), система сбора и анализа данных, система поддержки принятия решений.

Для результативной работы СМК необходима организация комплекса управленческих функций в отношении каждого бизнес-процесса, включающего:

- систему целеполагания – структурирования функции качества по всей иерархии процессов и ответственности;
- систему распределения ответственности и полномочий в отношении деятельности в области качества;
- систему сбора и анализа данных о результативности продукции и процессов;
- систему принятия управленческих решений, привязанная к структуре процесса (процессов). Такая система обеспечивает реализацию принципа «управление, основанное на фактах» и обеспечивает информационную поддержку деятельности в области качества со стороны владельцев процессов.

Полный цикл менеджмента качества предполагает, что в отношении каждого бизнес-процесса определены система целей, систему распределения ответственности и полномочий в отношении деятельности в области качества, сбор и анализ данных, поддержка принятия решений. Ключевым здесь является формирование в рамках потока работ системы контроль ных точек и соответственно систем поддержки принятия решений для каждой из них.

Алгоритм формирования полного цикла менеджмента качества:

1) Идентифицировать систему контрольных точек: где, какие, кто ответственный;

2) Для каждой контрольной точки определить систему количественных показателей (R_1, R_2,…R_i) и модель комплексной результативности $R = f(R_1, R_2,…R_i)$;

3) Определить допустимый критерий [R];

4) Разработать методы и средства контроля R_1, R_2,…R_i;

5) Определить критерии соответствия по каждому из параметров R_i;

6) Определить критерии соответствия по комплексной результативности;

7) Определить правила принятия решений в отношении несоответствий в контрольной точке.

Особое внимание здесь необходимо обратить на критерий результативности при формирование полного цикла менеджмента качества – это идентификация всех возможных ситуаций в отношении выходов процесса в каждой контрольной точке, а так же оптимизация количества и расположения контрольных точек.

Нами предлагается вариант реализации полного цикла менеджмента качества в виде карты контрольных точек, представленный на рисунке 1.

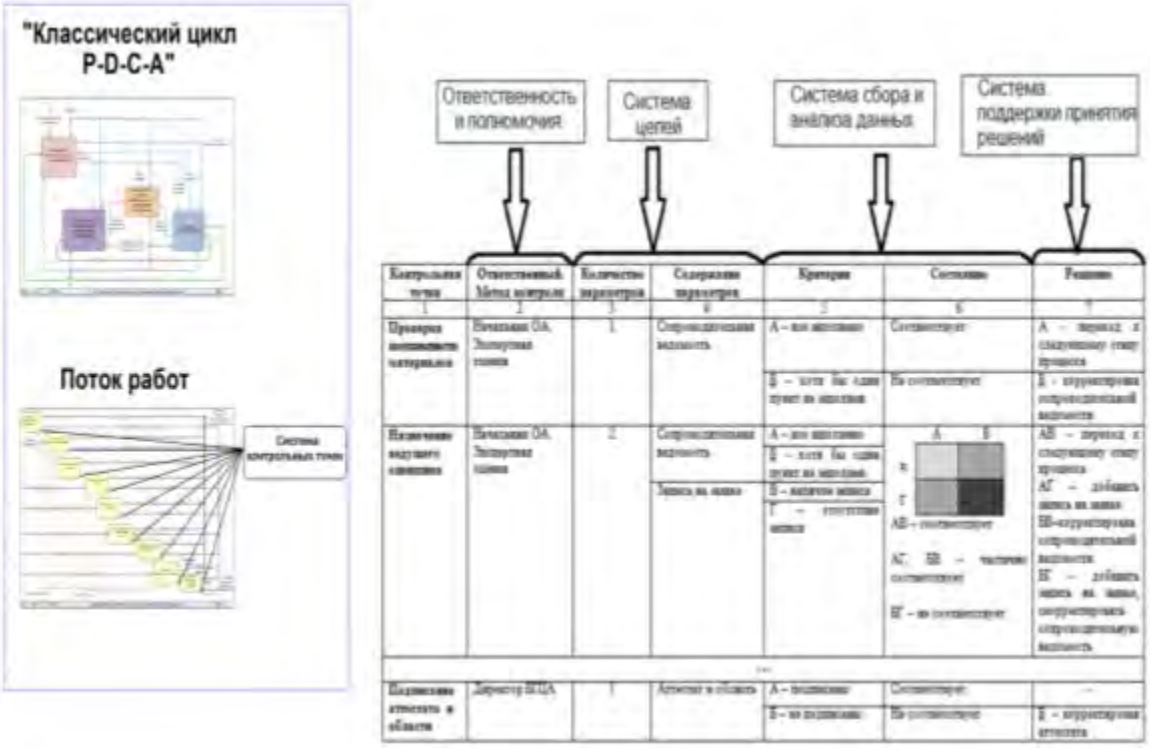


Рисунок 1 – Реализация полного цикла менеджмента качества

Предложенная реализация полного цикла менеджмента качества включает в себя: систему распределения ответственности и полномочий в отношении деятельности в области качества, представленную в виде графы «ответственный»; систему сбора и анализа данных, представленную в виде граф «контрольная точка», «количество параметров», «содержание», «критерии»; систему поддержки принятия решений, представленную в виде граф «состояние», «решение».

В результате проведенного анализа, предложена реализация полного цикла менеджмента качества в виде карт контрольных точек, которая реализует полный комплекс управленческих функций в отношении каждого бизнес-процесса компании.

УДК 621

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Сернов С.П., Савкова Е.Н., Комиссарова К.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Изготовление качественной и конкурентоспособной продукции на сегодняшний день предполагает в первую очередь, выполнение требований потребителей, а также соблюдение требований технических нормативных правовых актов и нормативных документов.

Процесс разработки и изготовления продукции и услуг неразрывно связан с проведением измерений и испытаний на всех стадиях жизненного цикла и получением соответствующих результатов. Поэтому, следуя требованиям Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», необходимо обеспечить метрологическую прослеживаемость результатов измерений и/или испытаний до единиц, воспроизводимых национальным или международным эталоном, причем, лаборатория должна установить прослеживаемость своих средств измерений до единиц Международной системы единиц (СИ) посредством непрерывной цепи калибровок или сличений, устанавливающих их связь с соответствующими первичными эталонами единиц физических величин СИ [1].

Документ СТБ ИСО/МЭК 17025 дает рекомендации относительно способов организации прослеживаемости:

- применение стандартных образцов;

- применение установленных методов и (или) согласованных эталонов.

Исходя из этого, основной задачей при рассмотрении вопроса метрологической прослеживаемости становится разработка результативных схем метрологической прослеживаемости.

Зачастую обеспечение метрологической прослеживаемости бывает затруднено вследствие отсутствия инструмента передачи размера единиц, что связано с физическими аспектами измеряемых величин или объектов измерений. Такую проблему, например, можно наблюдать в области фотометрии при измерении таких величин, как коэффициент силы света и коэффициент светоотражения.

Коэффициент силы света (КСС), R – частное от деления силы света, отраженного в рассматриваемом направлении, на освещенность светоотражающего приспособления при данных углах освещения, расхождения и вращения [3].

Коэффициент светоотражения (R') – частное от деления коэффициента силы света R на плоскости светоотражающей поверхности на ее площадь [3].

Данные величины нормированы Правилами ЕЭК ООН и служат показателями качества светотехнической продукции, применяемой на транспортном средстве. К такой продукции можно отнести, к примеру, светоотражающие приспособления (светоотражатели) и световозвращающий маркировочный материал. Повышенное внимание к продукции данного типа обусловлено тем, что она используется для обеспечения безопасности дорожного движения и повышения пропускной способности дорог. Именно с этой целью ТНПА и НД предусмотрена обязательная сертификация светоотражателей на соответствие требованиям Правил ЕЭК ООН и др. В рамках сертификации предусмотрено проведение сертификационных испытаний, включающих измерительный контроль фотометрических характеристик: коэффициента силы света и светоотражения.

Вследствие этого для повышения эффективности процесса испытаний руководством аккредитованной испытательной лаборатории «Центр испытаний светотехнического оборудования», БНТУ с целью обеспечения метрологической прослеживаемости было принято решение о разработке и утверждении государственного стандартного образца светоотражения светоотражающих пленок. Необходимость разработки стандартного образца государственного уровня обусловлена применением его в сфере законодательной метрологии, а именно при получении результатов измерений при осуществлении метрологического контроля и проведении испытаний за соответствием продукции требованиям законодательства Республики Беларусь в аккредитованном испытательном центре.

Аккредитованный «Центр испытаний светотехнического оборудования транспортных средств» осуществляет сертификационные испытания светотехнического оборудования транспортных средств. Согласно требованиям Системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь, данные испытания попадают в сферу законодательной метрологии и поэтому применяемые средства измерений (установка Гонио-рефлектометр «Gonio 9210») должны быть подвергнуты соответствующему виду метрологического контроля, а именно калибровке.

Необходимость исследований состояла в том, что испытательный центр, стремясь снизить стоимость проведения испытаний и повысить конкурентоспособность производимых услуг, нуждался в разработке путей обеспечения прослеживаемости результатов измерений при проведении испытаний до Национального эталона единицы силы света и освещенности НЭ РБ 8-02. Вследствие этого было предложено обеспечить прослеживаемость измерений за счет проведения процедур утверждения комплекта стандартных образцов продукции в качестве государственного стандартного образца, который, в данном случае, предлагалось использовать при калибровке установки. Использование комплекта стандартных образцов необходимо для создания достаточно широкого диапазона значений коэффициента силы света и светоотражения обусловленного тем, что характеристики светотехнического оборудования, применяемого в транспортных средствах, имеют различные по величине значения фотометрических характеристик. В комплект стандартных образцов предлагалось включить три экземпляра стандартных образцов с соответствующими сертифицированными характеристиками. В качестве каждого отдельного экземпляра стандартного образца была использована металлическая пластинка с наклеенным светоотражающим материалом определенного цвета и структуры материала, так как эти факторы определяют величину значений коэффициентов силы света и светоотражения. При решении вопроса, связанного с выбором материала стандартного образца был проведен ряд исследовательских работ. Фото комплекта стандартных образцов приведено на рисунке 1.

Таким образом, имея достаточное количество экземпляров стандартных образцов с различными сертифицируемыми значениями, можно составить условный диапазон сертифицированных значений коэффициентов силы света и светоотражения.

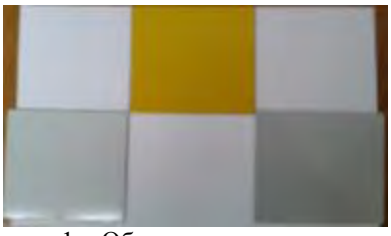


Рисунок 1 – Образцы светоотражающего материала

Для того, чтобы использование СО имело юридическую силу, следует провести процедуры его утверждения согласно действующим ТНПА и НД. На сегодняшний день основным документом, регламентирующим порядок разработки и применения стандартных образцов на территории Республики Беларусь, является ТКП 8.005. Проанализировав данный документ, было установлено, что в качестве процедуры утверждения СО служит сертификация, которая предусматривает разработку и согласование комплекта документов: технического задания на разработку ГСО; программу сертификации ГСО; программу проведения научно-исследовательских и экспериментальных работ по изготовлению и разработке ГСО; отчета по сертификации ГСО; сертификата ГСО; инструкцию по применению ГСО; три этикетки; проекта описания типа ГСО; проекта методики калибровки Гонио-рефлектометра «Gonio 9210» с расчетом неопределенности.

Таким образом, целью исследований была разработка комплекта документов и проведение сопутствующих мероприятий по разработке, изготовлению и утверждению ГСО.

В результате были получены следующие результаты:

- определены сертифицируемые параметры ГСО (номинальные значения коэффициентов силы света и светоотражения; неопределенность и погрешность сертифицируемых значений, параметры однородности и стабильности);
- предложены две схемы метрологической прослеживаемости;
- разработан, реализован и внедрен в систему менеджмента испытательного центра план проведения совместного оценочного эксперимента;
- проведены исследования параметров образцов светоотражающего материала;
- разработан комплект документов для сертификации и утверждения типа ГСО.

Таким образом, узаконив стандартный образец, лаборатория будет иметь возможность осуществлять метрологический контроль с наименьшими затратами и, следовательно, повышать конкурентоспособность при предоставлении услуг по проведению испытаний.

1. ISO/IEC Guide 99:2007 Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM).
2. Правила ЕЭК ООН № 104 (00)/Пересмотр 1 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения светоотражающей маркировки для транспортных средств категорий M, N, и O

УДК 531.7.08

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАКТОВКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КООРДИНАТНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ

Соколовский С.С., Хмелевская А.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В XXI веке – веке глобальных информационных, компьютерных технологий и инноваций, координатные измерительные машины (далее – КИМ) получили широкое распространение во многих областях промышленности. Несмотря на достаточное многообразие КИМ и их постоянное совершенствование, из-за сложности приборов, зачастую недостаточной квалификации операторов, а также нехватки рекомендаций производителей машин и справочных материалов по выполнению координатных измерений и обработке полученных результатов, у пользователей этих средств координатных измерений возникает ряд трудностей и нерешенных вопросов.

Одной из проблем, существующих в области координатных измерений, реализуемых на базе КИМ, является возможность неоднозначной трактовки результатов измерений отдельных геометрических параметров деталей. С целью подтверждения существования данной проблемы рассмотрим следующий пример.

В качестве объекта контроля примем некоторую корпусную деталь, у которой необходимо проконтролировать расстояние от номинально плоской торцовой поверхности до оси заданного крайнего отверстия и расстояние между осями двух отверстий как это представлено на рисунке 1.

При решении данной задачи на базе КИМ вышеназванные элементы детали «ощупываются» в ряде контрольных точек и компьютерный комплекс КИМ выдаёт по одному число-

вому значению для каждого контролируемого параметра.

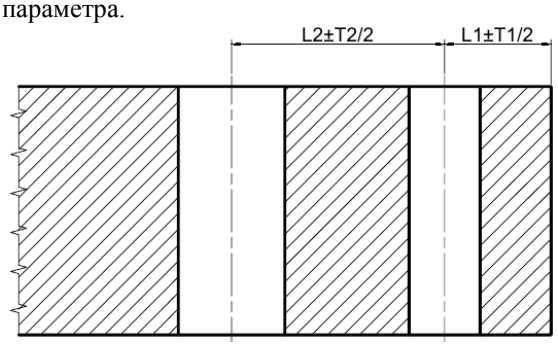


Рисунок 1 – Нормативные модели параметров, подлежащих координатному контролю

В связи с этим возникает вопрос, каким образом были получены эти результаты измерений и что характеризуют эти числовые значения параметров у реальных элементов деталей, имеющих сложный рельеф и произвольное пространственное расположение (рисунок 2).

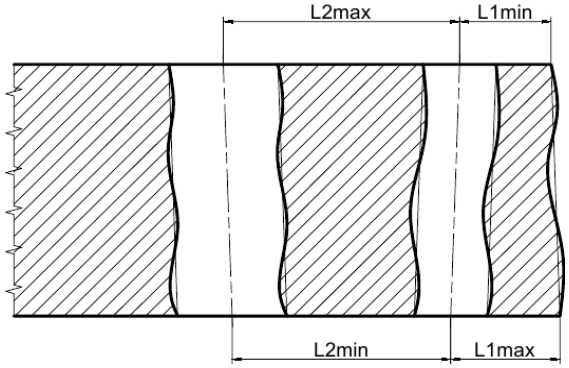


Рисунок 2 – Экспериментальные метрологические модели контролируемых параметров, построенные по результатам координатных измерений соответствующих элементов детали

В качестве ответа на поставленный вопрос, можно рассматривать различные варианты решений, например:

1) принятие в качестве числовых значений контролируемых параметров таких, которые получены путем простого арифметического усреднения их измеренных экстремальных значений (L_{1min} и L_{1max}, L_{2min} и L_{2max} на рисунке 2) (так как при контроле деталей на базе КИМ их реальные элементы принято заменять так называемыми «средними» элементами (на рисунке 2 они показаны тонкими линиями), учитывая произвольное пространственное расположение этих элементов, каждый из контролируемых параметров может быть охарактеризован бесчисленным множеством значений, лежащих в некотором интервале, ограничиваемом наибольшим и наименьшим возможными значениями).

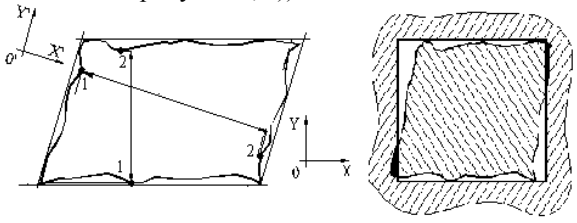
2) возможен также вариант одновременной аппроксимации измеренных элементов деталей комплектом связанных «средних» поверхностей соответствующей формы (в данном случае плоскостью и двумя цилиндрами) с «плавающими» расстояниями между ними. Эти расстояния, фиксируемые по окончании такой аппроксимации и принимаются в качестве числовых значений контролируемых параметров.

В ходе решения проблемы однозначного представления контролируемых геометрических параметров деталей параллельно встает проблема определения минимально необходимого и достаточного числа контрольных точек для воспроизведения контролируемых элементов деталей с требуемой точностью (с целью исключения (уменьшения) методической погрешности измерений).

Рекомендации по выбору необходимого и достаточного количества контрольных точек зависят от формы измеряемой поверхности (прямолинейная или криволинейная) и от измеряемой характеристики формы и расположения.

Производители КИМ, как правило, не приводят в своих программных продуктах рекомендаций по выбору количества контрольных точек. Существующие правила выбора точек измерения носят рекомендательный характер и их число может быть изменено в большую или меньшую сторону. Все это, с целью исключения влияния методической погрешности из-за дискретизации измеряемой поверхности, вынуждает использовать либо сканирующие СКИ (т.к. чем больше контрольных точек, тем точность измерения выше и погрешность метода меньше), либо разрабатывать оптимизированные МВИ для каждой конкретной КИМ и измеряемой детали.

Проблемой координатных измерений, реализуемых на базе обычных универсальных СИ, является возможность ошибочного отнесения бракованных деталей к годным и наоборот из-за неправильно выбранной (нерациональной) схемы измерений. Причиной возникновения такой проблемы является то, что измерения контролируемых элементов выполняются в различных системах координат (т.е. один размер детали измеряется в одной системе координат, а другой – в иной, отличной от первой, например, так, как показано на рисунке 3, а)).



а) б)

Рисунок 3 – Пример измерения линейных размеров детали в различных системах координат

Следствием таких «неправильных» измерений может быть функциональная непригодность

детали, формально признанной годной, при ее установке в сборочную единицу как, например, на рисунке 3, б) (деталь не входит в предназначенное для нее отверстие, хотя по результатам измерений оказывается годной).

Как вариант решения данной проблемы можно рассматривать проведение измерений в одной жестко заданной системе координат, которая может быть обеспечена при контроле деталей на базе КИМ. При этом следует использовать процедуру одновременного аналитического описания всех измеренных элементов детали в одной фиксированной системе координат с последующим их «вписыванием» между аналитически задаваемыми предельными контурами детали с одновременным проведением возможного перераспределения взаимосвязанных полей допусков[1].

Процедура контроля размеров деталей на основе принципа перераспределения полей допусков представлена в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 4.

Таким образом, чтобы избежать неоднозначности результатов координатного контроля следует:

а) каждую деталь рассматривать как некоторый комплекс органически взаимосвязанных элементов, которые в случае годности детали должны находиться между двумя общими для всех элементов предельными контурами, определяющими комплексное поле (или пространство) допуска;

б) измерения геометрических параметров всех контролируемых элементов детали выполнять в одной жёстко заданной системе координат (что реализуемо на базе КИМ);

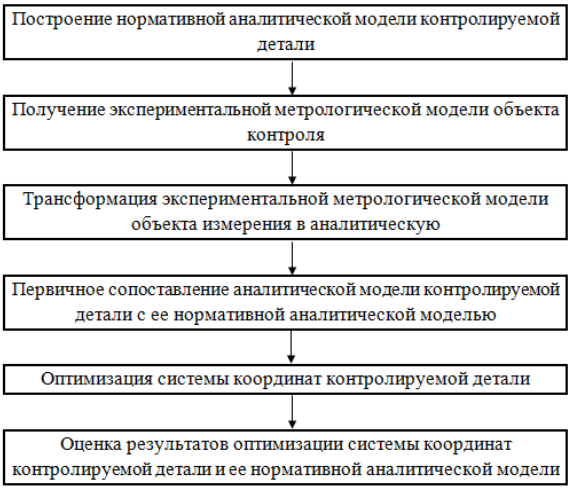


Рисунок 4 – Алгоритм процедуры контроля размеров деталей на основе принципа перераспределения полей допусков

в) для измеренных элементов деталей выполнять процедуру поиска оптимизированного их расположения относительно предельных контуров детали с одновременным перераспределением взаимосвязанных полей допусков, по результатам которого должно приниматься окончательное решение о годности детали.

1. Соломахо, В.Л. / В.Л. Соломахо, Б.В.Цитович, С.С. Соколовский, Д.В. Соломахо // Монография: Теория, расчет и проектирование оптимизированных методик координатного контроля в машиностроении – Минск: БНТУ, 2012. – С. 8 – 19.

УДК 681.2

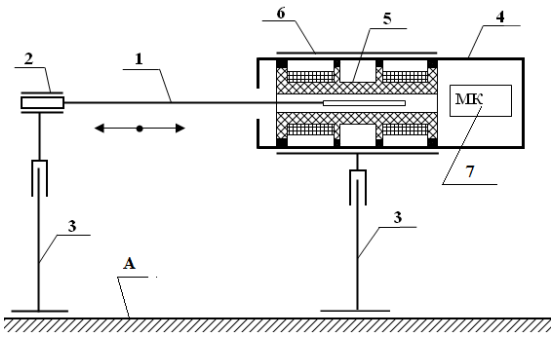
МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МОСТОВ

Соломахо В.Л., Соколовский С.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Инструментальный мониторинг транспортных мостов рассматривается как совокупность действий, направленных на контроль напряженно-деформированного состояния конструкции, с целью обеспечения безопасности функционирования сооружения и оповещения об опасных реакциях конструкций на внешнее воздействие. Такой мониторинг в технической литературе часто называют «деформационным». Система автоматизированного деформационного мониторинга охватывает контроль конструкций и конструктивных связей с целью выявления трещин и других повреждений, а также контроль напряженно-деформированного состояния конструкций [1, 2]. Измерительная система включает датчики, установленные на пролетных строениях мостов, передающие измерительную информацию с помощью контрольной аппаратуры. В системах деформационного мониторинга наиболее часто используются датчики на основе тензометрических или индуктивных первичных измерительных преобразователей. На рисунке 1 представлена функциональная метрологическая схема одного из возможных вариантов индуктивного датчика.

При использовании индуктивного датчика стойки 3 устанавливаются на элементе конструкции А. Наличие различных влияющих факторов приводят к изменению состояния конструкции, что вызывает изменение ее геометрических размеров, а следовательно перемещению штока 1 относительно чувствительных элементов

5 и формированию сигнала измерительной информации, поступающей в микроконтроллер 7.



1 – шток измерительный в сборе, 2 – втулка установочная, 3 – стойка несущая, 4 – корпус преобразователя, 5 – статор с обмотками измерительного преобразователя, 6 – втулка установочная, для крепления корпуса преобразователя, 7 – микроконтроллер.

Рисунок 1 - Функциональная метрологическая схема индуктивного датчика

В ходе мониторинга в качестве влияющих на работу конструкций факторов выделяют: нагружение транспортной нагрузкой, изменение климатических условий, смещение опор, которые определяются напряженно-деформированным состоянием конструкций от транспортных нагрузок, колебаниями температуры и влажности окружающей среды, ползучестью бетона, колебаниями напряжений в пучках предварительно напряженных железобетонных конструкций и др.

В мостах количество датчиков определяется в зависимости от конструктивных особенностей моста. Как правило, в продольном сечении моста датчики располагаются в середине, на четверти длины пролетов и над опорами; а в поперечных сечениях – с правой и левой сторон вверху, внизу и по середине сечения.

В настоящее время системы деформационного мониторинга работают как индикаторные, т.е. фиксируют изменения напряженно-деформированного состояния качественно, по типу «больше» - «меньше». При этом регистрируется независимая информация, поступающая от каждого датчика. В ходе мониторинга используемая измерительная система позволяет фиксировать во времени координаты «критических точек» строительной конструкции. Однако взаимная увязка результатов при деформационном мониторинге между собой, как правило, отсутствует в силу сложности математического моделирования объекта.

На первом этапе упростим модель и ограничимся рассмотрением плоской задачи. Порядок реализации такого подхода рассмотрим на примере контроля линейных размеров «сечения» строительной конструкции, принимая ее форму за «номинально прямоугольную».

Будем исходить из того, что массив исходной измерительной информации путем опроса датчиков измерительной системы уже получен, и он включает двумерные декартовые координаты множества контрольных точек конструкции, равномерно расположенных на всех ее контролируемых элементах (не менее трех точек на каждом). Таким образом, можно в данном случае говорить об уже состоявшемся преобразовании реальной контролируемой конструкции в ее некоторую дискретную экспериментальную модель. В соответствии с используемым здесь подходом дальнейшая задача состоит в аналитическом поиске такого «расположения» контура конструкции (ее экспериментальной модели), чтобы все ее реальные элементы «вписались» между предельными контурами соответствующими минимально и максимально возможными исходя из прочностных характеристик конструкции.

Рассмотрим условия функциональной годности конструкции, т.е. критерий возможности «вписывания» ее реального контура между двумя предельными контурами.

Необходимым условием признания «годности» конструкции с учетом допущений, связанных с принятой моделью, является выполнение следующего неравенства:

$$R_{max} > \rho > R_{min},$$

где ρ – радиус-вектор диагонали контролируемой детали;

R_{max}, R_{min} – диагонали прямоугольных предельных контуров, соответствующих максимальному и минимальному контуру конструкции.

На рисунке 2 представлена графическая интерпретация необходимого условия.

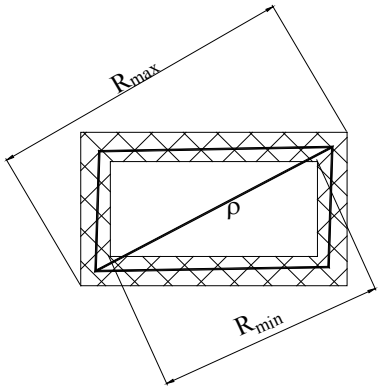


Рисунок 2 – Графическая интерпретация необходимого условия решения задач

Процедура совмещения может допускать как смещение, так и поворот экспериментально полученного контура в пределах зоны, ограниченной двумя нормированными контурами (рис. 3).

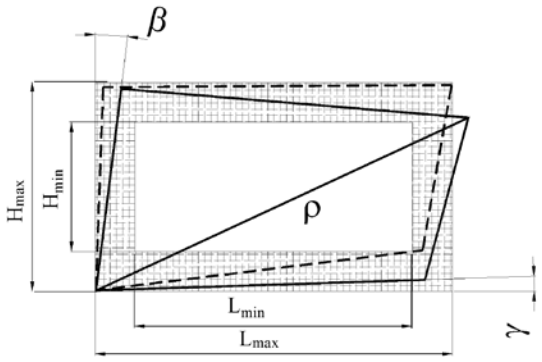


Рисунок 3 – Графическая интерпретация оценки состояния конструкции с учетом поворота реального контура на определенный угол

Используя изложенный подход путем одновременного анализа положения реального контура конструкции в нескольких сечениях, можно от «плоской» перейти к решению «пространственной» задачи, что позволит более адекватно судить о напряженно-деформируемом состоянии конструкции.

1. Овчинников, И.Г. Диагностика мостовых сооружений / И.Г. Овчинников [и др.] – Саратов: СГТУ, 2003. -181 с.
2. Баранов, Т.М. Особенности методологи мониторинга геодинамической безопасности мостов / Т.М. Баранов // Материалы МПК – Иркутск: ИрГУПС, 2012. – С.511-517.

УДК 658

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМК

Спесивцева Ю.Б., Белайчук А.Ф.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Система менеджмента качества является инструментом, позволяющим обеспечить выпуск продукции стабильного качества, а также повысить объемы продаж. В стандартах ISO серии 9000 одним из основных инструментов совершенствования деятельности организации в области качества является измерение результативности функционирования СМК. Однако в стандартах при декларации данного принципа не предлагается определенного механизма комплексной оценки результативности, отражающей в какой степени реализована запланированная деятельность и достигаются ли запланированные результаты,. Поэтому с решением проблемы адекватной и объективной оценки, а также последующего анализа результативности СМК сталкивается каждое предприятие.

Работа выполнялась на базе Минского завода шестерен, который является крупнейшим в СНГ по выпуску зубчатых колес. Анализ СМК показал, что в целом система менеджмента качества функционирует в соответствии с СТБ ISO 9001, но процедура оценки результативности СМК имеет существенные недостатки.

Суть действующей методики заключается в следующем. Оценка результативности СМК определяется выполнением требований СТБ ISO 9001, которые оцениваются в баллах (от 0 до 10). Если средний балл меньше 7,0, то деятельность подразделения функционирует нерезультативно. Если средний балл выше 7,0, то подразделения функционирует результативно.

Недостатки методики:

− оценка результативности СМК выполняется лишь на основе анализа выполнения пунктов стандарта и не затрагивает значения показателей по целям в области качества;

− не учитываются все важнейшие процессы и процедуры в организации.

− отсутствует специальная группа по оцениванию результативности СМК.

− отсутствует нормативный документ, регламентирующий процедуру проведения оценивания, следовательно, нет возможности проследить правильность проставления оценок и порядок проведения оценивания.

Для совершенствования процедуры оценивания результативности СМК был введен обобщенный показатель результативности системы менеджмента качества, при расчете которого учитываются показатели оценки результатов деятельности организации и оценки достижения поставленных целей в области качества.

В результате анализа существующих методик оценивания результативности СМК (количественные подходы, на основе балльных оценок, модель индексного нормирования оценки результативности, самооценка и др.) была выбрана методика на основе балльных оценок. Она является относительно простой и обеспечивает высокую степень достоверности. В соответствии с этой методикой нужно определить результативность каждого процесса, которая оценивается по показателям. Если таких показателей несколько, то для каждого устанавливается свой весовой коэффициент.

На предприятии были выделены процессы СМК, для которых осуществление мониторинга, измерения и анализа не вызывает трудности. Разработанная методика оценки результативности СМК проводится по выбранным оценочным показателям четырех уровней. Первый уровень включает один показатель R, характеризующий итоговую оценку результативности СМК. Второй уровень – два показателя, формирующие итоговую оценку:

− общая оценка результатов деятельности - показатель Д;

− общая оценка достижения целей в области качества – показатель Ц.

Третий уровень - показатели, формирующие обобщенные показатели второго уровня. Д: результативность процессов «Реализовывать ответственность высшего руководства», «Осуществлять взаимодействие с потребителем», «Осуществлять менеджмент ресурсов», «Закупки», «Управление процессами производства», «Управление персоналом», «Производить мониторинг и измерения». Ц: «Выполнения плана подготовки кадров», «Уровень отклонения оборудования от норм технологической точности», «Снижение коэффициента тяжести производственного травматизма», «Выполнение показателя по энергосбережению», «Объем экспорта товаров», «Оценка удовлетворенности потребителей», «Рентабельность продаж в промышленности», «Темп роста производства промышленной продукции в ценах базисного года», «Уровень нарушения технологической дисциплины», «Удельный вес потерь от брака после возмещения в общей себестоимости», «Оценка результативности СМК по результатам внутренних аудитов».

Четвертый уровень включает критерии, формирующие показатели третьего уровня. Они характеризуют степень достижения установленных выходов процессов в том числе измеряемых. Например, «Реализовывать ответственность высшего руководства»: «Темп роста товарной продукции», «Темп роста производительности труда», «Темп роста объема экспортных поставок», «Рентабельность продаж», «Удовлетворенность потребителя», «Реализация Программы управления охраной труда», «Достижение установленных целей по качеству».

Расчет результативности процесса на основе выполнения показателей в баллах осуществляется в следующей последовательности:

1. Выбирается для каждого показателя оценочный балл Пi (от 0 ….15)

2. Баллы показателей умножаются на коэффициенты значимости каждого показателя Кi (Σ Кi = 1,0), которые были установлены методом экспертных оценок

3. Оценка деятельности по процессу Дп:

$$Дп = \sum Пi\ Кi$$

4 Оценка результативности процесса:

$$Рп = (Дп/15\ баллов) \cdot 100\ \%\ .$$

5. Результативность деятельности СМК определяется как среднее арифметическое результативности всех процессов с учетом их коэффициентов значимости.

6 Определение отношения достижения целей к планируемым значениям:

$$Ц_{Дi}/Ц_{Пi}.$$

7 Определение значимости каждой цели:

$$(Ц_{Дi}/Ц_{Пi})Кi.$$

8 Определение общей оценки результативности целей Ц:

$$Ц = \Sigma(Ц_{Дi}/Ц_{Пi})Кi \cdot 100\ \%.$$

9 Оценка общей результативности СМК R

$$R = Ц \cdot Кi + Д \cdot Кi\ .$$

Мы рекомендуем следующую интерпретацию значений результативности СМК:

$0 \le R < 40\ \%$ – процессы функционируют не результативно, цели не были достигнуты. Необходимо вмешательство высшего руководства.

$40\ \% \le R < 60\ \%$ – требуется обстоятельный анализ процессов и СМК в целом, проведение значительных корректирующих действий.

$60\ \% \le R < 80\ \%$ – СМК в целом функционирует результативно, требуется проведение незначительных корректирующих действий.

$80\ \% \le R < 100\ \%$ – СМК в целом функционирует результативно, продолжить работу по его улучшению.

Результативность СМК считается удовлетворительной также, если имеется положительная тенденция по сравнению с предыдущим годом.

Периодичность оценки результативности процессов определяется периодичностью оценки СМК. Оценку проводит владелец процесса, информация предоставляется в службу качества.

Разработанная методика была апробирована. Результаты оценивания результативности ОАО «МЗШ»: общая оценка результативности достижения целей составила 94,9 %. Общая оценка результативности процессов составила 65,3 %. Сводные значения оценок результативности по процессам представлены на рисунке 1.

Обобщенный показатель результативности СМК равен 80,1 % . Результативность за 2013 год понизилась по сравнению с 2012 годом, так как снизился уровень реализации мероприятий по качеству, а данный показатель имеет значительный коэффициент весомости. Положительной динамикой можно отметить рост показателя удовлетворенности потребителя.

Достигнутые значения результативности по целям «Объем экспорта товаров» и «Уровень нарушения технологической дисциплины» выросли по сравнению с предыдущим годом. По цели «Оценка удовлетворенности потребителей» - осталась фактически на том же уровне. По

остальным целям результативность значительно снизилась по сравнению с 2012 годом. Необходимо уделить особое внимание выполнению этих целей в будущем году, провести внеочередные проверки, аудиты и корректирующие мероприятия.

Рисунок 1 – Оценка результативности процессов

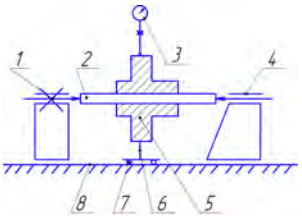
Применение для оценки результативности СМК описанной методики является нетрудоемким процессом, не требует привлечение специалистов высокой квалификации. Результаты можно наглядно представить в виде графиков и разместить на информационных стендах предприятия.

УДК 621.713.08:005.6(075.8)

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОРМ ТОЧНОСТИ

Спесивцева Ю.Б., Гуляко Е.Н., Токаренко И.М.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Метрологическая экспертиза является частью комплекса работ по метрологическому обеспечению и может являться частью технической экспертизы конструкторской, технологической и проектной документации. Одна из целевых установок метрологической экспертизы: проверить корректность и удовлетворительный уровень требований к объекту (правильность предъявления требований, выполнение которых гарантирует нормальное функционирование объекта). Для реализации этой цели применим алгоритм методики проектирования норм точности [1]. В основе методики лежит «послойная» структуризация объекта проектирования в виде «иерархической пирамиды» с целью распределения комплексного показателя качества изделия в виде заданного допускаемого диапазона рассеяния между его структурными элементами. Рассмотрим ее реализацию на примере приспособления для контроля направления зуба колеса зубчатого (рисунок 1).



1 – бабка с втулкой и неподвижным центром, 2 – контрольная оправка, 3 – индикаторная головка, 4 – бабка с втулкой и подвижным центром, 5 – контролируемая деталь, 6 – корпус, 7 – направляющие качения, 8 – плита.

Рисунок 1 – Схема приспособления

1 ЭТАП. Идентификация показателя качества изделия.

Допуск на погрешность направления зуба F_β= 25 мкм. Допустимая погрешность измерения [Δ] = 9 мкм. Допустимая инструментальная составляющая погрешности $[\Delta_{инстр}]$ = 8,4 мкм.

2 ЭТАП. Представление структуры изделия в виде «иерархической пирамиды».

Основание пирамиды составляют первичные неопределенности, принадлежащие простейшим элементам конструкции изделия – деталям: рычаг, втулка, корпус, оправка, центра, подвижная и неподвижная бабки и др. Из соединений деталей образуются конструктивные цепи (КЦ), «материализующие» взаимное положение в пространстве схемных элементов и являющиеся основой для построения функциональных устройств (ФУ): индикаторная головка, рычажный механизм, устройство базирования. Схема изделия в таком виде отражает влияние структурных элементов на показатель качества по принципу: от сложного к простому.

3 ЭТАП. Распределение диапазона допускаемых значений положения рабочего элемента изделия между его структурными элементами в виде полей допусков влияющих факторов.

Методика предполагает на каждом уровне пирамиды последовательное решение трех задач:

1. Выявление влияющих факторов
2. Определение их коэффициентов влияния
3. Комплексирование по номинальным значения, допускам и средним отклонениям

На высшем уровне «иерархической пирамиды» источниками неопределенности являются

функциональные устройства. Между ними распределяется значение инструментальной погрешности.

Затем осуществляется расчет точности каждого функционального устройства, наиболее сложным из которых является устройство базирования. Оно состоит из трех КЦ, определяющих неопределенность положения рабочих элементов ФУ (рабочих поверхностей центров и отверстия в кронштейне под измерительный преобразователь) относительно базирующего элемента (плиты) по шести степеням свободы.

Количественный анализ точности на уровне конструктивных цепей выполняется в виде расчетов размерных цепей. Положение каждого рабочего элемента базирующего функционального устройства в пространстве фиксирует материализованная размерная цепь. В свою очередь, каждая материализованная размерная цепь в общем случае включает шесть расчетных размерных цепей, определяющих положение рабочего элемента по конкретной координате. Функциональная точность контрольного приспособления рассматривается как неопределенность положения контролируемой детали относительно измерительного наконечника:

$$uz_{\phi y\,\Sigma} = uz + C_1 ux + C_2 uy + C_3 u\varphi_x + C_4 u\varphi_y + C_5 u\varphi_z$$

где uz - основная комплексная составляющая неопределенности взаимного положения схемных элементов,

ux, uy, $u\varphi_x$, $u\varphi_y$, $u\varphi_z$ - неопределенности взаимного положения схемных элементов, действующие в направлении остальных координат, но дающие свой вклад в суммарную неопределенность по основной координате пропорционально соответствующим коэффициентам влияния C_i.

В данном случае влияющими являются два угловых и два линейных смещения, для которых необходимо выявить первичные неопределенности влияющих параметров.

Рассмотрим одно из угловых смещений (остальные направления рассчитываются аналогично). В общем случае все неопределенности можно разделить на теоретические, свойств материала, технологические и эксплуатационные. В нашем случае присутствуют только технологические (рисунок 1): Г1 – отклонение от прямолинейности базовой поверхности основания, Г2 – отклонение от прямолинейности направляющей поверхности бабки 1, Г3 – отклонение от прямолинейности направляющей поверхности бабки 4, Г4 – отклонение от параллельности оси отверстия бабки 1 базовой поверхности, Г5 – отклонение от параллельности оси отверстия бабки 4 базовой поверхности, Г6 – отклонение профиля продольного сечения отверстия бабки 1, Г7 – отклонение профиля продольного сечения отверстия бабки 4, Г8 – биением втулки 1, Г9 – биение втулки 4, Г10 – смещение в посадке бабка - втулка 1, Г11 – смещение в посадке бабка - втулка 4, Г12 – отклонение профиля продольного сечения отверстия втулки 4, Г13 – биение центра 1, Г14 – биение центра 4, Г15 – разновысотность центров, Г16 – биение оправки.

Приведем расчет некоторых из перечисленных первичных неопределенностей.

Г1: Смещение из-за отклонения от прямолинейности базовой поверхности основания (рисунок 2).

Угол перекоса равен:

$$\propto = arctg\frac{T_\square}{l_{пл}} = arctg\frac{0{,}01}{150} = 0{,}004°$$

где $T_\square$ – допуск прямолинейности плиты (задан на сборочном чертеже 10 мкм)

$l_{пл}$ – нормируемая длина плиты (150 мм).

$$\Delta_1 = sin(\alpha)\cdot l_{дет} = sin\,(0{,}004°)\cdot 30 = 0{,}002 \text{ мм}$$

где $l_{дет}$ — длина контролируемой поверхности (30 мм)

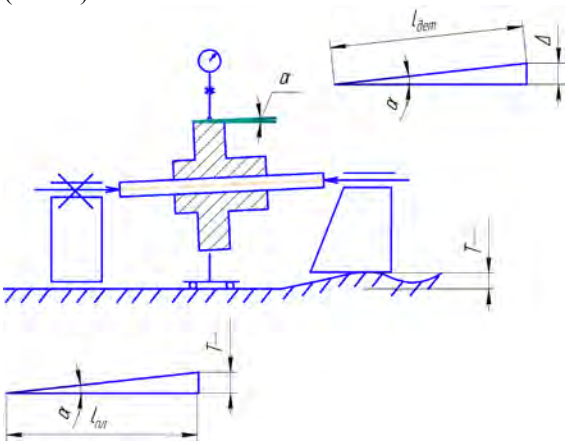


Рисунок 2 – Оценка влияния звена Г1

Г15: Смещение из-за разновысотности центров (рисунок 3).

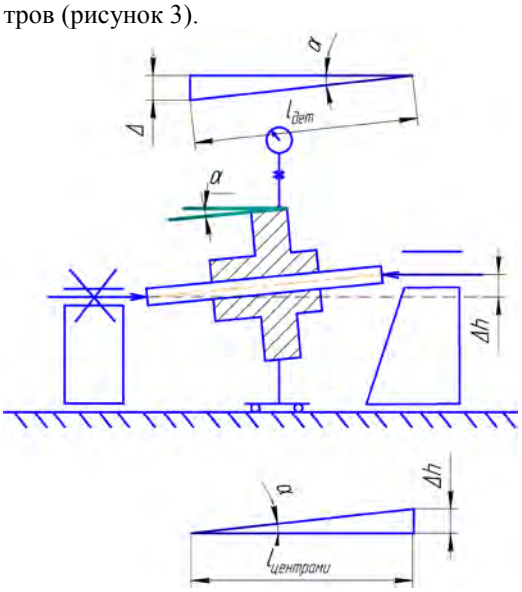


Рисунок 3 – Оценка влияния звена Г3

Угол перекоса:

$$\alpha = arctg\frac{\Delta h}{l_{\text{центрами}}} = arctg\frac{0{,}02}{500} = 0{,}0023°$$

где Δh – разновысотность центров

$l_{\text{центрами}}$ – расстояние между центрами

$$\Delta_{17} = sin(\alpha)\cdot l_{\text{дет}} = sin\,(0{,}0023°)\cdot 30 = 0{,}0012 \text{ мм}$$

где $l_{\text{дет}}$ — длина контролируемой поверхности (30 мм)

Комплексирование первичных неопределенностей параметров осуществляется последовательно в рамках КЦ, ФУ, изделия. Рассчитанное значение сравнивается с допустимой инструментальной погрешностью.

1. Серенков П.С. Методы менеджмента качества. Проектирование норм точности / П.С. Серенков, Ю.Б.Спесивцева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009 – 336 с.

УДК 006.065:658.62.018.012

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СИСТЕМ НЕОДНОРОДНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Хорлоогийн А.С., Дашкевич Е.А., Дашкевич Р.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Решение современных задач управления сложными системами и объектами, широкомасштабное внедрение информационных технологий, необходимость повышения достоверности и качества исходной информации настоятельно требуют дальнейшего развития методов и алгоритмов обработки экспериментальных данных, анализа и моделирования процессов, характеризующих свойства изучаемого объекта. Одним из направлений такого развития является создание эффективных методов и алгоритмов, учитывающих неоднородность исходной информации. Такая неоднородность может носить различный характер и объективно обуславливаться разными причинами, связанными с особенностями конкретного объекта и/или со спецификой постановки задачи исследования.

При анализе процессов неоднородность может обуславливаться спонтанным изменением их характеристик, появлением аномальных наблюдений. При исследовании поведения многофакторных объектов зачастую приходится учитывать присутствие влияющих факторов как количественного, так и качественного характера. В задачах классификации неоднородность данных, их кластеризация является предпосылкой успешного решения данной задачи.

При оценивании объектов по значениям нескольких показателей приходится иметь дело не только с однородными показателями оцениваемого объекта. Нередко ставится задача оценки объекта по неоднородным показателям, то есть имеющим различные единицы измерения или измеренных в различных шкалах, то есть необходимо определить комплексный показатель объекта.

Сегодня одним из эффективных способов решения задачи оценки систем неоднородных показателей является применение экспертных методов оценки [1].

Достоинствами экспертного метода оценки любого оцениваемого объекта является:

1. быстрота получения результатов без наличия нормативной базы;
2. возможность оценивания при невозможности измерить его характеристики количественными объективными методами.

Недостатками экспертного метода является его субъективность и соответствующие этому возможные погрешности результатов экспертизы, существенные затраты на привлечение опытных экспертов для участия в экспертных работах, влияние авторитетных членов экспертной группы и корпоративных интересов на мнение отдельных экспертов.

В качестве примера можно привести определение комплексной оценки физического состояния экспертными методами оценки.

Набор факторов в первую очередь зависит от цели физического совершенствования, то есть для разных целей определяются разные наборы показателей. Цели физического совершенствования можно условно разделить на три группы [2]:

1. Совершенствование физического развития организма (коррекция фигуры).
2. Совершенствование функционального состояния организма (улучшение работы сердечно-сосудистой системы, дыхательной системы и т.д.).
3. Совершенствование физической подготовки организма (улучшение быстроты, выносливости, силы и т.д.).

В этом случае возникает необходимость проводить оценивание показателей в одной шкале. Структура оцениваемых характеристик и свойств объекта позволяет воспользоваться методом анализа иерархий (МАИ) в классической интерпретации Т. Саати. Этот метод относится к классу критериальных и занимает особое место, благодаря тому, что он получил исключительно широкое распространение и активно применяется по сей день.

Однако в ряде исследовательских работ, посвященных анализу этого метода, была показана

некорректность работы МАИ при определенных наборах входных данных (нарушение принципа транзитивности). Следовательно, для решения задачи необходимо воспользоваться методом анализа экспертных данных, являющимся аналогом МАИ, но который бы корректно анализировал корреляцию факторов, влияющих на принятие решений.

Для решения такой задачи необходимо:

1. Представить оцениваемый объект в виде системы показателей $U = f(u_1, u_2, \ldots, u_n)$, представляющей собой совокупность неоднородных показателей (факторов), связанных между собой общей функциональной зависимостью и учесть, что:

1) измерение неоднородных показателей осуществляется в разных шкалах;

2) значения неоднородных показателей имеют различные единицы измерения.

2. Выбрать оптимальный метод решения поставленной задачи. Если комплексный показатель невозможно выразить через единичные с помощью объективной зависимости, необходимо применить субъективный способ образования комплексных показателей, например, экспертный метод оценки объекта.

Используя метод анализа экспертных оценок, решение задачи можно представить в виде определенной системы принятия решений в области поставленной задачи или в виде функции связи, определение которой осуществляется в два этапа:

1. Выбор метода измерения функции предпочтения в точках некоторого плана эксперимента.
2. Выбор метода аппроксимации функции.

В качестве примера можно представить физическое состояние человека в виде системы неоднородных показателей, которую необходимо с наилучшей достоверностью оценить. Однако из-за большого количества показателей, оцениваемых в разных шкалах, применение объективных методов определения комплексной оценки (комплексного показателя) является достаточно трудоемким.

В таком случае целесообразно было бы использовать экспертные методы оценки физического состояния человека, основанные на применении достаточно простых способов измерения состояний объекта. В качестве альтернативного способа оценки предполагается исходить из представления, что человеку проще сравнить, чем непосредственно оценить. Наиболее простым и обоснованным является метод парных сравнений (метод косвенного определения функции связи).

Метод парных сравнений основан на попарном сравнении альтернатив. Данный метод является одним из методов изучения предпочтений, при котором из всех возможных парных сочетаний объектов необходимо выбрать самый предпочтительный в соответствии с заданным критерием, т.е. результатом является матрица парных сравнений, в которой сумма элементов строк дает представление о ранжировке всех объектов.

Существует два алгоритма, реализующие метод парных сравнений:

1) Алгоритм основанный на сравнении альтернатив, выполняемом одним экспертом (Алгоритм Саати);
2) Алгоритм основанный на попарном сравнении альтернатив, выполняемом группой экспертов.

Алгоритм Саати основан на сравнении альтернатив, выполняемом одним экспертом. Для каждой пары альтернатив эксперт указывает, в какой степени одна из них предпочтительнее другой.

Алгоритм основанный на попарном сравнении альтернатив заключается в том, что каждый из экспертов выполняет сравнение альтернатив независимо от других экспертов. Для каждой пары альтернатив эксперт указывает, в какой степени одна из них предпочтительнее другой.

Используя метод парных сравнений для оценки физического состояния человека необходимо смоделировать определенный набор состояний клиента *Ui* по набору показателей $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 \ldots u_n)$ и попарно сравнить их между собой по двум планам сравнения (план А и план В):

План А	Результат	План В	Результат
$U_1 – U_2$	U_{1A}	$U_1 – U_2$	U_{1B}
$U_1 – U_3$	U_{2A}	$U_2 – U_3$	U_{2B}
…	...	…	...
$U_1 – U_N$	U_{NA}	$U_{N-1} – U_N$	U_{NB}

Далее необходимо определить значения функции предпочтения в отдельных точках:

$$U_1 – ср.знач.(U_{1A}, U_{1B})$$
$$U_2 – ср.знач.(U_{2A}, U_{2B})$$
$$\ldots$$
$$U_N – ср.знач.(U_{1N}, U_{1N})$$

После определения значения функции предпочтения в отдельных точках по результатам косвенных измерений, необходимо решить задачу аппроксимации функции. Необходимо подчеркнуть, что все результаты измерений функции связи, независимо от способа измерений, будут получены в интервальной шкале.

Аппроксимация функции может быть выполнена разными способами. Часто используется параметрический подход, заключающийся в предположении, что функция связи имеет некоторый вид.

Достоинство метода парных сравнений заключается в возможности графического представления иерархии целей (критериев) и в использовании математических и логических заключений с интегрированной проверкой одно-

родности получаемых результатов. Процесс оценки транспарентен, хорошо контролируем и компьютеризируем.

Недостатком этого метода является большее количество этапов, что требует больших затрат времени на обучение и проведение оценки.

1. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие/ А.И. Орлов.– Москва, 2002.– 31 с.
2. Храмов В.В. Теория и методика оздоровительной физической культуры: Х 89 Тексты лекций. – Гродно: ГрГУ, 2000. – 80 с.

УДК 681.7

МЕТОДИКА РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «КАМЕЯ»

Цикман И.М., Беляев Ю.В., Попков А.П.
Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

По разработанной методике проводится радиометрическая калибровка эталонных источников излучения специализированного метрологического комплекса «Камея» [1] в диапазоне 0,35-2,5 мкм.

Эталонные источники излучения комплекса – монохроматический и два диффузных излучателя ДИ-2 и ДИ-3 комплекса калибруются в единицах спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) с помощью рабочих эталонов, обеспечивающих прослеживаемость при передаче единицы СПЭЯ до Государственных эталонов Российской федерации.

Исходными (рабочими) эталонами комплекса являются ленточная лампа ТРУ1100-2350 и диффузный излучатель ДИ-1 в виде фотометрической сферы диаметром 150 мм с диаметром входного зрачка 50 мм, освещаемой двумя галогенными лампами.

С помощью ленточной лампы ранее калибровались как монохроматический, так и диффузные источники излучения комплекса. Необходимость иметь в качестве исходного эталона кроме ленточной лампы рабочий эталон в виде компактной переносной сферы определяется несколькими факторами. При калибровке широко аппертурных (240 мм) диффузных излучателей ДИ-2 и ДИ-3 методом компарирования с использованием ленточной лампы необходимо точное согласование узкого поля зрения лампы вследствие малого излучаемого участка ленты (размеры 0,6×0,8 мм). Уровень СПЭЯ излучения ленточной лампы превышает в несколько тысяч раз уровень СПЭЯ диффузных излучателей комплекса и уровень яркости излучения, регистрируемый средствами дистанционного зондирования от природных объектов. После создания в 2010 году Государственного первичного специального эталона СПЭЯ ГЭТ 179-2010 во ВНИИОФИ г. Москва появилась возможность калибровки с высокой точностью (~2,5÷3%) созданной переносной фотометрической сферы малого диаметра ДИ-1 (рабочего эталона комплекса).

Калибровка спектрометров и других средств измерений СПЭЯ с входным зрачком до 50 мм может осуществляться непосредственно по диффузному излучателю ДИ-1 (рис. 1). При этом сокращается до двух количество ступеней передачи единицы СПЭЯ от ГЭТ179-2010 и соответственно повышается точность передачи единиц СПЭЯ.

Рассматриваемый ранее [2] способ передачи единицы СПЭЯ от ГЭТ179-2010 с помощью переносного высокоточного спектрометра ПВС-02 также имеет две ступени, но отличается методом передачи единицы СПЭЯ. Спектрометр ПВС-02 в данном случае является компаратором, с помощью которого величина единицы передается от диффузного излучателя Государственного эталона ГЭТ 179-2010 к диффузному излучателю ДИ-2 (ДИ-3), разделенных территориально. В этом случае перемещению на значительные расстояния (перевозке) подвергается спектральный прибор ПВС-02, что влечет строгое соблюдения правил транспортировки оптических приборов. Транспортировка же сферы малого диаметра – диффузного излучателя ДИ-1 не имеет такой сложности и к тому же калибровка ее является более бюджетной.

По откалиброванным во ВНИИОФИ г. Москва рабочим эталонам (ТРУ1100, ДИ-1) производится калибровка источников излучения комплекса – рабочих эталонов СПЭЯ второго разряда. Калибровка (передача величины единицы СПЭЯ) производится методом компарирования по разработанной методике. Спектральный компаратор выполнен не основе монохроматора МДР-23 с двумя приемниками излучения. Один приемник – на видимую и ближнюю инфракрасную область спектра 0,35-1,0 мкм (ПВД), другой – на область 1,0-2,5 мкм (ПИК).

Оба приемника имеют термоэлектрическое охлаждение (на основе эффекта Пельтье). На многопиксельные (матричные и линейчатые) приемники проецируется монохроматором компаратора излучение от рабочих эталонов комплекса последовательно на различных длинах

волн. Статистическая обработка множества сигналов от пикселей приемников излучения позволяет производить обработку данных не только по многократным (несколько десятков) измерениям, но и по пространственному распределению сигналов пикселей поперек щели.

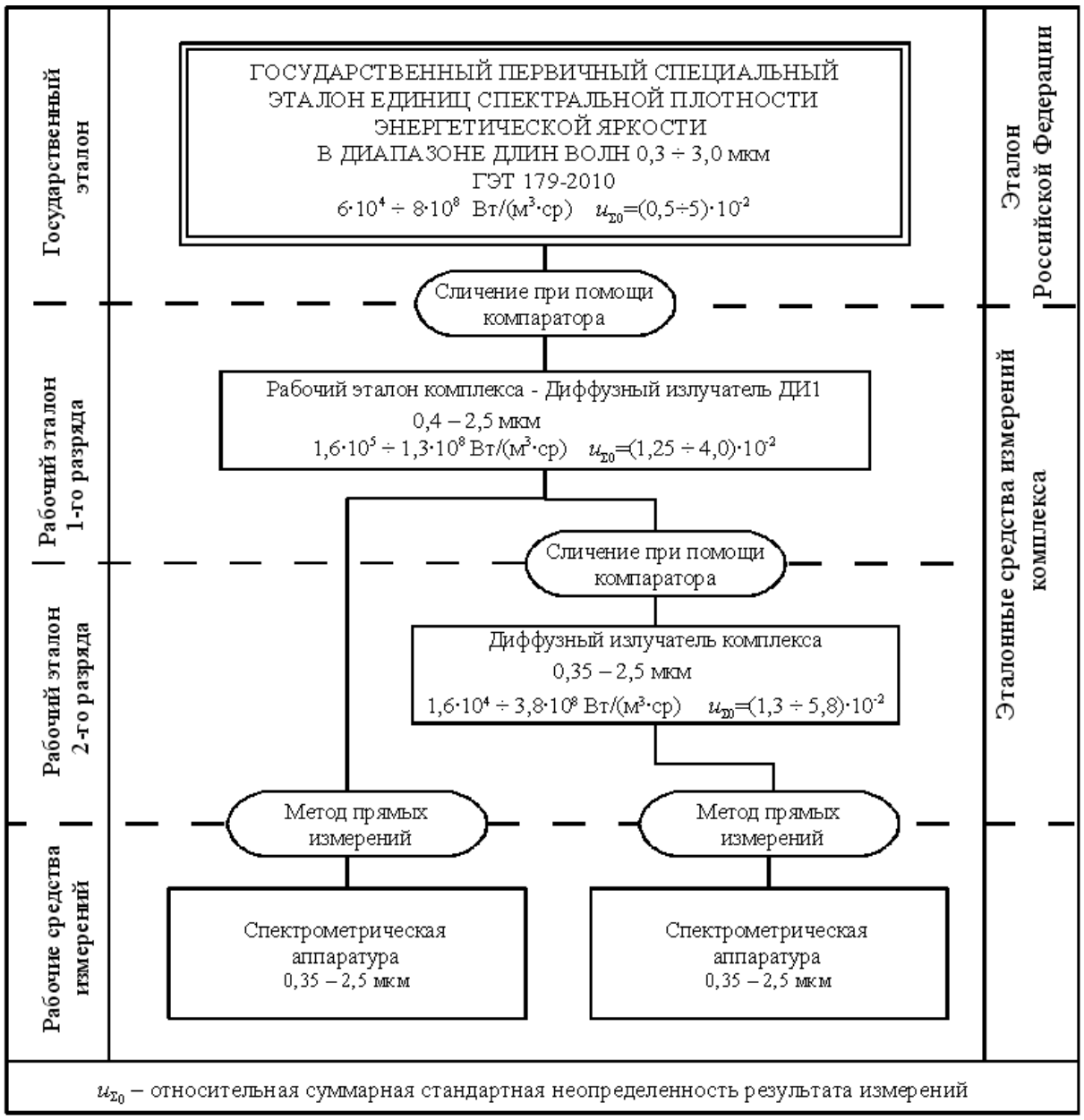


Рисунок 1 – Схема передачи единицы СПЭЯ посредством метрологического комплекса «Камея»

Составление по результатам калибровки бюджетов неопределенностей измеряемых величин СПЭЯ позволяет выявлять источники погрешностей измерений при передаче единицы СПЭЯ и определять оптимальный метод калибровки систем дистанционного зондирования в диапазоне 0,35-2,5 мкм.

1. Цикман, И.М. Специализированный метрологический комплекс спектрально-энергетических калибровок систем оптического дистанционного зондирования / И.М. Цикман, Ю.В. Беляев, А.П. Попков // Приборостроение-2012 г. / Белорус. нац. техн. ун-т, Белорус. гос. ин-т метрологии, Институт приклад. физики НАН Беларуси ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск : БНТУ, 2012г. – С. 234-236.
2. Энергетическая калибровка съемочной аппаратуры для дистанционного зондирования / И.М. Цикман и [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2012. – № 3(58). – С. 13-20.

УДК 378.147

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ОБРАБОТКИ НАРУЖНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Цитович Б.В.[1], Соколовский С.С.[2]

[1]Белорусский государственный институт повышения квалификации по стандартизации, метрологии и управлению качеством, Минск, Республика Беларусь

[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Любой технологический процесс проектируется для выпуска годных объектов производства. При выборе технологического оборудования часто руководствуются правилом «шести сигм»:

$$T \geq 6\sigma,$$

где T – допуск получаемого параметра,

σ – среднее квадратическое отклонение, характеризующее точность технологического процесса.

Это правило основано на допущениях о нормальном распределении получаемых параметров в партии обрабатываемых объектов и о расположении центра группирования этого распределения в середине поля допуска.

Реальная картина существенно сложнее. Прежде всего, при формообразовании поверхностей, любая из них имеет бесконечное множество номинально одинаковых параметров, которые можно описать с использованием детерминированных и стохастических аналитических моделей. Например, при токарной обработке консольно закреплённой в патроне заготовки может проявляться конусообразность номинально цилиндрической поверхности. Для длинной заготовки, закреплённой в центрах, характерна бочкообразность. Такие закономерности можно описать уравнениями аналитической геометрии. Однако на эти закономерности накладываются стохастические воздействия, связанные с колебанием физико-механических свойств поверхности заготовки (твёрдость, структура и др.), колебанием сил резания и др. Для описания результатов рассеяния, вызванных такими причинами, можно использовать аппарат теории вероятностей и математической статистики. Однако для корректного применения математической статистики необходимо устранить из рассмотрения систематические изменения, поскольку в противном случае картина будет искажённой в качественном и количественном отношении.

Для обеспечения выпуска годных деталей технология формообразования должна обеспечить точность получаемых размеров, формы и расположения поверхностей. И если форму или расположение поверхностей можно оценивать, опираясь на «идеальную модель» (геометрически правильную), то с размером поверхности ситуация несколько сложнее.

Однозначно определить, что характеризует точность размеров при обработке деталей затруднительно, поскольку понятие «идеальный размер поверхности» отсутствует. Любая реальная поверхность одной детали имеет бесконечное множество номинально одинаковых размеров, которые несколько отличаются друг от друга. Годными и взаимозаменяемыми являются все детали, размеры которых укладываются между наименьшим и наибольшим предельными размерами (включая граничные значения) в соответствии с трактовкой предельных контуров детали по ГОСТ 25346-89.

Технологический процесс характеризуется стабильностью (постоянством расположения центра группирования параметров) и рассеянием значений параметров. При этом следует различать параметры, реализуемые на объекте однократно (масса, объём) и параметры, которые реализуются на объекте бесконечное число раз (размеры поверхностей, площади сечений). Для последних параметров имеет смысл говорить о расположения центра группирования параметров в партии и рассеянии их значений только в том случае, если можно определить характерное значение параметра, например, наименьший или наибольший размер конусообразной или бочкообразной поверхности детали.

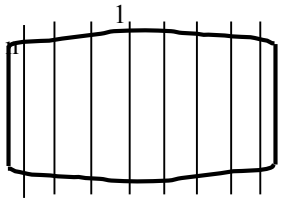
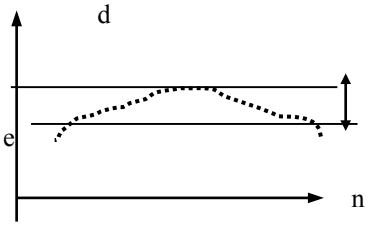
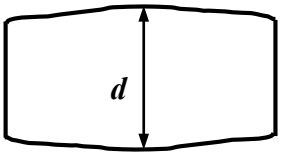
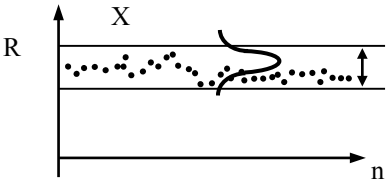
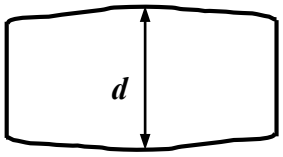
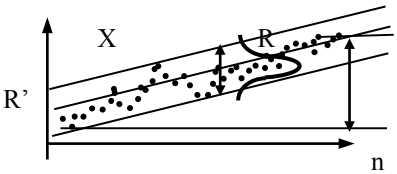
Одной из проблем исследования точности технологического процесса является определение характерного значения выбранного параметра, если оно имеет место. В случае отсутствия характерного значения параметра для оценки поверхности можно использовать значение параметра в произвольном контрольном сечении. Для исследования точности технологического процесса формообразования необходимо адекватно ответить на вопрос о наличии либо отсутствии характерного значения параметра поверхности. В первом случае каждая из обрабатываемых поверхностей может быть представлена одним (характерным) значением параметра. Во втором случае любая обработанная поверхность может быть представлена одним значением параметра, измеренным в произвольном контрольном сечении.

Определённую пользу может принести анализ технологического процесса. Например, как отмечалось выше, при круглом наружном шлифова-

нии консольно закреплённой в патроне заготовки может проявляться конусообразность номинально цилиндрической поверхности. Однако если такую технологию реализовать с использованием множества проходов, что позволяет уменьшить подачу, значит и радиальную силу, а затем применить выхаживание, конусообразность обработанной поверхности можно свести к пренебрежимо малым значениям, при этом различия размеров в сечениях будут находиться в пределах случайных колебаний. Из сказанного вытекает, что аналитический подход при исследовании точности технологического процесса обязательно следует проверять экспериментами, которые могут подтвердить или опровергнуть первоначальную гипотезу.

В таблице 1 представлены примеры возможных результатов исследований технологического процесса обработки номинально цилиндрической поверхности объектов (валов) с характерными значениями параметров.

Таблица 1 – Объекты исследований с характерными значениями параметров поверхности и результаты исследований точности техпроцесса

Модель объекта измерений	Графическое представление результатов измерений	Характеристики точности технологического процесса
 n ФВ одного объекта		оценивание множества значений параметров на объекте (выборке объектов), выявлено наличие характерных значений параметров объектов
 одна ФВ одного объекта		оценивание характерных значений параметров выборки из партии деталей (смещение центра группирования практически отсутствует)
 одна ФВ одного объекта		оценивание характерных значений параметров партии деталей (наблюдается монотонное смещение центров группирования выборок)

Для реализации исследований, результаты которых представлены в последнем столбце таблицы 1, должен быть соблюдён ряд условий. В частности, погрешности измерений должны быть существенно меньше выявляемой погрешности формы профиля поверхности ***e*** (первая строка таблицы). Для получения достоверной информации, представленной в третьей строке таблицы погрешности измерений должны быть существенно меньше выявленного смещения центров группирования выборок ***R'***. Более того, для построения гистограмм и полигонов распределения параметров выборки (вторая и третья строки таблицы) погрешности измерений должны быть существенно меньше размахов ***R*** размеров в соответствующей выборке. Поскольку значения ***e, R'*** и ***R*** до начала исследований неизвестны, их определяют в ходе самих исследований методом проб и ошибок. В итоге методика исследований может корректироваться в ходе их проведения, а применяемые методики выполнения измерений (МВИ) заменяться более точными вплоть до достижения удовлетворительных результатов.

Секция 3. ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

UDC 535.327

CW Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ MICROCHIP LASER

Loiko P.A.[1], Serres J.M.[2], Mateos X.[2], Yumashev K.V.[1], Kuleshov N.V.[1], Petrov V.[3], Griebner U.[3], Aguilo M.[2], Diaz F.[2]
[1] *Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*
[2] *Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain*
[3] *Max-Born-Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy, Berlin, Germany*

Thulium lasers attract interest as they operate around ~2 μm ($^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ transition) and this wavelength is desirable in medicine (due to the strong absorption of water) and remote sensing of CO_2 and water in the atmosphere. In addition, Tm^{3+} ions offer reduction of non-ratiative path due to efficient cross-relaxation processes resulting in luminescence quantum yield approaching 2. Among the Tm-doped gain materials, monoclinic potassium lutetium double tungstate Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ combines good spectroscopic and thermal properties, as well as high available doping levels of Tm, that leads to realization of high-efficient continuous-wave, CW, and pulsed "bulk" lasers [1]. Power scaling has also been attempted in thin-disk and mini-slab geometries showing a great potential of this laser material using powerful diodes as a pump source. In the present paper, we report on CW microchip Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ laser.

Monolithic microchip lasers consist of a laser crystal with two flat mirrors attached or directly deposited on the crystal surfaces. Such a device is attractive due to its compact and robust design that is insensitive to misalignment, as well as high efficiency due to absence of losses at the air/crystal interfaces. Sometimes, the microchip laser concept is extended to quasi-monolithic design with at least one plane mirror being in direct contact with the crystal. This option enables for insertion of some additional elements in the cavity, a saturable absorber for Q-switching or a Fabry-Perot etalon for single- frequency operation.

The mode stabilization in such a plano-plano laser cavity is provided by focusing thermal lens and the gain stabilization mechanism is also known. Thus, materials with negative dn/dT coefficients like Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ are not suitable for microchip operation. Indeed, plano-plano cavity with internal negative lens is unstable. The peculiarity of Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ is strong anisotropy of thermal and thermo-optic properties [2]. This in principle offers the possibility to observe purely positive lens for material with purely negative dn/dT values.

This conclusion is clear from figure 1, where we present measured values of optical power of the thermal lens D (inverse of the focal length, $D = 1/f$) in N_g-cut Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ crystal vs. absorbed pump power P_{abs}. Here lines are linear fits of experimental points in order to determine sensitivity factors $M = \mathrm{d}D/\mathrm{d}P_{abs}$ showing the change of refractive power due to 1 W variation of the pump level. Their values for both *pg* and *mg* principal meridional planes are relatively large and positive, +12.9 and +8.1 m^{-1}/W. The difference of M-factors for these planes is usually denoted as astigmatism degree S. Beam propagation along N_g axis possesses relatively low astigmatism of the thermal lens, S = 4.8 m^{-1}/W or S/M = 37% (so it is close to spherical).

Thus, beam propagation along N_g axis only partially satisfies the conditions of athermal compensation of the thermally-induced optical path difference in solid-state lasers, namely weak positive spherical thermal lens. However, this crystal cut is in principle suitable for microchip operation.

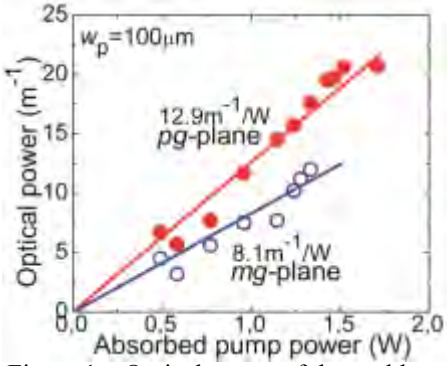


Figure 1 – Optical power of thermal lens for N_g-cut Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ crystal

A plano-plano laser cavity was used for the microchip experiment. Pump mirror was antireflection-coated for ~805 nm (pump wavelength), providing also high reflection, R > 99.9%, at ~1950 nm (laser wavelength). Output coupler had a transmission T_{OC} = 3% at ~1950 nm. A fiber coupled AlGaAs diode was used as a pump source [200 μm core diameter, numerical aperture, N.A.=0.22] operating at 805 nm. We used lens assembly (1:1 imaging ratio) that enabled collimation and focusing of the pump beam into the crystal. The pump spot size in the crystal was w_p = 100 μm. The active medium was uncoated 3at. % Tm:KLu(WO$_4$)$_2$ crystal with dimensions ~2.5×3 ×3 mm^3 along the optical indicatrix axes, N_g, N_p and N_m, respectively. The crystal was mounted in a water-cooled Cu-holder set at 16ºC. The crystal was

oriented for light propagation along the N_g axis. Indium foil was used to improve the thermal contact between the crystal and holder. The air gaps between the crystal and mirrors were < 1 mm, they did not affect the mode stabilization principle in the plano-plano cavity. The overall cavity length was ~4 mm. The scheme of microchip laser setup is depicted in figure 2.

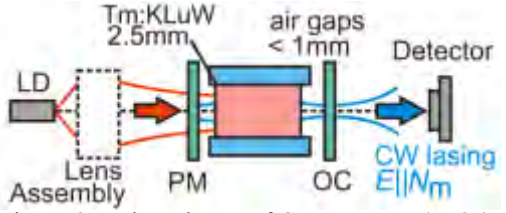


Figure 2 – The scheme of CW Tm:KLu$(WO_4)_2$ microchip laser: LD is laser diode, PM and OC are pump mirror and output coupler

Input-output dependence for Tm:KLu$(WO_4)_2$ quasi-monolithic microchip laser is presented in figure 3. Maximum output power achieved was 880 mW at an absorbed power of 3 W, laser threshold was 590 mW, and the slope efficiency with respect to absorbed power reached 45%. The optical-to-optical efficiency was 29%. We observed that above 2.5 W of absorbed power a kind of saturation of the output power appeared probably due to thermal loading in the crystal. The output beam was polarized parallel to N_m-axis that corresponds to highest gain in the Tm:KLu$(WO_4)_2$ crystal; it was spectrally centered at 1949 nm.

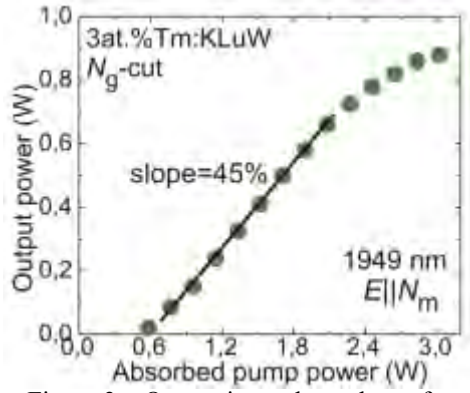


Figure 3 – Output-input dependence for Tm:KLu$(WO_4)_2$ microchip laser

The output beam profile was measured with a thermal imaging camera. Figure 4 shows the far-field intensity of the microchip laser indicating a TEM_{00} mode characterized by a Gaussian distribution as well as the fits for the horizontal (|| N_m) and vertical (|| N_p) directions. In addition, 2D and 3D plots are presented. The measurement was carried out for the maximum available absorbed pump power (~3 W). The M^2 factor was measured to be M^2_x, M^2_y < 1.05. Good quality of the output laser beam (i.e., its circular shape and low ellipticity, as well as Gaussian profile and extremely low M^2 factor) are directly related to the low astigmatism of the thermal lens for N_g-cut Tm:KLu$(WO_4)_2$ crystal.

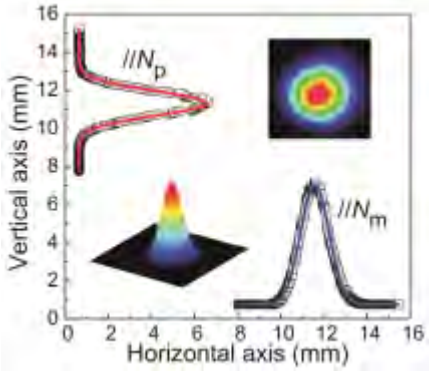


Figure 4 – Analysis of the laser mode quality for Tm:KLu$(WO_4)_2$ microchip laser

Previously, quasi- microchip lasing was realized with antireflection-coated 5at.%Tm:KY$(WO_4)_2$ crystal cut along the N_g-axis and T_{OC} = 3% [3]. CW output power of 650 mW was obtained with slope efficiency of 44%. Thus, the present paper demonstrates improvement of this result (in addition, the lasing was obtained for crystal without antireflection coating). Our conclusion about potential of N_g-cut double tungstates for microchip lasing is supported by recent results for 10at.% Yb:KY$(WO_4)_2$ and 7at. % Nd:KGd$(WO_4)_2$ crystals "sandwiched" into synthetic diamond with almost 1 W CW output [4].

In conclusion, the microchip concept was applied to Tm:KLu$(WO_4)_2$ laser crystal to demonstrate TEM_{00}-mode laser operation with maximum output power approaching 1 W at 1949 nm and demonstrate a slope efficiency as high as 45%. The key role of thermally-induced effects for the mode stabilization in the plano-plano cavity is explained. Further improvement will focus on perfect mode-matching between the pump and laser modes to increase the efficiency and output power of this laser as well as on optimization of the doping level and thickness of the active medium.

1. Growth and properties of KLu$(WO_4)_2$, and novel ytterbium and thulium lasers based on this monoclinic crystalline host / V. Petrov [et.al.] // Laser & Photon Rev. – 2007. – Vol.1. – P. 179–212.
2. Thermooptic coefficients of monoclinic KLu$(WO_4)_2$ / S.Vatnik [et.al.] // Appl. Phys. B. – 2009. – Vol. 95. – P. 653–656.
3. Thermal lensing and microchip laser performance of N_g-cut Tm^{3+}:KY$(WO_4)_2$ crystal / M.S. Gaponenko [et.al.] // Appl. Phys. B. – 2012. – Vol. 108. – P. 603–607.
4. The prospects for Yb- and Nd-doped tungstate microchip lasers / V.G. Savitski [et.al.] // CLEO Europe-EQEC, Munich, May, 12-16, 2013. – P. CA-10.5.

УДК 621.373.826

МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАХ РТУТИ

Ануфрик С.С., Володенков А.П., Зноско К.Ф.
Гродненский государственный университет
Гродно, Республика Беларусь

Для получения некогерентного излучения широко используются газоразрядные источники на основе паров ртути. Для оптимизации работы таких источников в последнее время все чаще используются компьютеры. Основной задачей данного исследования была разработка методики компьютерного моделирования источников излучения на основе паров ртути.

Следует учитывать, что основной вклад в излучение плазмы в смесях инертных газов (Ar, He) с парами Hg дает резонансное излучение с длинами волн 184,95 нм (6^1P_1) и 253,65 нм (6^3P_1) [1]. При этом инертный газ учитывается в основном как буферный газ, который существенно влияет на ФРРЭ электронов. При этом доля энергии, идущая на возбуждение этих уровней, составляет ~70% от энергии, которая вкладывается в разряд [1]. Интенсивность свечения люминофора прямо пропорциональна интенсивности излучения ртути, поэтому в первом приближении для изучения свойств люминесцентных источников на парах ртути необходимо изучить эмиссионные свойства, указанных выше двух линий ртути.

На рис.1 представлена упрощенная диаграмма уровней энергии атома ртути.

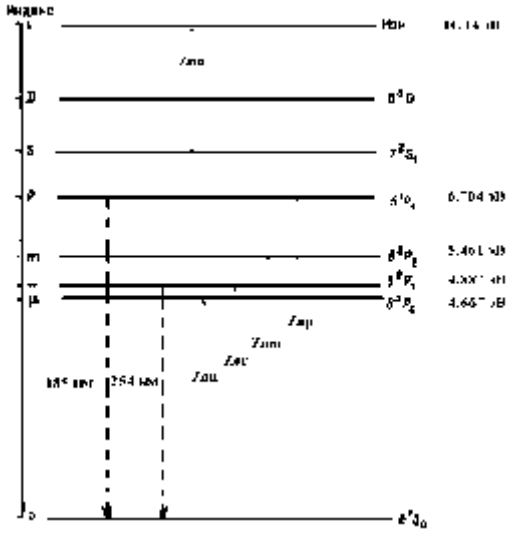


Рисунок 1 – Упрощенная диаграмма уровней энергии ртути

На рис.1 использованы следующие обозначения: Zou –скорость возбуждения уровня 6 $^3P_0$ при столкновении с электронами; Zor – скорость возбуждения уровня 6^3P_1 при столкновении с электронами; Zom – скорость возбуждения уровня 6^3P_2 при столкновении с электронами; Zop –скорость возбуждения уровня 6^1P_1 при столкновении с электронами; Zmi – скорость ионизации уровня 6^3P_2 при столкновении с электронами. Следует учитывать, что уровни 6^3P_0 и 6^3P_2 являются метастабильными и их время жизни соответственно 1,45 с и 6,5 с [2].

При написании упрощенной системы уравнений для определения характеристик плазмы на основе смеси паров ртути с инертными газами делаются следующие допущения [1].

1. Происходит ионизация и возбуждение только атомов ртути, а инертный газ играет роль буфера.

2. Заряженные частицы образуются главным образом за счет ступенчатой ионизации метастабильного уровня 6^3P_2, причем реакция имеет скоростной коэффициент Zmi.

3. Электроны приобретают энергию от поля и теряют ее при неупругих столкновениях с атомами ртути и на стенках излучателя.

4. Учитываются только следующие 4 возбужденные уровни: 6^3P_0, 6^3P_1, 6^3P_2, 6^1P_1.

4. Происходит прямое возбуждение этих 4 уровней (рис.1).

5. Происходят переходы между Р уровнями при столкновении с электронами (эти переходы не показаны на рис.1).

6. Излучатель имеет цилиндрическую симметрию.

7. Гибель заряженных частиц происходит вследствие амбиполярной диффузии к стенкам сосуда.

На основании этих допущений уравнение для концентрации электронов имеет следующий вид

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = D_{амб}\Delta n_e + Z_{mi}\cdot N_m \cdot n_e \ . \qquad (1)$$

Радиальное распределение концентрации электронов в разряде постоянного тока $n_e(r)$ в случае диффузной гибели заряженных частиц на стенках излучателя и постоянной по объему частоте ионизации описывается функцией Бесселя нулевого порядка [1].

$$n_e(r,t) = n_e(0,t)\cdot J_0\left(\beta\cdot\frac{r}{R}\right), \qquad (2)$$

где $n_e(0, t)$ – концентрация электронов на оси разряда, R – внутренний радиус излучателя,

$J_0\left(\beta\cdot\frac{r}{R}\right)$-функция Бесселя нулевого порядка, β=2,405–величина первого корня функции Бесселя нулевого порядка. Средняя по сечению разряда плотность электронов в этом случае равна 0,43 $n_e(0,t)$.

С учетом (2) можно записать следующие выражения.

$$D_{амб}\cdot\Delta n_e = -\frac{n_e(0,t)}{\tau_{амб}}\cdot J_0\left(\beta\cdot\frac{r}{R}\right), \quad (3)$$

$$\tau_{амб} = \frac{R^2}{D_{амб}\cdot\beta^2}. \quad (4)$$

Коэффициент амбиполярной диффузии в условиях квазинейтральности неравновесной плазмы равен [3].

$$D_{амб} = \mu_+\cdot\frac{kT_e}{e}, \quad (5)$$

где μ_+ - подвижность положительных ионов ртути, T_e – электронная температура. Тогда уравнение (1) для $n_e(0,t)$ будет иметь следующий вид.

$$\frac{\partial n_e(0,t)}{\partial t} = -\frac{n_e(0,t)}{\tau_{амб}} + Z_{mi}\cdot N_m(0,t)\cdot n_e(0,t) \quad (6)$$

Далее везде используется концентрации на оси разряда. Зависимость всех концентраций от радиуса определяется выражениями типа (2). Уравнение для метастабильного уровня 6^3P_2 можно записать в следующем виде.

$$\frac{\partial N_m}{\partial t} = Z_{0m}\cdot N_0\cdot n_e + Z_{um}\cdot N_u\cdot n_e + Z_{rm}\cdot N_r\cdot n_e - Z_{m0}\cdot N_m\cdot n_e - Z_{mu}\cdot N_m\cdot n_e - Z_{mr}\cdot N_m\cdot n_e \quad (7)$$

На практике переходами на уровень 6^3P_2 с других Р уровней можно пренебречь, так как на уровень 6^3P_2 метастабильный. Уравнение для N_u идентично уравнению для N_m. Выражение для резонансного излучения с уровня 6^3P_1 (254 нм) можно записать в следующем виде (рис.1).

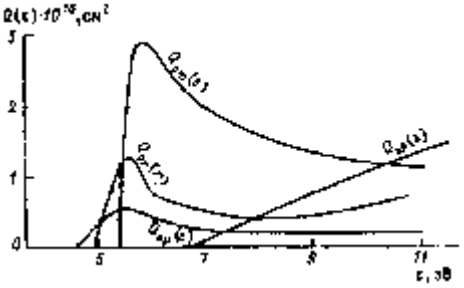
$$I_{r0} = \chi_{r0}\cdot h\cdot\nu_{r0}\cdot N_r, \quad (8)$$

где I_{r0} –мощность излучения с единицы объема, $h\nu_{r0}$ - энергия кванта, N_r – концентрация атомов в 6^3P_1 состоянии, χ_{r0} – вероятность вылета фотона из плазмы в единицу времени. Пи отсутствии пленения излучения величина χ_{r0} совпадает с вероятностью спонтанного излучения изолированного атома A_{r0}. При давлении паров ртути ~ 10^{-3} Торр необходимо учитывать пленение излучения. Радиальное распределение излучающих атомов в этом случае будет зависеть не только от радиального распределения источников возбуждения, но и от процессов многократного поглощения и переизлучения фотонов. При малом тушении состояния 6^3P_1 электронами пленение излучения не приводит к изменению мощности излучения.

Но при увеличении давления паров ртути и увеличению плотности тока тушением состояния 6^3P_1 электронами уже пренебрегать нельзя. Такой случай подробно разобран в работе [1]. Для упрощения вида уравнения для заселенности уровня 6^3P_1 приведем это уравнение в случае отсутствия пленения излучения.

$$\frac{\partial N_r}{\partial t} = Z_{0r}\cdot N_0\cdot n_e - Z_{r0}\cdot N_r\cdot n_e - Z_{ru}\cdot N_r\cdot n_e + Z_{mr}\cdot N_m\cdot n_e - N_r\cdot A_{r0} \quad (9)$$

Уравнение для N_p идентично уравнению для N_r. Для нахождения скоростных коэффициентов была использована программа Bolsig+ [4]. База по сечениям возбуждения атома ртути содержит только данные по возбуждению первых трех Р уровней и по сечению ионизации из основного состояния. Поэтому для пополнения базы данных был сделан литературный обзор по сечениям возбуждения и ионизации атома ртути в различных состояниях. На рис.2 представлена зависимость сечения возбуждения первых четырех Р уровней, которые используются в нашей модели, от величины энергии электрона [1].



Q0u – сечение возбуждения уровня 6 $^3P_0$
Q0r - сечение возбуждения уровня 6 $^3P_1$
Q0m - сечение возбуждения уровня 6 $^3P_2$
Q0p - сечение возбуждения уровня 6 $^1P_1$

Рисунок 2 – Зависимость сечения возбуждения первых Р уровней ртути

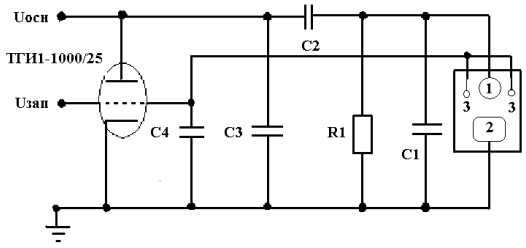
1. Миленин В.М., Тимофеев Н.А. Плазма газоразрядных источников света низкого давления.- Ленинград.- Издательство ЛГУ, 1991.-240 с.
2. Радциг А.А, Смирнов Б.М. Параметры атомов и ионов. Справочник. Москва.- Энергоатомиздат, 1986, 344 с.
3. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - Москва: Наука, 1987.-686 с.
4. http://www.codiciel.fr/plateforme/plasma/bolsig/bolsig.php.

УДК 535.8

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ XECL ЛАЗЕР С НЕУСТОЙЧИВЫМ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Ануфрик С.С., Володенков А.П., Зноско К.Ф.
Гродненский государственный университет
Гродно, Республика Беларусь

Для воздействия на биологические объекты был использован XeCl лазер с системой возбуждения, построенной по схеме LC инвертора, которая представлена на рис.1.

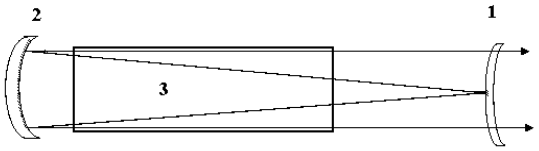


LC инвертор. 1, 2 – основные электроды, 3 – электроды предыонизации; Накопительные емкости С2 = 30 нФ, С3 = 12,5 нФ,;Обострительная емкость С1 = 20 нФ.
Рисунок 1 – Система возбуждения XeCl-лазера.

Система возбуждения функционирует следующим образом: высоковольтный импульс $U_{осн.}$ заряжает накопительные емкости С2 и С3 до напряжения $U_{осн}$. После включения тиратрона ТГИ1-1000/25 происходит процесс перезарядки емкостей и на емкостях С2 и С3, включенных в этом случае последовательно, образуется близкое к $2U_{осн}$ напряжение, которое прикладывается к обострительной емкости С1. Одновременно осуществляется предыонизация активной среды емкостным разрядом между основным электродом 2 и вспомогательными электродами 3, которые представляют собой цилиндрические проводники, находящиеся в кварцевых трубках. При этом получается мощное УФ излучение, которое осуществляет однородную предыонизацию активной среды. Когда напряжение между основными электродами (1, 2) достигает пробойной величины, происходит разряд и возбуждается активная среда.

Максимальная величина энергии генерации XeCl-лазера 30 мДж была получена для следующих значений емкостей: С2 = 30 нФ, С3 = 12,5 нФ, С1 = 20 нФ на смеси HCl:Xe:He=0,12:1:98,8 при общем давлении 1,6 атм и зарядном напряжении 25 кВ. При этом длительность импульса генерации по полувысоте составила 10 нс.

Для управления расходимостью выходящего потока в данной конструкции лазера использовался телескопический резонатор (рисунок 2), образованный вогнутым зеркалом (2) с радиусом кривизны R2=2270 мм и выпуклым зеркалом (1) малого размера (диаметр 2 мм) с радиусом кривизны R1=330 мм и с коэффициентами отражения диэлектрического покрытия 0,99. Зеркала устанавливались покрытием внутрь камеры.



1, 2 –зеркала резонатора, 3 –активная среда.
Рисунок 2 – Оптическая схемы XeC1- лазера с телескопическим неустойчивым резонаторам и с дифракционным выводом излучения.

Было выполнено измерение расходимости лазерного излучения. Вследствие отсутствия аксиальной симметрии активной среды расходимость генерируемого потока была различной по двум взаимно ортогональным направлениям. Так при энергии лазерного излучения 30 мДж и использовании фокусирующей линзы с фокусным расстоянием F=235 мм было получено пятно размером 0,25х0,15 мм^2. Это соответствует расходимости в двух взамно перпендикулярных направлениях соответственно 1,06 10^{-3} и 0,6 10^{-3}.

Оптическая схема для воздействия на биологические объекты представлена на рис.3.

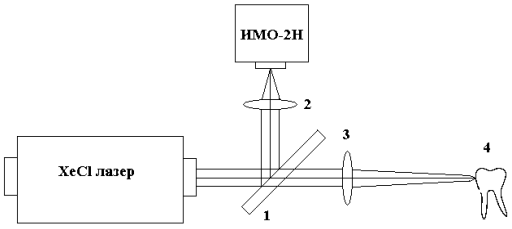


Рисунок 3 – Оптическая схема для воздействия на поверхность зубной эмали

Излучение XeCl лазера направлялось на кварцевую подложку 1. Излучение, отраженное от кварцевой подложки (1), направлялось на фокусирующую линзу (2) и попадало на измеритель энергии ИМО-2Н, который использовался для контроля энергии излучения. Прошедшее через кварцевую подложку (1) излучение направлялось на фокусирующую линзу (3) и далее на облучаемый объект (4). Линзы (2, 3) имели просветляющее покрытие для длины волны 308 нм. Выполнена калибровка

ИМО-2Н, которая по показаниям этого прибора, позволяет определять энергию, падающую на облучаемый объект 4. Для этого на место облучаемого объекта ставился второй прибор ИМО-2Н.

Схема, которая представлена на рис.3, была использована для облучения поверхности зубной эмали, которая была покрыта зубным камнем, причем была использована кварцевая линза с фокусным расстоянием 200 мм. При облучении была использована различная величина плотности энергии, что достигалось использованием фильтров и различной степенью фокусировки.

а – 11,5 мДж; б – 9 мДж

Рисунок 4 – Фотография поверхности зубной эмали

На всех фотографиях, представлены результаты воздействия 1000 облучающих импульсов.

На рис.4а представлена фотография кратера, который получен при энергии 11,5 мДж. Размеры кратера составляют 0,4х0,15 мм^2. При этом поверхность зубной эмали находилась на расстоянии 198 мм от линзы.

На рис.4б представлена фотография кратера, который получен при энергии 9 мДж. Размеры кратера составляют 0,9х0,3 мм^2. При этом поверхность зубной эмали находилась на расстоянии 185 мм от линзы.

На рис.5 представлена фотография кратера на поверхности зубной эмали, которая были получена при помощи цифрового фотоаппарата, при этом наблюдался очень слабый плазменный факел.

Рисунок 5 – Фотография поверхности зубной эмали

Фотография кратера была получена при энергии 14 мДж. При этом поверхность зубной эмали находилась на расстоянии 180 мм от линзы. Размеры кратера составляют примерно 2х1 мм^2. Поверхность кратера имеет неоднородную структуру, что связано с тем, что величина плотности мощности излучения находилась в области порога абляции.

Некоторые участки поверхности имеют белый блестящий вид. Эти участки соответствует зубной поверхности, с которой произошло удаление зубного камня.

В результате исследования установлено, что при использовании XeCl лазеров с длительностью импульса 10 нс порог абляции эмали зуба составляет ~ 0,4 Дж/см^2 и обнаружено, что при плотности энергии большей 0,2 Дж/см^2 происходит эффективное удаление зубного камня, но при этом не наступает абляция эмали зуба. Поэтому излучение XeCl лазера может быть использовано для удаления зубного камня с поверхности зубов без повреждения эмали.

УДК 629.7.01

ЭТАПЫ ИТЕРАТИВНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 3D-ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Арипова О.В., Степанов Ж.Р.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В настоящее время традиционные подходы в области решения задач оптимизации проектирования и конструирования элементов летательных аппаратов не способны полностью отследить быстроменяющуюся действительность в области информационных технологий. Выход из создавшегося положения видится в несколько иной расстановке акцентов, позволяющие с минимальными затратами осуществлять доступ к требуемой информационной среде, самостоятельно адаптироваться к действительности, определяемой появлением новых инструментальных средств.

Одним из способов решения подобных задач может быть разработка и применение информационных систем, которые представляют собой объединение в единое целое программных, технических и организационных средств [1] для оптимизации деятельности инженера-конструктора.

Одной из основных областей применения таких технологий является непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделий. CALS-технологии(Continuous Acquisition and Lifecycle Support) – это современный подход к проектированию и производству высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, заключающийся в использовании компьютерной техники и современного программного обеспечения на всех стадиях проектирования и конструирования изделия [2].

Построение и моделирование жизненного цикла предполагает различные варианты принципов работы над проектом [3]:

1. Жизненный цикл «Водопад» – последовательная (линейная) реализация фаз проекта результаты предыдущих фаз связаны с началом последующих.
2. Жизненный цикл «Итерация» – параллельное выполнение фаз проекта с непрерывным анализом полученных результатов и корректировкой предыдущих этапов работы.
3. Жизненный цикл «Спираль» – спиральное развитие фаз проекта с созданием на каждом витке спирали очередной версии продукта с уточнением требований проекта, определением его качества и планированием работы следующего витка.
4. Жизненный цикл «Инкремент» – разбиение фаз проекта большого объёма на последовательность более малых составляющих частей проекта.

Рассмотрим более детально процесс итеративной разработки, состоящий из серии повторяющихся итераций (их число зависит от конкретного проекта), каждая из которых фактически является полноценным мини-проектом с фазами определения требований, анализа и т.д. В результате очередной итерации продукт приобретает новую функциональность или улучшения в существующей функциональности. Полный набор требований, зафиксированный границами проекта, оказывается реализованным после завершения финальной итерации. Проект при этом подходе в каждой фазе развития проходит повторяющийся цикл: планирование – реализация – проверка – оценка (*plan-do-check-act cycle*).

Основываясь на специфике проекта и требованиях заказчика, разработчики могут выбирать, что они хотят получить в результате очередной итерации: полноценную систему с ограниченной функциональностью, готовую для промышленной эксплуатации, или функциональные и архитектурные прототипы, непригодные для промышленной эксплуатации, но позволяющие оценить функциональный дизайн, производительность и т.д.

Преимущества итеративного подхода:

1. снижение воздействия серьёзных рисков на ранних стадиях проекта, что ведет к минимизации затрат на их устранение;
2. организация эффективной обратной связи проектной команды с заказчиком и потребителем проекта;
3. акцент усилий на наиболее важные и критичные направления проекта;
4. непрерывное полное тестирование, оценивающее успешность всего проекта;
5. раннее обнаружение конфликтов между требованиями, моделями, методами и реализацией проекта;
6. равномерная и эффективная загрузка участников проектной команды;
7. реальная оценка текущего состояния проекта и подтверждение непосредственных заказчиков проекта в его успешном завершении.

Рассмотрим моделирование жизненного цикла «Итерация» в области решения задач оптимизации проектирования 3D-элементов летательных аппаратов (см. рис. 1).

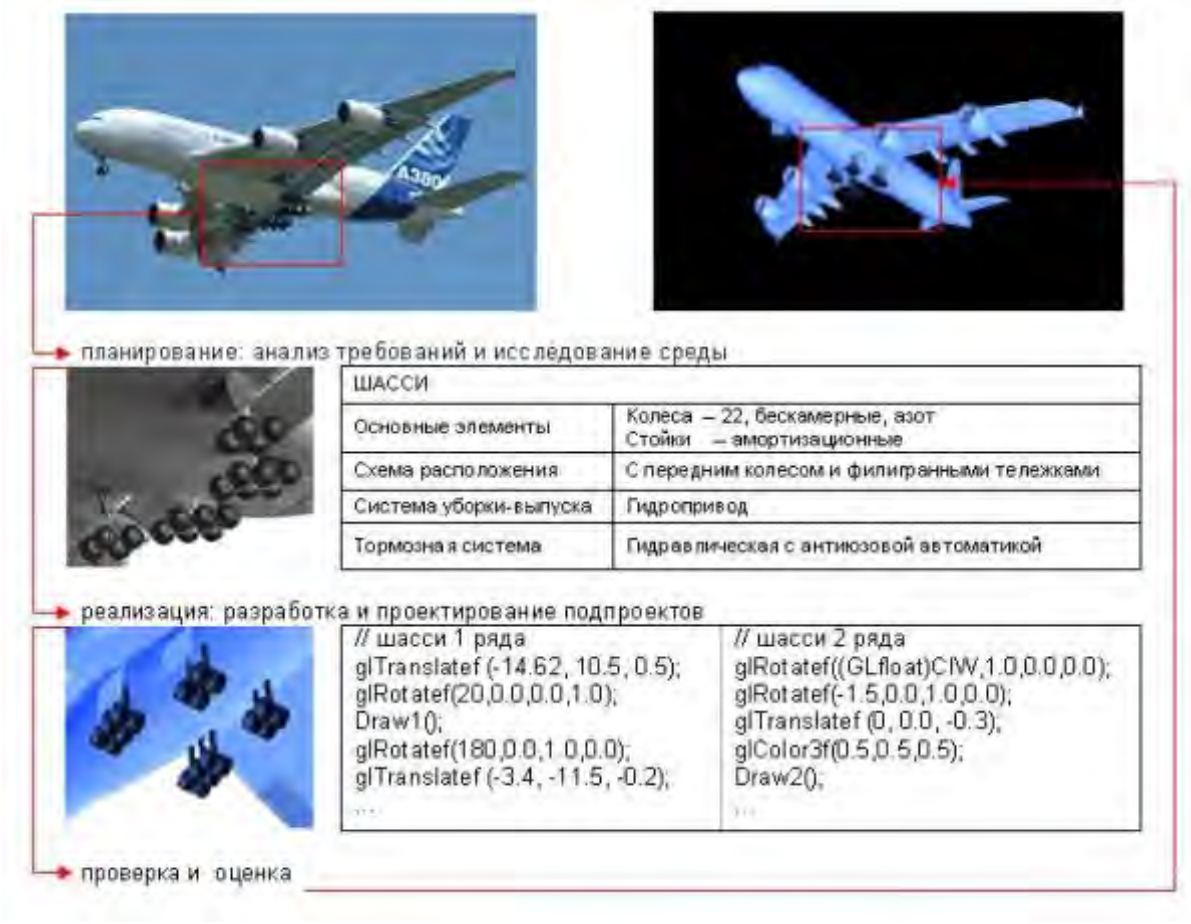


Рисунок 1 – Этапы жизненного цикла при проектировании 3D-элементов летательного аппарата

В качестве прототипа для разработки 3D-модели был выбран широкофюзеляжный двухпалубный четырехдвигательный реактивный пассажирский самолет Airbus A380-800, крупнейший серийный авиалайнер в мире [4]. Лайнер-гигант Airbus A380-800 производства европейского авиастроительного концерна EADS (Airbus S.A.S.) является крупнейшим пассажирским самолетом мира, как по размерам, так и по пассажировместимости.

Разработка 3D-модели элементов летательного аппарата проводилась в среде программирования Visual Studio 2008, библиотека OpenGL (Open Graphic Library) [5]. Проектирование компьютерной модели производилось с помощью ноутбука HP Pavilion Sleekbook 15-b055 sr.

1. Петров, В.Н. Информационные системы. – СПб.: Питер, 2002. – 688 с.: ил.
2. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
3. Рахимбердиев А. Современные процессы разработки программного обеспечения [Электронный ресурс] – http://rsdn.ru/article/Methodologies/SoftwareDevelopmentProcesses.xml – Дата обращения: 30 августа 2014 г. – Источник: RSDN Magazine # 4 – 2006.
4. Airbus A380 – пассажирский самолет. Фото, характеристики, отзывы [Электронный ресурс] – http://www.airlines-inform.ru/commercial-aircraft/Airbus-A380.html – Дата обращения: 30 августа 2014 г.
5. Арипова О.В., Степанов Ж.Р. 3D-моделирование летательного аппарата с помощью OpenGL. – «Экспертный союз», спецвыпуск № 1 июнь 2014 г., ежеквартальный информационно-аналитический журнал Санкт-петербургского регионального отделения Общероссийской общественной организации «Союз машиностроителей России». – СПб.: СПбГПУ, 2014. – С. 34.

УДК 681.7.015.2+535.317

СВЕТОСИЛЬНЫЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ-ПЛАНАНАСТИГМАТ

Артюхина Н.К.[1], Батуро И.Н.[1], Котов М.Н.[2]
[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2]*ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь*

Одно из направлений в вычислительной оптике – постоянный поиск новых схем с улучшенными характеристиками, что определено развитием новых технологий и исследований в оптической отрасли. Для решения широкого круга задач требуются зеркальные объективы, обладающие рядом преимуществ по сравнению с линзовыми.

Интересна идея построения конфигураций многозеркальных объективов с корректором полевых аберраций (ПК) в концепции двухступенчатой оптики (ДО) [1], которая дает много преимуществ: упрощает систему бленд; дает эффективную и удобную точку в схеме, куда можно помещать световые фильтры, фокальные корректоры, сканирующие элементы, поляризаторы, преобразователи изображения и т.д. Вынос ПК из двух последних зеркал за пределы базовой системы дает возможность увеличивать их диаметры и увеличить поле зрения. Конфигурация базовой системы может иметь промежуточное изображение или быть афокальной.

В данной работе рассматривается новое схемное решение зеркального светосильного объектива с увеличенным полем зрения [2]. Система состоит из четырех зеркал, два из которых могут быть изготовлены в виде монолита – линзовидной детали с зеркальными вогнутыми поверхностями, что делает конструкцию компактной (рисунок 1)

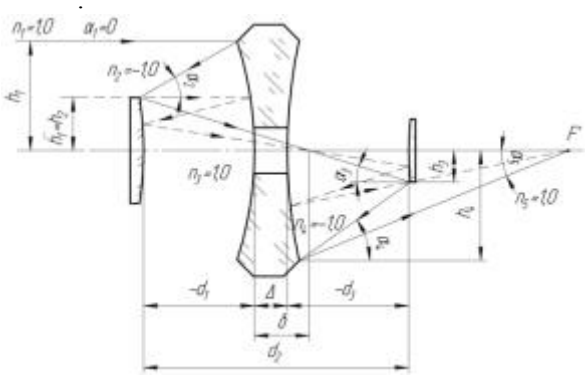


Рисунок 1 – Параметрическая схема зеркального объектива

Параметрический расчет такого объектива целесообразно проводить по схеме ДО, в которой наибольший диаметр зеркальных компонентов определен размером входного зрачка и имеется промежуточное изображение между ступенями: эквивалентное фокусное расстояние равно $f'_{\text{сист}} = \beta f'_{\text{фок.об.}}$, где $f'_{\text{фок.об.}}$ – фокусное расстояние объектива (к примеру, двухзеркального), β – линейное увеличение второй ступени. В такой схеме возможно устранение четырех монохроматических аберраций 3-го порядка, т.к. она обладает большим числом коррекционных параметров по сравнению с базовой афокальной. Отличие методики расчета состоит в том, что при $\alpha_3 \neq 0$ параметр d_2 нельзя использовать для компенсации аберраций: все значения толщин d_S (в том числе и d_2) определены при известных значениях углов α_s и высот h_s, но зато появляется дополнительный параметр $h_3 \neq h_2$.

Отметим также, что одной из задач расчета зеркальных систем наряду с получением высокой светосилы и увеличенного поля зрения, является уменьшение числа асферических поверхностей, что улучшает технологичность изготовления оптики. При попытке уменьшить число асферических поверхностей неизбежно возрастает роль конструктивных параметров, которые в таких системах являются «неполноценными» (их лучше использовать в начале расчета), а оставшиеся аберрации компенсировать «полноценными» коррекционными параметрами – деформациями зеркальных поверхностей σ_S, что соответствует методологии смены приоритетов [3].

При расчете зеркальной системы применим формулы, вытекающие из уравнений аберрационных полиномов [2,с.] для заданных условий нормировки. Предлагается методика эффективного проектирования, когда перед началом расчета задается из технологических соображений величина оптической силы первого зеркала $\alpha_2 = 1/f_1'$.

Основные формулы для габаритного моделирования объектива данного типа:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_3 &= \frac{h_2}{\delta - d_1}, \\ h_3 &= -h_2\alpha_3\frac{\Delta - \delta + 1}{\alpha_3 + h_2}, \\ \alpha_4 &= \alpha_3\frac{1+h_3}{h_3 + (\Delta-\delta)\alpha_3}, \\ h_2 &= -\frac{h_3}{1+\alpha_3}. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Параметр δ, входящий в формулы (1), определяет положение плоскости промежуточного изображения и может изменять свое значение.

Соответствующим подбором параметров первого параксиального луча (углов α_s и относительных высот h_s) были рассчитаны схемы с асферикой, определяемой деформациями σ_S и конструктивными параметрами: радиусов r_S и осевых расстояний d_S с использованием известных выражений для первого параксиального луча.

Для выполнения условия Петцваля (получение плоского изображения) предложена методика расчета, которая предполагает исследование зависимости коэффициента кривизны изображения 3-порядка для различных значений δ при выборе соответствующих величин α_2 и h_2. (рисунок 2). Величина h_2. определяет центральное экранирование ε. Практический интерес представляют системы, в которых значения α_2, δ, d_1 и d_2 приведены в таблице 1. Значения δ получены интерполяцией функции в заданном интервале.

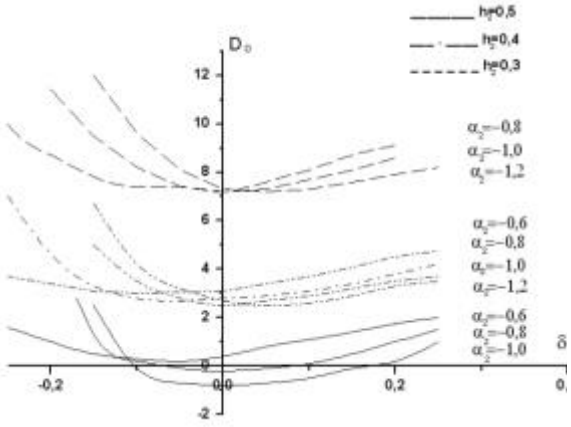


Рисунок 2 – Графическая интерпретация исследования кривизны изображения

Системы могут быть достаточно светосильными (значения углов α_s невелики), для варианта №2: $\alpha_2 = \alpha_5 = -1{,}0$; $\alpha_3 = 0{,}756315$; $\alpha_4 = -1{,}650028$.

Варианты содержат асферические поверхности различного профиля, имеющие длину l=(0,8-1,25) f'. Они обладают стабильной коррекцией аберраций по полю 2ω=6°...8° (кружок рассеяния 0,01 мм в центре и не превышает 0,05 мм с небольшим фоном выше этого предела на краю) для f'=200мм, D/f' =1:1-1,2 при экранировании ε=0,3…0,58. Три основные монохроматические аберрации откоррегированы деформациями на трех зеркальных поверхностях. Для базового модуля был использован вариант со вторым сферическим зеркалом, когда деформации на первое и третье зеркала перераспределены так, что четвертое зеркало выполнено сферическим. Это особенно важно с технологической точки зрения. При расчете объектива также рассматривалась защита плоскости изображения от лучей «паразитной» засветки. Для устранения постороннего света, отраженного только от первого и второго зеркал, вводится бленда в свободное пространство, образованное осевым и экранированным лучом (рисунок 1). Для устранения постороннего света, попадающего на второе зеркало, минуя первое, а также лучей, многократно отраженных от других зеркал не требуется введения специальных бленд.

Таблица 1 – Варианты зеркальных план-объективов

№ вариантов	α_2	δ	d_1	d_2
1	-0,8	0,0544	-0,625	1,1020
2	-1,0	0,1611	-0,5	1,0348
3	-1,2	0,2182	-0,417	0,9775

Рассчитанные объективы могут применяться в приборах радиометрического и пеленгационного типов.

1. Meinel, A.B. Two-stage optics / A.B. Meinel, M.P. Meinel //Optical Engineering. – 1992. – Vol. 31, No 11. – P. 2271–2279.
2. Артюхина Н.К., Котов М.Н. Заявка на выдачу патента РБ на изобретение «Зеркальный объектив» № А 20140275 – от 15.05.2014 г.
3. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

УДК 681.7.015.2+535.317

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ И КАТАЛОГИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Артюхина Н.К.[1], Марчик В.А.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

Тенденции научного технического прогресса нельзя представить без внедрения современных компьютерных технологий, включая автоматизацию процессов проектирования в различных областях науки и техники. Компьютерное моделирование оптики – один из этапов технологии

информационной поддержки полного жизненного цикла оптических изделий. На рынке программных коммерческих продуктов представлен ряд пакетов прикладных программ для проектирования (ППП) и анализа ОС. Лидирующее положение занимают ППП Opal [1], ПП Zemax [2], Code V [3]. Существует достаточное количество других конкурирующих программных продуктов (к примеру, CAPO, Synopsys, Oslo, Demos [4]) для расчета ОС различной степени сложности.

Программные комплексы, обладая большими функциональными возможностями, не охватывают весь спектр задач, решаемых оптиком-расчетчиком в процессе производства. Актуальным вопросом является создание библиотеки компьютерных программ, предназначенных для моделирования и технологической адаптации оптических систем любого класса, учитывающих специфику конструкторских разработок, особенности технологических процессов изготовления оптических деталей и сборки готовых узлов и приборов и выполняющих функции, которые не встроены в конфигурации известных компьютерных пакетов по расчету оптики.

Выбор стартовой точки по-прежнему остается функцией разработчика. Кратко отвечая на вопрос «Откуда берутся исходные оптические схемы при разработке изображающих ОС?», можно назвать несколько надежных источников: теория проектирования оптических систем; различные базы данных: патентные, отраслевые, БД предприятий; каталоги производителей ОС; алгоритмы экспертных систем; имеющийся опыт [5]. Если разработчик не смог подобрать требуемый модуль ОС из этих источников, он рассчитывает новую схему.

Удовлетворение требований, предъявляемых к новым разработкам, обеспечивается различными принципиальными схемами, что свидетельствует о существовании нескольких возможных решений. Оптимальный выбор схемы с заданной областью оптических характеристик имеет определяющее значение для успешной реализации поставленной задачи.

В настоящее время проблема классификации и составления каталогов ОС очень актуальна в связи с большими архивами рассчитанных оптических схем.

Классификация оптических систем – один из этапов проектирования оптики. Систематизация различных типов и модификаций позволяет проводить достаточно полный и глубокий анализ большого количества на первый взгляд довольно разнообразных схем и моделировать новые. Классификация играет огромную роль для понимания процесса проектирования ОС и является основой для понимания процедуры структурного синтеза, которая формализует переход от требований технического задания к выбору элементной базы посредством применения набора эвристических правил. Многие новые зарубежные издания в области оптотехники дополнены материалами по классификации и каталогизации ОС [6].

Отметим, что патентная документация представляет собой исключительно ценный источник информации, ее анализ необходим для определения уровня техники и новизны создаваемой ОС. Полная информация, представляемая в патентах, избыточна, однако многие инженеры, специализирующиеся на расчете ОС, систематизируют полученные результаты своей работы в соответствии с принципами, принятыми в патентной литературе.

В настоящей работе рассмотрен аспект создания каталога (библиотеки) объектных модулей оптических систем различных классов, встроенного в конфигурацию компьютерного пакета по расчету оптики Opal. Под *оптическим модулем* будем понимать исторически сложившиеся схемные решения, которые во многих случаях получили имена собственные, обычно по имени изобретателя или числу компонентов. Модули могут использоваться как самостоятельно, так и в составе более сложной оптической схемы. Предложен алгоритм и установлен путь в архив с проверкой параксиальных характеристик.

Такой каталог позволит наилучшим образом выбрать базовые схемы, при этом будет затрачено минимальное время на разработку оптики оптико-электронных и лазерных приборов. В каталоге для каждой ОС приводится информация в определённой последовательности, общая схема которой выглядит следующим образом:

– название оптической системы;

– общее описание и особенности схемы;

– оптическая схема ОС;

– конструктивные параметры (мм): радиусы кривизны r, осевые расстояния между поверхностями d, световые диаметры и т.д;

– оптические характеристики (фокусное расстояние f', относительное отверстие D/f', угловое поле зрения, 2ω видимое Г или линейное увеличение β);

– для асферических поверхностей уравнения меридиональной кривой, деформации поверхностей σ, технологические параметры; асферичность, градиент асферичности, световой диаметр, радиус ближайшей сферы;

– вспомогательные конструктивные данные (задний отрезок системы S', габариты (компактность): $d = k\,f'$ и др.);

– таблицы аберраций для точки на оси и главного луча при заданных характеристиках и параметрах (для объективов [мм]: $\Delta S'$, $\Delta y'$ – продольная и поперечная сферическая аберра-

ция, $\Delta Y'$,% – дисторсия, Z_m', Z_S' – астигматические отрезки; для афокальных систем [дптр, °;′;′′]: D', σ' - сферическая аберрация; $\Delta\omega'$ – дисторсия, L_M, L_S - астигматические отрезки; η,% – неизопланатизм);

– графики остаточных аберраций: поперечные аберрации в меридиональном и сагиттальном сечении, кривизна поля, дисторсия;

– точечные диаграммы (диаграммы кружка рассеяния), диаграммы волнового фронта, графики MTF (ЧКХ), функции рассеяния;

– дополнительные данные по аберрациям и виньетированию;

Графическая интерпретация оптических характеристик может быть различной: ФРТ изображают в виде карты уровней равной интенсивности, где дополнительно указано число Штреля; MTF обычно показывают в виде двумерной функции для меридионального и сагиттального сечения; ТД представляет картину точек пересечения лучей, равномерно распределенных по зрачку, с плоскостью изображения; фокусировочные диаграммы характеризуют изменение ТД в различных плоскостях установки (в частности, в ПНУ); ФРЛ показывает распределение интенсивности в изображении бесконечно длинной линии в меридиональном или сагиттальном сечении. Вычисление всех характеристик в геометрическом приближении основано на определении поперечных аберраций для большого количества точек.

Дополнительно в зеркальных системах целесообразно приводить рабочие зоны с учетом «загораживания» зеркальными поверхностями пучков лучей, по которым можно судить о степени влияния экранирования и виньетирования на качество изображения [7].

Такой классификационный подход к каталогам позволит служить одним из основных факторов сокращения сроков новых разработок.

Он может использоваться не только отдельными специалистами инженерами-оптиками; большинство оптических компаний рано или поздно приходят к необходимости создания архивов своих разработок и классификации этой информации.

1. Артюхина, Н.К. Компьютерное проектирование оптических систем: учеб-метод. пособие: в 2 ч. / Н.К. Артюхина, В.А. Марчик; Мин-во образования Респ. Беларусь; БНТУ. – Минск, 2007. – Ч. 1: Анализ центрированных оптических систем. – 105 с. (гриф УМО).
2. The Photonics Handbook, Book3, 52nd International Edition, A. Laurin Publication, 2006.
3. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: http:// www. focus. software. com.
4. Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: http: // fsapr 2000. ru.
5. Лившиц, И.Л. Выбор исходной системы для расчёта объективов / И.Л. Лившиц, А.В. Сальников, Unchung Cho // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 11. – С. 74–78
6. Smith, W.J. Modern Optical Engineering, the Design of Optical Systems / W.J. Smith. – 3rd ed . – New York: McGraw-Hill, 2000. – 617 p.
7. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

УДК 620.179.16

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛН В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

Баев А.Р., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е., Гиль Н.Н.
ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Трансформация волн – явление, играющее важную роль в практике ультразвукового контроля. Как известно, сама возможность возбуждения различных типов волн в твердых телах основана на трансформации мод на границе раздела сред. При распространении в объеме объекта ультразвуковые волны испытывают трансформацию, попадая на стенки или технологические элементы – отверстия, проточки, резкие изменения профиля и т.п. Зачастую трансформация волн мешает при контроле, так как в результате возникает большое количество т.н. ложных сигналов, маскирующих сигналы от дефектов. В других случаях преобразование типов волн осуществляется намеренно (например, в методе Т-тандем) либо используется как признак наличия дефекта.

Значительное число объектов контроля имеют сложный рельеф поверхности - различные технологические выступы, радиусные переходы сопрягаемых поверхностей и пр. (например, валы прессового оборудования, вагонные оси колесных пар, сварные соединения). Нередко такая форма поверхности ограничивает возможности установки преобразователей и создает трудности при введении ультразвуковых колебаний в исследуемую область объекта. Как показано в [1], в таких случаях возможно использовать преобра-

зователи рэлеевских волн в качестве первичного источника (приемника) поперечных волн, генерация которых происходит вследствие трансформации и рассеяния упругих мод на технологическом выступе.

Установлено, что в общем случае результирующее поле поперечных волн A_T (рис.1), возбуждаемых пьезопреобразователем (ПЭП) волн Рэлея в объекте с выступом, имеет три составляющие: краевая поперечная волна A_{TE}, трансформированная из волны Рэлея в области сопряжения поверхностей (ОСП) выступа; сопутствующая поперечная волна A_{TS}, возбуждаемая преобразователем одновременно с волной Рэлея; отходящая (боковая) поперечная волна A_{T*}, генерируемая головной волной, трансформированной из волны Рэлея на ОСП выступа.

Результирующее поле поперечных волн $A_T(\alpha)$ имеет максимум в окрестности продолжения контактной поверхности образца (α~0°), смещающийся на 5-7° при варьировании угла выступа γ в диапазоне 35-135°.

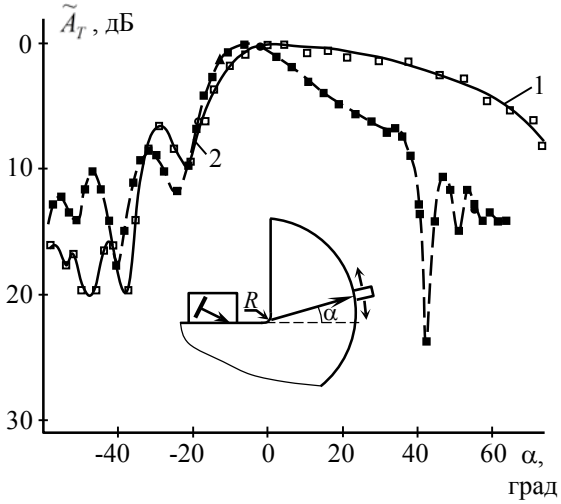


Рисунок 1 – Поле поперечных волн в объеме образца с выступом (угол выступа γ=90°) и радиусным переходом (1) и без радиусного перехода (2); частота f=1,8 МГц

О возможности использования ПЭП волны Рэлея для выявления дефектов свидетельствуют представленные на рис.2 результаты исследования влияния углового положения модельного дефекта α на амплитуду отраженного сигнала A_T. Данные исследования зависимости $\widetilde{A}_T(\alpha)$, полученные на частотах 1 МГц и 1,8 МГц, указывают на то, что в области α>0 превалирующее влияние на формирование поля $\widetilde{A}_T(\alpha)$ и выявление модельных дефектов, расположенных в окрестности α~0° и выше, играет именно краевая поперечная мода.

Установлено также, что при высоте выступа $h_\lambda \geq 3$ потери на 4-кратную трансформацию ПАВ составляют ~20 дБ, что позволяет использовать преобразователи волны Рэлея для обнаружения поверхностных дефектов, расположенных за выступом.

Эффект трансформации ПАВ в поперечную моду и обратно может быть использован для контроля объектов с технологическими выступами на наличие дефектов, контроля параметров трещины, измерения акустических свойств материалов и создания преобразователей поперечных мод.

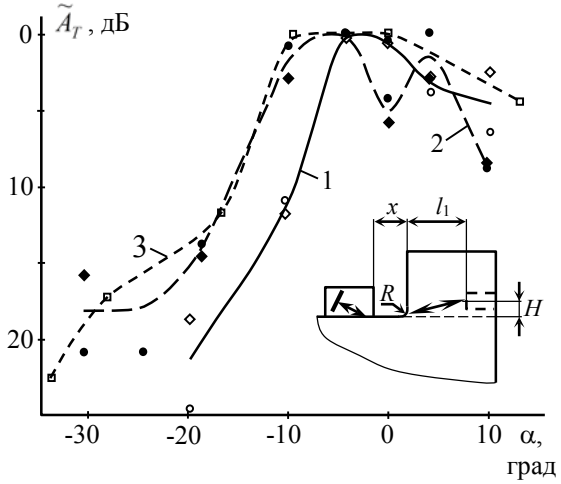


Рисунок 2 – Пример выявления дефектов в образце с выступом преобразователем рэлеевских волн на частоте 1,8 МГц: радиус ОСП R, мм = 5 (1); 10 (2); 0 (3); расстояние до выступа x, мм = 20 (○,●,□); 48 (◊,♦)

Образец с трещиной или тонким пазом можно рассматривать как модель выступа с углом γ~0°. Данные прозвучивания образца с естественной трещиной глубиной ~0,4-0,5 мм позволили установить, что сигнал–отклик представляет собой серию импульсов, приходящих в виде ПАВ на приемный ПЭП. При этом в режиме эхо наблюдаемый на осциллограмме первый импульс является отражением ПАВ от устья трещины, второй же формируется в результате прохождения ПАВ по поверхности трещины и трансформации ее в окрестности вершины в поперечную моду с последующим рассеянием, а затем, после отражения от противолежащей поверхности образца, возвращается на ПЭП в обратном порядке. Т.е., ПАВ дважды проходит по стенке трещины и дважды трансформируется на ее вершине. Последующие же импульсы, принимаемые ПЭП, генерируются в результате периодической трансформации на трещине переотражаемых в плоском слое импульсов T_E-моды. Т.е., в этом

случае основная энергия сосредоточена в поперечной моде, и при очередном переотражении от донной поверхности образца она трансформируется в ПАВ (именно на вершине трещины) и возвращается к приемнику волн.

Таким образом, исходя из полученных данных, временной интервал между первым и вторым импульсами (t_{21}), а также между вторым и третьим импульсами (t_{32}), наблюдаемыми на осциллограмме, будут равны

$$t_{21}=2H/C_{ПАВ}+(d-H)/C_T+\Delta t;\ t_{32}=H/C_{ПАВ}+2d/C_T, \quad (1)$$

где d – толщина образца; H – глубина трещины; Δt - временной сдвиг, обусловленный отражением ПАВ от стенки трещины; $C_{ПАВ}$ – скорость поверхностной волны; C_T - скорость поперечной волны.

Исходя из (1), предполагается, что в некоторых случаях возможно судить не только о наличии, но и о глубине трещины по величине временных интервалов между переотраженными сигналами – как в теневом, так и в эхо-режиме. Необходимо учесть, что в зависимости от степени контакта стенок трещины (граничных условий) величина $C_{ПАВ}$ может уменьшаться на 1-2 % [9].

Принципиально возможно также использовать технологические выемки, пропилы и трещин для обнаружения дефектов, расположенных под ними, с помощью трансформированной из ПАВ и рассеянной на вершине пропила поперечной моды. Чувствительность такого способа выявления дефектов, расположенных на расстоянии до 10-15 мм от вершины пропила, может достигать нескольких мм^2.

Как следует из результатов исследований, высокий коэффициент преобразования и легкость конструктивной реализации позволяют использовать эффект трансформации ПАВ↔T-мода для создания преобразователей поперечных горизонтально поляризованных волн как для их приема, так и излучения.

В частности, представляет интерес создание преобразователей, работающих независимо друг от друга на нескольких частотах и имеющих одну и туже область излучения-приема. Это может быть реализовано путем расположения нескольких ПЭП друг за другом в определенной последовательности и с соответствующей длиной волновода, обеспечивающих требуемую временную задержку между источниками (приемниками) акустического сигнала.

При проведении исследования акустических свойств материалов под воздействием температуры, внешних полей, давления и др. представляет интерес использовать образцы с выступами, являющиеся высокоэффективными трансформаторами ПАВ в объемные моды и обратно. В случае реализации эхо-режима преобразователь ПАВ может быть вынесен за пределы зоны воздействия на испытываемый образец. В некоторых случаях в качестве опорного сигнала можно использовать отражение от ребер выступа.

1. Баев, А.Р. Формирование акустического поля преобразователя волны Рэлея в объекте с выступом. Часть 1. Угол выступа прямой / А.Р. Баев, А.Л. Майоров, М.В. Асадчая, О.С. Сергеева // Дефектоскопия. – 2014. - №6. - С.25-37.

УДК 620.179.1+534.1

ПОЛЕ ГОЛОВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ НАЛИЧИИ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Баев А.Р.[1], **Сергеева О.С.**[2], **Асадчая М.В.**[1], **Костюк Д.А.**[1]
[1]*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь*
[2]*ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь*

В практике ультразвукового контроля все более широкое применение находят методики, основанные на использовании пьезопреобразователей (ПЭП) подповерхностных волн, возбуждаемых под первым β_1 и вторым β_2 критическим углом падения продольной волны на контролируемый объект. Это позволяет выявлять подповерхностные дефекты под грубо обработанной поверхностью, производить тензометрию и структуроскопию твердых тел, а также существенно повысить чувствительность к обнаружению дефектов типа слипание [1-3]. Исследования показали, что поле подповерхностных волн имеет сложную структуру, характеризующуюся тем, что малая часть потока ее энергии локализована в поверхностном слое, а превалирующая – в объеме. При этом ослабление амплитуды A продольной подповерхностной или головной волны (ВГ) с расстоянием x в отсутствие диссипативных процессов $\sim x^{-n}$, где $n\approx$1,7-1,8, если волна распространяется по поверхности объекта, а в объеме - $n\sim$1. Причина столь сильного ослабления приповерхностного потока ВГ заключается в наличии стока энергии, уносимой отходящей поперечной модой от контактной поверхности в объект под 3-м критическим углом $\beta_3\approx$33°. Указанные недостатки, а также большое затухание препятствуют применению ВГ для контроля объектов, обладающих низкой скоростью звука, включая полимерные материалы. Представляет

интерес изучить возможности повышения эффективности их контроля, управляя структурой поля ВГ путем изменения граничных условий на поверхности объекта. Прежде всего, необходимо обратить внимание на то, что потери энергии потока ВГ, вызванные отходящей поперечной модой, генерируются лишь при наличии нормальной составляющей смещений u_{z2}. Поэтому, если предположить, что если

$$u_{z2} << u_{t2}, \quad (1)$$

где u_{t2} - тангенциальная составляющая скорости на поверхности объекта, то следует ожидать изменения поля излучения ПЭП Ф(α) ВГ и существенного повышения плотности потока акустической энергии в области $\alpha \to \pi/2$. А это является весьма актуальным при контроле значительного числа объектов. Очевидно, что условие (1) может быть реализовано: а) при наличии на поверхности объекта акустической нагрузки (АН), обеспечивающей граничные условия, близкие к "скользящей границе"

$$\sigma_{\tau 1}=\sigma_{\tau 2}=0,\ \sigma_{z1}=\sigma_{z2},\ u_{z1}=u_{z2}, \quad (2)$$

где для составляющих тензора тангенциальных (σ_τ) и нормальных (σ_z) напряжений индекс 1 относится к поверхности тела, создающего акустическую нагрузку, 2 – базового объекта; б) при превалировании величины удельного акустического сопротивления материала нагрузки ($R_1=\rho_1 C_1$) над соответствующей величиной исследуемого объекта ($R_2=\rho_2 C_2$) Т.е., предполагается, что $\aleph=R_2/R_1<<1$.

В работе проведен теоретический анализ и экспериментальные исследования распространения ВГ, когда удельное акустическое сопротивление материала АН достаточно большое ($\aleph<<1$), и выполняются граничные условия, преимущественно близкие к "скользящей границе", а также "жесткой границе" ($\sigma_{\tau 1}=\sigma_{\tau 2}$, $\sigma_{z1}=\sigma_{z2}$, $u_{z1}=u_{z2}$, $u_{z1}=u_{z2}$). Анализ известных работ и полученных выражений для рассматриваемого класса задач [4-6] показал отсутствие условий для распространения слабо затухающих волн типа волн Стоунли (ВС) в окрестности границы сред при выполнении указанных выше граничных условий для контактирующих твердых тел. В то же время выдвинутая нами гипотеза о возможности существования такой волны основывается на том, что при $\aleph<<1$ и выполнении граничных условий (1)-(2) настоящая задача близка к той, что имеет место для слабозатухающей волны Стоунли, распространяющейся вдоль границы жидкость-твердое тело. Т.е., для описания распространения преимущественно продольной моды ВГ в окрестности границы сред предложена "жидкостная модель" Викторова В.И [6].

На рис.1 представлена упрощенная схема экспериментальных исследований, позволяющая моделировать как указанные выше граничные условия (скользящая и жесткая), так и плавно изменяющиеся (во времени) условия. Последнее достигается при отвердевании клеющей композиции, вводимой между плексигласом и АН. Установка содержит излучатель ВГ(1), АН (2), базовый образец из плексигласа (3), приемник колебаний (4). Некоторые данные исследований (рис. 2 и 3) убедительно подтверждают высказанную гипотезу о возможности существовании определенных условий, для которых в окрестности границы твердых тел существует слабо затухающая квазипродольная волна.

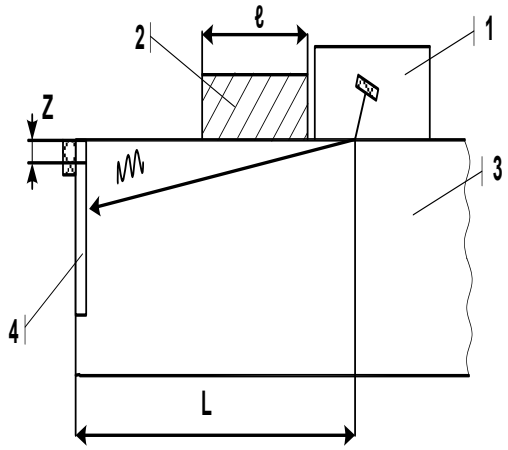


Рисунок 1 – Схема эксперимента

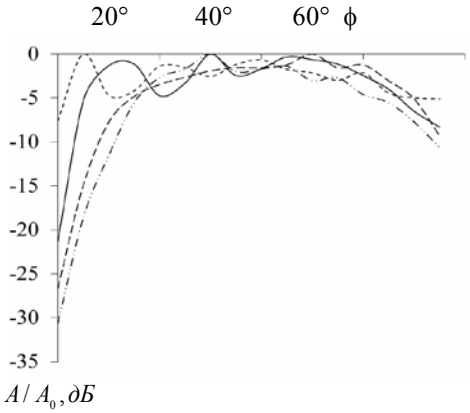


Рисунок 2 – Влияние длины акустической нагрузки на поле излучения головной волны: l, 10^{-2} м=0 (1); 0,02 (2); 0,05 (3); 0,094 (4)

Показано, что именно в рассмотренном случае ослабление с расстоянием ГВ и ее поле в базовом образце близко к "свободному полю" объемной волны, возбуждаемой в докритическом режиме. Важным для выше выдвинутой гипотезы и подтверждающим ее является тот факт, что варьирование безразмерной толщины АН (стальной пластины) вплоть до h~(0,3-0,4)λ_l

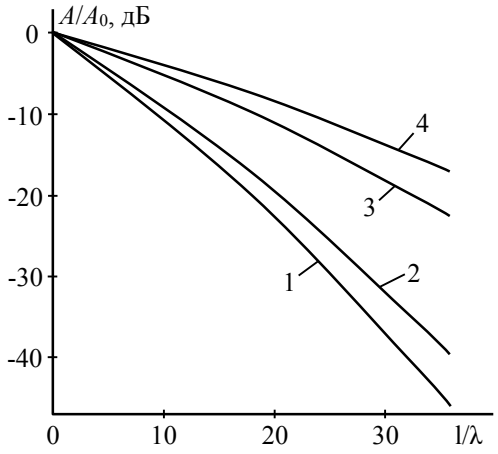


Рисунок 3 – Влияние АН на ослабление ВГ в плексигласе: АН – нет (1); АН - плексиглас (2); АН - сталь толщиной 0,5-30 мм (3); ВГ в объеме образца (4)

практически не сказывается на амплитудных и угловых параметрах поля излучения ПЭП. При этом наблюдается существенное перераспределение потока акустической энергии в окрестности границы сред. В пользу жидкостной модели служит и тот факт, что расчетное значение величины $\Delta C=C-C_0$, полученное при воздействии АН, является отрицательным, и оно всего на 20% отличается от полученного в эксперименте. Установлено, что варьирование толщины жидкой звукопроводной прослойки между объектом и телом АН может также приводить к достаточно значимым изменения поля ВГ. Однако в этом случае механизм пространственного перераспределения поля излучения ПЭП совершенно другой и обусловлен проявлением эффекта волнового резонанса в жидкой прослойке.

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3. – М.: Машиностроение, 2003. – 864 с.
2. Ермолов И. Н., Разыграев Н.П., Щербинский В. Г. Исследование ослабления ультразвуковых головных волн с расстоянием. - Дефектоскопия, 1979, №1, с.37-40.
3. Баев А. Р., Асадчая М. В. Особенности возбуждения и распространения продольных и поперечных подповерхностных волн в твердых телах. Часть 2. Влияние некоторых граничных условий на формирование акустического поля - Дефектоскопия, №9, 2005, стр. 32-43.
4. Белубекян М.В. Об условии существования волн Стоунли при скользящем контакте. - Изв. АН Арм.ССР. Механика, 1990,т.43, №4, с.52-56.
5. Аббакумов К.Е., Коновалов Р.С. Распространение акустических волн Стоунли в области границы твердых полупространств при нарушенном акустическом контакте**.-** Изв. СПбГЭТУ “ЛЭТИ”, 2003, №1, С. 10–16.
6. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. - М.: Наука, 1981. - 289 с.

УДК 620.179.1+534.1

ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ АМПЛИТУДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ

Баев А.Р.[1], **Сергеева О.С.**[2], **Майоров А.Л.**[1], **Парадинец В.В.**[1]
[1]ГНУ “Институт прикладной физики НАН Беларуси“, Минск, Республика Беларусь
[2] ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет", Могилев, Республика Беларусь

Большинство используемых на практике ответственных изделий машиностроительной, станкостроительной, авиационной промышленности, на транспорте и др. подвергаются поверхностному упрочнению путем термической, химико-термической и механической обработки, что обеспечивает их высокую прочность и долговечность. При этом глубина h упрочненного поверхностного слоя (УПС) может изменяться в диапазоне от десятков мкм до нескольких десятков мм, что, как правило, контролируется разрушающим методом и не дает достаточных гарантий качеству выпускаемой продукции. Известные же методы неразрушающего контроля (электромагнитные, токовихревые и др.), а также основанные на отражении ультразвуковых волн от границы УПС, не наши широкого применения, что вызвано отсутствием надежной корреляции между информативным сигналом и глубиной УПС.

В ГНУ “ИПФ НАН Беларуси” разрабатываются на современной базе новые высокоэффективные средства ультразвукового контроля УПС и внедряются как для контроля стальных, так и чугунных изделий, имеющих плоскую, цилиндрическую, винтовую, зубчатую форму упрочняемой поверхности. При этом в качестве базового информативного параметра используется скорость C_R поверхностной волны (ПАВ) и поперечной подповерхностной волны (ППВ), хорошо коррелирующих с твердостью металла B. При этом обеспечивается точность измерения h в пределах 7-15 %. Проведение настоящих исследований направлено как на выявление возможностей повышения надежности и достоверности измерений, так и на упрощение используемой (прецезионной и дорогостоящей)

аппаратуры. С этой целью были изучены закономерности изменения амплитудных параметров поверхностной и поперечной подповерхностной волны [1] в зависимости от угла падения волны на объект β, акустической базы l между излучающим и принимающим волны пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП), рабочей частоты f в диапазоне 1-10 МГц.

В качестве источника и приемника УЗК использована преимущественно стандартная ультразвуковая аппаратура, измеритель временных интервалов И1-8 и др. Преобразователи выполнены как с твердотельной, так и жидкой (водяной) призмой.

В качестве объекта исследований использованы плоские образцы из стали Ст45 и упрочненные цементацией с последующей термической обработкой. Диапазон исследованных толщин УПС h=0-1,5 мм, чему соответствует диапазон безразмерных значений $h^*=h/\lambda_{ПАВ}\approx$0-5, где $\lambda_{ПАВ}$ - длина ПАВ. Прозвучивание образцов производится как теневым, так и эхо-методом. Некоторые данные исследований представлены на рис. 1-3.

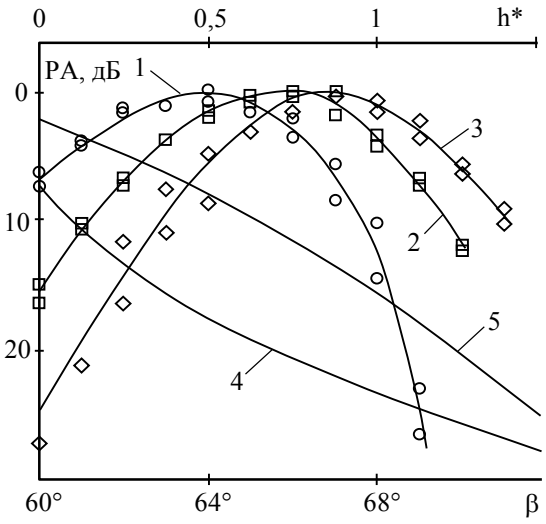


Рисунок 1– Безразмерная амплитуда ПАВ от угла призмы β (1-3) и глубины УПС h^* (4, 5) в режиме отражения**:** h^*=0 (1); 0,25 (2); 0,9 (3); β=60°(4); 69° (5); f=1,8 МГц

В указанном частотном диапазоне на образцах с различной глубиной упрочненного закалкой ТВЧ слоя получены зависимости амплитуды ПАВ (A_R) и ППВ (A_T) от угла падения волны на образец β, варьируемый в диапазоне, включающем второй критический угол $\beta_2=\arcsin(C_1/C_T)$ и оптимальный угол возбуждения ПАВ $\beta_R=\arcsin(C_1/C_R)$, где C_1 – скорость УЗК в призме ПЭП. Как установлено, зависимости $A_R(\beta)$ имеют вид, подобный параболе (рис.1), угол максимума которой монотонно возрастает с увеличением глубины УПС. Подобные зависимости имеют место и для амплитудно-угловой зависимости ППВ $A_T(\beta)$ в окрестности второго критического угла β_2. Как показывает анализ акустического тракта измерительной системы, отклонение угла призмы ПЭП от оптимального всего на 1-2° может вызвать изменение амплитуды сигнала на 5-10 дБ и более.

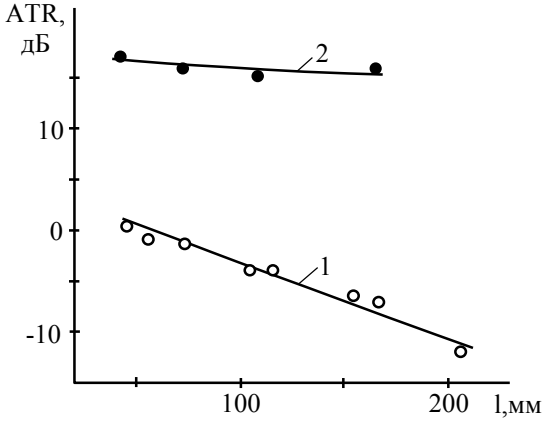


Рисунок 2 – Амплитудная зависимость ATR=AT/AR от расстояния в режиме отражения: h*= 0 (1); 2,5 (2); f = 5 МГц, β=58°

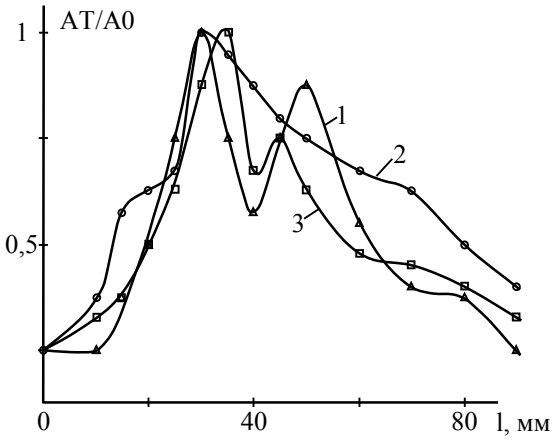


Рисунок 3. Амплитуда поперечной волны от расстояния до отражающей грани образца с УПС глубиной h*≈5: β=23°(1); 25,5° (2); 26° (3); призма ПЭП водяная

При этом, как можно показать, наблюдается различие в скорости следа падающего акустического пучка на объект и бегущей (в результате возбуждения) ПАВ вдоль границы объект-призма преобразователя:

$$\frac{\Delta\tilde{N}}{\tilde{N}_R}=-\Delta\beta\,\mathrm{tg}\beta_R,$$

где $\Delta\beta=\beta-\beta_R$. Т.е., при $\Delta\beta>0$ след падающего акустического пучка будет отставать, а при $\Delta\beta<0$ – опережать движение ПАВ. В результате этого

не только снижается чувствительность метода, но наблюдается изменение спектра возбуждаемой моды, что, естественно, скажется на достоверности измерения глубины УПС по данным скорости распространения ПАВ. Поэтому для повышения точности измерения C_R на разных частотах в объектах с УПС рекомендуется производить угловую подстройку амплитуды волны механическим или электронным (фазированная решетка) путем.

Важно отметить, что зависимости $A_R(\beta)$ и $A_T(\beta)$, полученные на разных частотах, несут информацию о качестве упрочнения УПС и могут быть использованы в качестве дополнительного информационного материала для определения глубины УПС. Если твердость на поверхности объекта с УПС известна, шероховатость поверхности $Rz<<\lambda_{ПАВ}$, а точность установки β не хуже 0,1-0,2°, то представляется возможным производить предварительную оценку глубины УПС по данным амплитудных зависимостей $A_R(\beta)$, снимаемых как в режиме прохождения, так и в режиме отражения.

При падении продольной волны на образец под углом, близким ко второму критическому, существенно возрастает энергия ППВ и, соответственно, падает энергия возбуждаемой ПАВ. Наличие упрочненного поверхностного слоя, являющегося акустически неоднородным, вызывает рефракцию подповерхностной поперечной волны, что сопровождается изменением структуры поля излучения. Согласно полученным данным, для угла падения волны $\beta\approx\beta_2$ и значений характерной глубины слоя $h_\lambda< h_\lambda^*$ логарифмические зависимости $A_T^*=A_T/A_{TO}$ и $A_{TR}=A_T/A_R$ от длины акустической базы l имеют квазилинейный вид. Причем (что весьма важно) их угол наклона ϕ к оси l уменьшается с ростом безразмерной глубины УПС (рис.2). Ослабление же подповерхностной волны с расстоянием по мере увеличения глубины УПС уменьшается. Т. е., вследствие эффекта рефракции значительная часть энергии ППВ концентрируется в окрестности создаваемого подповерхностного звукового канала. Т.о., установленное наличие однозначной связи между ϕ и h_λ для указанных амплитудных зависимостей, позволяет использовать еще один достаточно простой способ оценки глубины УПС.

Исследования (рис.3), проведенные в режиме отражения на частоте 10 МГц с использованием локальной иммерсионной ванны, показали, что при достаточно больших значениях $h>h^{**}$ зависимости $A_T(l)$ имеет ряд экстремумов, что было ранее обнаружено сотрудниками ЦНИИТМАШ (Москва). С одной стороны, это может быть использовано для оценки глубины УПС, коррелирующей с координатами положения экстремумов. С другой стороны, в этом случае эффекты рефракции существенно затруднят измерительную процедуру оценки глубины упрочненного слоя h по данным угла наклона кривых $A_{T,R}(l)$.

1. Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В., Сергеева О.С., Коновалов Г.Е. Особенности возбуждения ПАВ в металлах с поверхностным упрочненным слоем. – Неразрушающий контроль и диагностика, 2012, №3, с.3-14.

УДК 621.7.015:539.431

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ИХ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ

Барандич Е.С., Выслоух С.П.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Из теории резания металлов известно, что механическая обработка вызывает пластическую деформацию, нагрев и структурные преобразования в поверхностном слое материала обрабатываемой детали и сопровождается возникновением неравномерных по глубине и значению остаточных деформаций и напряжений. В зависимости от того, какое явление является доминирующим (пластическая деформация, нагрев или структурные преобразования), поверхностный слой может отличаться значениями глубины и степени упрочнения, величиной и знаком остаточных напряжений. Эти параметры, а также параметры шероховатости поверхности, в основном характеризуют качество поверхностного слоя и оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей.

В настоящее время известно большое количество научных исследований, которые подтверждают факт влияния параметров качества поверхностного слоя деталей приборов на их эксплуатационные свойства. Усталостная прочность деталей существенно зависит от шероховатости их поверхностей [1, 2]. Наличие на поверхности деталей, работающих в условиях циклических и знакопеременных нагрузок, отдельных дефектов и неровностей способствует концентрации напряжений, которые могут превысить предел

прочности. В этом случае поверхностные дефекты и штрихи от обработки играют значительную роль в возникновении субмикроскопических нарушений целостности металла поверхностного слоя и его разрыхлении, что является первопричиной образования усталостных трещин. Высота шероховатости, направление штрихов обработки, форма и шаг неровностей, размеры опорной поверхности и другие геометрические характеристики микрорельефа поверхности влияют и на другие важные эксплуатационные свойства деталей приборов, в том числе и на их прочность при ударной нагрузке, контактную жесткость, износостойкость, коэффициент теплопередачи, газовую эрозию и другие. Экспериментальные данные [3] свидетельствуют о том, что при увеличении шероховатости отпущенной стали 45 с Rz=3,2 мкм до Rz=75 мкм граница ее выносливости снижается с 285 до 200 МПа, то есть на 30%. В [3] показано влияние направления неровностей на предел выносливости стали при сгибании. При продольном направлении неровностей циклическая прочность при сгибании стали 2Х13 на 10-15% выше, чем при поперечном расположении неровностей. Эта закономерность проявляется при различных видах обработки. Неровности, образующиеся на поверхности в результате обработки, являются концентраторами напряжений [4] и служат одной из причин снижения усталостной прочности. Так, согласно данным С.В. Сёренсена, напряжение на дне рисок в 2-2,5 раза превышают среднюю величину напряжений поверхностного слоя. Причем концентрация напряжений зависит не только от глубины рисок, но и от их формы. Снижение шероховатости особенно влияет на увеличение усталостной прочности деталей из высокопрочных легированных сталей. Экспериментальное исследование усталостной прочности С.С. Филиным осуществлялось на образцах из стали 30ХГСА, предварительно подвергнутых термической обработке до HRC 35-37, на машине МУИ-6000 с частотой приложения нагрузки 3000 цикл/мин., база испытаний – $2 \cdot 10^6$ циклов. Цилиндрическая поверхность образцов обрабатывалась круглым шлифованием и полированием алмазными эластичными лентами. При этом 10 образцов полировались по 3 мин. и их цилиндрические поверхности, после окончательной обработки, имели систему канавок от предварительного шлифования. Увеличение времени полировки до 5 мин. позволило получить поверхность без следов от предыдущей обработки. Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что предел выносливости образцов при уменьшении их шероховатости от Ra=0,74 мкм до Ra=0,22 мкм в среднем увеличивается на 14%, а срок службы более чем в три раза. Наличие небольших рисок (R'_{max}=1,4 мкм) на полированной поверхности образцов от начальной обработки приводит к уменьшению их усталостной прочности на 3-5%. Увеличение глубины этих рисок с R'_{max}=1,4 мкм до R'_{max}=3,4 мкм приводит, соответственно, к уменьшению усталостной прочности образцов на 4%. Исследования А.А. Маталина и Д.Д. Папшева свидетельствуют о том, что усталостная прочность деталей машин зависит не только от величины шероховатости, но и, в значительной мере, от степени наклепа и остаточных напряжений поверхностного слоя. Остаточные напряжения, их знак и глубина распространения, имеют значительное влияние на ресурс работы деталей, изменяя их усталостную прочность и предел выносливости. Это особенно важно для деталей машин и приборов, работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Многочисленными исследованиями установлено, что при наличии в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия предел выносливости детали повышается, а при наличии остаточных напряжений растяжения – снижается, причем остаточные напряжения сжатия существенно повышают предел выносливости, чем снижают ее такие же по величине остаточные напряжения растяжения. Влияние наклепа на усталостную прочность проявляется только до определенной степени начального наклепа. Если при предварительной обработке поверхности степень пластической деформации поверхностного слоя превышает определенное для данного металла значение, то в металле начинается процесс его роспуска (разрывы межатомных связей по плоскостям скольжения и субмикроскопические нарушения целостности металла), что происходит одновременно с процессом упрочнения, который продолжается. Это явление называется перенаклепом, которое вызывает резкое снижение усталостной прочности деталей, износостойкости и других эксплуатационных свойств. Упрочнение металла до определенных пределов уменьшает амплитуду пластической деформации и предотвращает возникновение субмикроскопических нарушений целостности, порождающих развитие усталостных трещин. Кроме того, создание упрочненного наклепанного поверхностного слоя препятствует увеличению существующих и возникновению новых усталостных трещин. Такой слой может значительно нейтрализовать вредное воздействие внешних дефектов и шероховатости поверхности. Результаты многочисленных исследований [3] показывают, что при наклепе металла, образующегося при точении и полировании, предел выносливости повышается на 20-25% за счет наклепа и на 12-15%

возрастает за счет снижения высоты шероховатости при переходе от точения к полированию. Исследованиями проф. А.А. Маталина установлено, что остаточные напряжения, упрочнение и шероховатость поверхности изменяют предел выносливости в соотношении 1,5×1,25×1,03. В соответствии с исследованиями А.М. Сулимы [1] относительная значимость каждого из параметров качества поверхностного слоя в снижении предела выносливости образцов после шлифования составляет: шероховатость поверхности до 50%; упрочнение поверхностного слоя 40-45%; технологические остаточные напряжения до 5-10%. Это позволяет сделать вывод об отсутствии единого мнения относительно степени влияния того или иного параметра на предел выносливости материала детали. Структурные изменения металла при его механической обработке и, в частности прижоги шлифующихся поверхностей, является серьезной причиной снижения долговечности деталей. Обычно в зонах отпущенного металла, имеющего меньший удельный объем, развиваются остаточные растягивающие напряжения, которые снижают усталостную прочность деталей. При этом на границах участков измененной структуры часто образуются трещины, которые являются центром усталостных разрушений деталей. В работе [5] описаны микроструктурные изменения в поверхностных слоях обработанных закаленных сталей, которые авторы называют белыми и темными слоями. Первый, как правило, толщиной в несколько микрон, является результатом микроструктурных изменений, которые приводят к мартенситной структуры (для стали AISI 52100). Белый слой является нежелательным при изготовлении деталей, поскольку он является твердый и хрупкий. Темный слой имеет большую толщину (20-40 мкм, в зависимости от условий технологического процесса), является мягким и пластичным через присутствие более закаленного мартенсита. Оптимальным является минимальный темный слой с твердостью незначительно ниже, чем в объеме материала.

Таким образом, известны данные о влиянии качества поверхностного слоя, методов и условий обработки на усталостную прочность деталей открывают возможности для создания современных методик технологического обеспечения усталостной прочности, что и разрабатывается в данное время.

1. Сулима А.М. Поверхностый слой и эксплуатационные свойства деталей машин/ А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
2. P.V. Jadhav, D.S. Mankar·Effect of surface roughness on fatigue life of machined component of Inconel 718 // Bharati Vidyapeeth Deemed University College of Engineering (Pune), International Conference vol. 11, 2010, p. 11.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник / А.А. Маталин. – Спб.: Лань, 2008. – 512 с.
4. Рыжов Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / О.В. Рыжов, А.Г.Суслов, В.П.Федоров. – М.: Машиностроение, 1979. – 179 с.
5. D. Umbrello1, A. D. Jayal, S. Caruso1, O. W. Dillon, and I. S. Jawahir Modeling of white and dark layer formation in hard machining of AISI 52100 bearing steel // Machining Science and Technology , vol. 14, 2010, p.128-147.

УДК 51-73

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА С МЕМБРАНОЙ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Белогуров Е.А.[1], Таратын И.А.[2], Хатько В.В. [1]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

[2]ОАО Минский НИИ радиоматериалов, Минск, Республика Беларусь

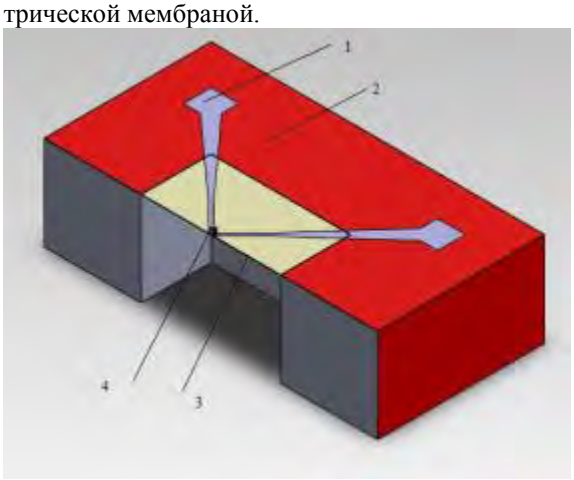
Одним из путей повышения чувствительности и селективности химических (газовых) сенсоров является увеличение эффективной поверхности активного слоя, для чего применяют нанопорошки, специальные методы структурирования поверхности активного слоя, а также использование пористых материалов в качестве основы для нанесения чувствительных слоев. Применение напористых структур позволяет получить сенсоры с развитой поверхностью, имеющие большую эффективную площадь, занимаемую активными чувствительными материалами, и, следовательно, повышенную чувствительность сенсоров. Наиболее перспективным для структурирования газочувствительных пленок является нанопористый анодный оксид алюминия (АОА), представляющий собой упорядоченное скопление гексагональных ячеек с цилиндрическими порами в центре их, геометрическими параметрами которых можно управляемо варьировать путем подбора условий их формирования. Оксид имеет в своей основе упорядоченную структуру, которая улучшает целый ряд его механических свойств: упругость, микротвердость, износостойкость и др. Это делает возможным при использовании микросистемных техно-

логий применять нанопористый АОА в двух вариантах.

В первом варианте в виде тонких пленок (мембран) толщиной ~ 1 мкм, используемых в качестве пассивной диэлектрической основы для последующего нанесения на их поверхность полупроводникового чувствительного слоя или заполнения пор газочувствительным материалом. В этом случае для нанесения диэлектрической пленки целесообразно использовать кремниевые пластины и технологию их микромеханической обработки. Другой вариант – применение АОА в виде подложек толщиной от 50 до 100 мкм как основы для создания химических сенсоров по технологии микромеханической обработки алюмооксида.

Использование в первом варианте изготовления газового сенсора технологии формирования мембран из АОА на подложках кремния, модельные и экспериментальные зависимости изменения пористости алюмооксидных мембран от условий их формирования позволит обеспечить в перспективе изготовление полупроводникового газового сенсора с мощностью потребления ≤ 1 мВт. Моделированию некоторых характеристик данного типа сенсора и посвящена данная работа.

На рис. 1 показана трёхмерная модель газового сенсора на кремнии с двухслойной диэлектрической мембраной.



1 – платиновая металлизация и нагреватель, 2 – кремниевая подложка, 3 – двухслойная диэлектрическая мембрана из нитрида кремния и нанопористого анодного оксида алюминия, 4 – чувствительный слой.

Рисунок 1 – Газовый сенсор на кремнии с двухслойной диэлектрической мембраной

Кремниевая подложка представляет собой параллелепипед с размерами 1,35x1,35x0,38 мм. Двухслойная мембрана имеет размеры 400x400x1,7 мкм (толщина нитрида кремния — 0,8 мкм, толщина алюмооксида — 0,9 мкм). Толщина платины — 0,45 мкм..

На рис. 2 представлена сетка конечных элементов, которая использовалась для моделирования.

В ходе моделирования была решена связанная термоэлектрическая задача для определения вольт-амперной характеристики (ВАХ) газового сенсора, его прогрева при различных значениях приложенного напряжения. Для моделирования входное напряжение задавалось от 0 до 2,25 В, коэффициент поверхностного излучения задавался равным 5 Вт/м^2·К, тепловые потери на излучение в атмосферу задавались равными 70%. Температура окружающей среды равна 293 К.

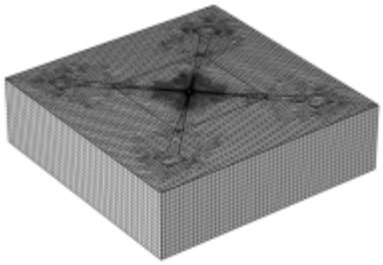


Рисунок 2 – Сетка конечных элементов

На рис. 3 представлены воль-амперные характеристики сенсора, которые получены в результате моделирования и эксперимента. Видно хорошее совпадение результатов моделирования с экспериментом.

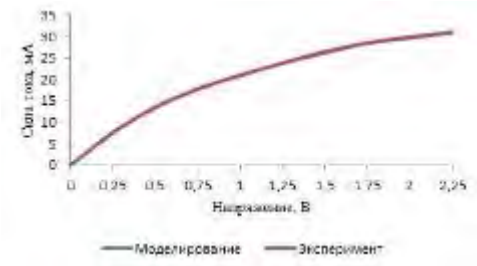


Рисунок 3 – Экспериментальная и полученная в результате моделирования вольт-амперные характеристики сенсора

По результатам моделирования определена зависимость изменения температуры чувствительного слоя газового сенсора с полосковым нагревателем от приложенного напряжения. В качестве чувствительного слоя был выбран слой ITO толщиной 25 мкм. На рис.4 результаты моделирования показаны для подложки с пористостью 50 %, поскольку потребляемая мощность сенсора в диапазоне пористости подложки 0-50 % изменяется незначительно.

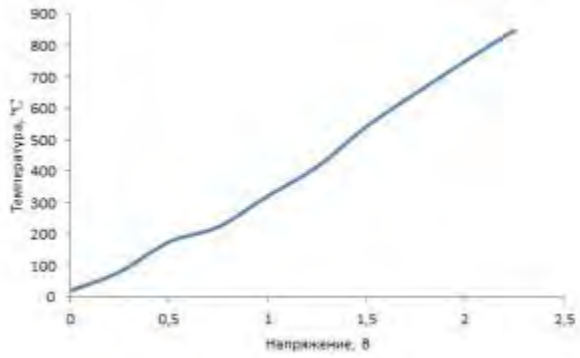
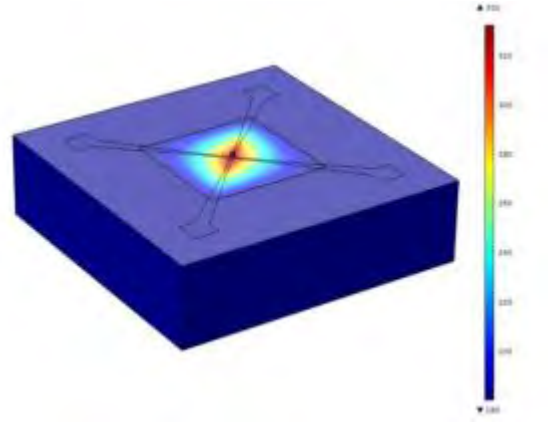


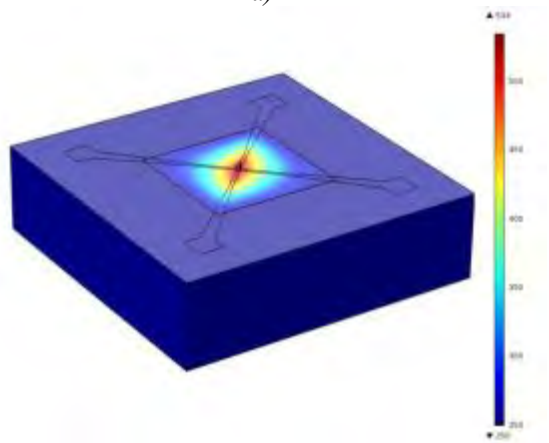
Рисунок 4 – Зависимость температуры чувствительного слоя мембранного сенсора от приложенного напряжения

Совпадение экспериментальной и теоретической ВАХ (рис.3) обусловлено правильным выбором модели материала нагревателя и чувствительного слоя. Также из моделирования видно, что область нагрева локализована только в районе чувствительного слоя, остальная часть сенсора имеет температуру в 2 раза ниже, чем в области чувствительного слоя (рис. 5).

С помощью моделирования методом конечных элементов был исследован нагрев сенсора при разных значениях приложенного напряжения. Согласно результатам моделирования питающее напряжение в диапазоне от 1 до 1,5 В является оптимальным, потому что обеспечивает требуемый нагрев чувствительного элемента. В ходе дальнейших исследований планируется выяснить влияние пористости подложки на прогрев чувствительного элемента, зависимость потребляемой мощности сенсора от пористости, а также определить термомеханические деформации и напряжения в мембране сенсора, которые возникают вследствие его нагрева.



а)



б)

Рисунок 5 – Область нагрева сенсора при питающем напряжении 1 В (а) и 1,5 В (б)

УДК 621.317.39

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОТНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

Белячиц А. Ч.[1], **Титовицкий И. А.**[1], **Сердюк В. М.**[1]
[1]*Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко БГУ*
Минск, Республика Беларусь

В процессе производства бумажных материалов большое внимание уделяется контролю их влажности и плотности на всех технологических этапах. Эти две характеристики решающим образом влияют на качество производимой продукции, поэтому проблема повышения качества для целлюлозно-бумажной промышленности в значительной степени сводится к внедрению эффективных систем контроля влажности и плотности бумаги. Основой таких систем служат датчики измерения данных параметров производимого материала, которые должны обладать высокой точностью измерений, стабильностью работы при разных температурах, а также возможностью работы в непрерывном режиме постоянного движения тестируемого бумажного полотна. В наибольшей степени подобным требованиям удовлетворяют электродинамические датчики влажности и плотности. Они используют явление изменения параметров электромагнитного поля при внесении в него диэлектрического материала. Это изменение может проявляться в виде изменения коэффициента прохождения среды, либо в виде изменения частоты электромагнитных колебаний, если в качестве измерительного прибора выступает резонатор. В настоящей работе излагаются основные проблемы, связанные с разработкой и применением

электродинамических датчиков влажности резонаторного типа в реальных производственных условиях, и возможные пути их разрешения.

Принцип работы таких датчиков сводится к измерению резонансной частоты резонатора, которая зависит от комплексной диэлектрической проницаемости материала, контактирующего с резонансным полем [1]. Само это поле сосредоточено главным образом внутри объемного резонатора, а наружу оно может проникать только через щели, которые прорезаются в резонаторе для обеспечения непрерывной подачи бумажного полотна поперек резонатора [2]. По этой причине резонаторные методы измерения влажности характеризуются низкими потерями электромагнитной энергии, бесполезно излучаемой в окружающее пространство. К другим достоинствам резонаторных датчиков можно отнести следующие. Во-первых, они используют электромагнитное излучение с длиной волны несколько сантиметров и более, что намного превышает характерные размеры неоднородностей строения таких материалов, как бумага, ткань, зерно, цемент и т.д. В результате резонансное поле не реагирует на такие неоднородности и чувствует только усредненные диэлектрические параметры исследуемого материала. Это позволяет создавать универсальные микроволновые резонаторные датчики, способные без существенной перенастройки работать с широким набором самых разнообразных материалов. Во-вторых, в СВЧ-диапазоне величина диэлектрической проницаемости воды не менее чем в 20 раз превышает величину диэлектрической проницаемости подавляющего большинства других веществ. Поэтому малое изменение ее количества внутри влагосодержащего материала приводит к заметному изменению его результирующей диэлектрической проницаемости. В результате резонаторный метод позволяет достичь очень высокой точности измерения влагосодержания, вплоть до сотых и тысячных долей процента.

Высокая чувствительность резонаторных датчиков имеет и свою негативную сторону, обусловленную заметной нестабильностью их показаний при изменении внешних условий, таких как температура окружающей среды, запыленность, влажность воздуха и т.д. Поэтому для обеспечения стабильных режимов работы резонаторных приборов измерения влажности в промышленных условиях используется двухмодовый режим возбуждения волн в резонаторе. Его суть заключается в том, что в одном и том же резонаторе возбуждаются два типа колебаний, один из которых взаимодействует с исследуемым материалом, а другой нет. Например, для прибора измерения влажности листовых материалов первый тип – это мода цилиндрического резонатора, имеющая пучность электрического поля на такой высоте, где прорезана кольцевая щель и проходит листовой диэлектрик, а другой, невзаимодействующий тип колебаний представлен модой, имеющей узел электрического поля в данном месте. При изменении температуры окружающей среды происходит одновременный сдвиг резонансных частот для каждой из этих двух мод, что позволяет свести к минимуму влияния температуры на точность проводимых измерений.

Самой серьезной проблемой электродинамического метода измерения влажности различных материалов является необходимость определения еще одного параметра тестируемого материала – плотности [3]. Речь идет о собственно объемной плотности, и о поверхностной плотности, обусловленной вариациями толщины плоского материала; именно этот параметр бумажного полотна влияет на его качество. Дело в том, что изменения влагосодержания и плотности в равной мере влияют на изменение диэлектрической проницаемости вещества, а потому разделить их вклады в изменение резонансной частоты датчика представляется затруднительным. Исходя из простой логики, для измерения двух параметров материала – влажности и плотности – одного измеряемого параметра – резонансной частоты – недостаточно, надо измерять еще один параметр, например, добротность колебаний в резонаторе, которая определяет степень их затухания. Проблема в том, что до недавнего времени добротность измерялась с очень невысокой точностью, на три-четыре порядка меньшей, чем резонансная частота. Со временем были предложены несколько способов решения данной проблемы. Первый способ сводится к непосредственному измерению плотности материала независимым методом, например, с помощью его радиационного просвечивания [4]. Второй вариант предполагал применение не одной рабочей резонансной частоты, а двух таких частот, которые несколько отличаются друг от друга, для двух различных мод резонатора, которые возбуждаются одновременно [5]. Вода обладает достаточно сильной частотной дисперсией, и вследствие этого одно и то же изменение влагосодержания по-разному влияет на соответствующие изменения частот этих двух мод. Таким образом, зная зависимость резонансной частоты колебаний от влажности тестируемого материала, которая обычно устанавливается в результате тщательной калибровки, можно составить систему двух независимых уравнений с двумя неизвестными параметрами и определить искомые значения влажности и плотности.

Наконец, еще один способ преодоления основной проблемы влагометрии, и, вероятно, самый перспективный, наметился в результате

улучшения методики измерения добротности резонаторных колебаний, что связано с быстрым развитием электроники в последнее время, и разработки более совершенных алгоритмических методов обработки результатов измерений. В результате применения таких методов удается повысить точность измерения добротности на два-три порядка, а этого оказывается достаточно для достижения приемлемой точности определения влажности и плотности в реальных производственных условиях.

Следует упомянуть еще одну актуальную для производства проблему, связанную уже не с датчиками как таковыми, а с технологией их применения. Ширина тестируемого бумажного полотна бумагоделательной машины довольно велика (несколько метров), а размеры датчика малы. Поэтому приходится периодически смещать датчик поперек полотна, чтобы он сканировал его поверхность. Но полотно тоже постоянно движется в продольном направлении, так что появляются большие зоны его поверхности, не подверженные измерениям. Проблема состоит в том, как в результате такого зигзагообразного движения датчика по поверхности бумажного полотна получить более-менее достоверную картину пространственного распределения влажности и плотности. Для этого приходится разрабатывать специальные программно-алгоритмические методы обработки измеряемых данных, которые дают вероятностное распределение на основе рассчитанной погрешности и истории измерений.

1. Nyfors E., Vainikainen P. Industrial microwave sensors. – Norwood: Artech Hous, 1989. – 352 pp.
2. Kukharchik P.D., Serdyuk V.M., Titovitsky J.A. Diffraction of hybrid modes in a cylindrical cavity resonator by a transverse circular slot with a plane anisotropic dielectric layer // Progress In Electromagnetics Research B. – 2008. – Vol. 3. – P. 73–94.
3. Kupfer K. Methods of density-independent moisture measurements // Electromagnetic Aquametry. Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances. Edited by Klaus Kupfer. – Berlin: Springer, 2005. – P. 135–168.
4. Ермакович О.Л., Курило Н.И., Лисовский Г.А., Титовицкий И.А. Снижение позиционной чувствительности радиоизотопного плотномера к положению листового материала в измерительном зазоре // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: Материалы междунар. научн.-практ. конф. /Редкол.: Хрусталев Б.М. (гл. ред.). – Минск: Бизнесофсет, 2013. – С. 77–78.
5. Okamura S., Zhang Y. New method for moisture content measurement using phase shift at two microwave frequencies // Journ. Micr. Power Electrom. Energy. – 2000. – Vol. 35. No 3. – P. 175–178.

УДК. 62-238.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

Бержанин Д.А.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Жесткая конкуренция на рынке предъявляет все более высокие требования к срокам разработки и поставки готовых изделий. В этих условиях моделирование на ранних этапах проектирования позволяет значительно сократить сроки освоения изделия.

Одним из важнейших показателей надежности устройства, закладываемого на этапе проектирования, является виброустойчивость в заданных частотах. Обычно заранее известно в каком частотном диапазоне устройство должно быть работоспособно. Поэтому на этапе проектирования необходим анализ свободных механических колебаний, который проводится с целью определения собственных частот и форм колебаний элементов конструкции. Расчет свободных механических колебаний проводится без учета динамических нагрузок, но является первым и обязательным шагом при решении более сложных динамических задач.

В качестве системы, позволяющей применить метод конечных элементов для поиска и анализа значений собственных частот и форм волн, выбран пакет ANSYS. Методика анализа колебаний включает: создание геометрической модели, задание свойств материалов и граничных условий, настройка опций расчета, выбор варианта закрепления конструкции (при необходимости), просмотр и анализ результатов.

Дифференциальное уравнение свободных колебаний является частным случаем общего уравнения движения [1]:

$$[M]\{\ddot{x}\}+[K]\{x\}=0\ , \qquad (1)$$

где М – масса, К – коэффициент упругости.

В анализе свободных колебаний предполагается упругое поведение конструкции, поэтому ожидаемый отклик является гармоническим [1]:

$$\{x\} = \{\phi_i\}\cos(\omega_i t) \quad , \qquad (2)$$

где ϕ_i определяет форму колебаний i-ой моды (собственный вектор) и ω_i является собственной частотой это моды.

Поставив (2) в (1) получим уравнение, по которому рассчитывают свободные колебания элементов конструкции электронной системы:

$$([K]-\omega_i^2[M])\{\phi_i\} = 0 \, . \qquad (3)$$

При расчете свободных колебаний закрепление конструкции не является обязательным условием расчета, как в задачах статики; форма свободных колебаний вычисляется в относительных единицах и не позволяет определить абсолютные смещения [2].

При анализе свободных колебаний к конструкции не прикладываются нагрузки, поэтому для расчета необходимо знать только модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность материалов (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства материалов

Материал	Модуль Юнга, МПа	Коэфф. Пуассона	Плотность, кг/м^3
Сталь	210000	0,3	7800
Алюминий	74000	0,34	2700
Полиамид	3000	0,31	1200
Оргстекло	31000	0,35	1200
Стеклотекстолит	21000	0,22	2050
Резина	900	0,5	1000
Пластик	1400	0,37	1000
ПЭТФ	3500	0,4	2100

В данном анализе объекты, напрямую не влияющие на прочность устройства и имеющие незначительные массы, представлены условно. Платы печатные с элементной базой также изображены условно, так как они не выполняют несущих функций, а массовые характеристики элементной базы не оказывают значительных влияний на расчет, то их физические свойства, необходимые для расчета, усреднены.

В анализе свободных вибраций не задаются конструкционные и тепловые нагрузки, которые могут быть учтены только как предварительные, в данном анализе расчет ведется при температуре 22 °C.

В заданном диапазоне частот (от 0 до 150 Гц) при анализе было выявлено 6 резонансных частот. Три первых выявленных резонансных частоты очень близки к 0 Гц. Это частоты, соответствующие жесткому движению конструкции. В отличие от статического линейного анализа при расчете свободных вибраций предотвращение жесткого движения тел не является обязательным условием [2]. Таким образом, информативными являются только три резонансных частоты (табл. 2).

Таблица 2 – Резонансные частоты

Резонанс	Частота, Гц
1	30,1
2	81,8
3	97,6

Первый резонанс панели мобильной электронной системы приходится на частоту 30,1 Гц. При такой частоте максимум колебаний приходится на углы устройства, минимум – на геометрический центр, при этом колебания имеют кольцевую направленность фактически параллельную лицевой плоскости устройства (рис. 1).

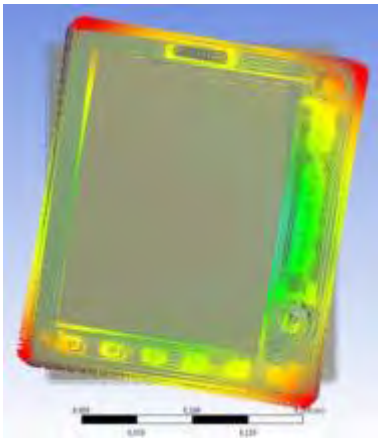


Рисунок 1 – Распределение амплитуды и направленность колебаний на резонансной частоте 30,1 Гц

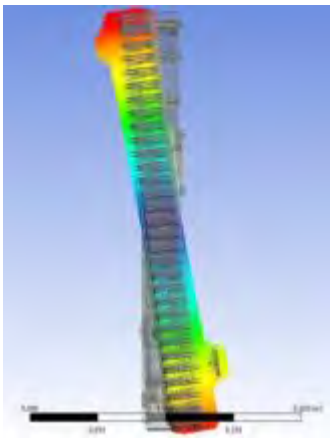


Рисунок 2 – Распределение амплитуды и направленность колебаний на резонансной частоте 81,8 Гц

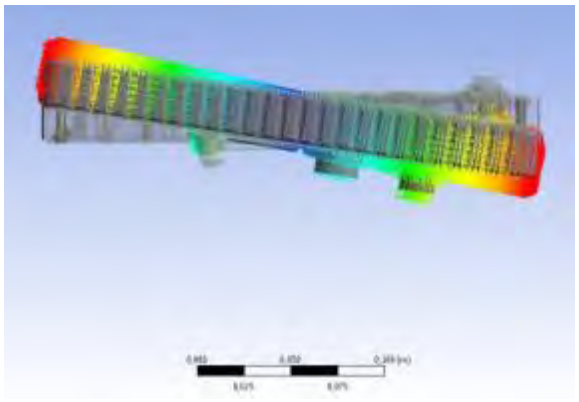


Рисунок 3 – Распределение амплитуды и направленность колебаний на резонансной частоте 97,6 Гц

Соответствующие частотам 81,8 Гц и 97,6 Гц формы колебаний (смещения), изображены на рис. 2 и 3. На всех рисунках также изображено отклонение от изначального положения.

Поскольку не вычисляется возбуждение конструкции внешними силами, в расчетных результатах представляется относительная форма свободных колебаний.

Полученные данные позволяют судить о возможных возникающих напряжениях в устройстве.

Так на резонансной частоте 30,1 Гц наибольшие механические напряжения приходятся на элементы крепежа, выполняющие несущие функции, внутри устройства, так как они расположены перпендикулярно направлению колебаний. Несущие металлические пластины, находящиеся с лицевой и обратной стороны устройства, имею минимальное напряжение и не подвержены колебаниям по меньшему габаритному размеру (по оси Z).

На резонансных частотах 81,8 Гц и 97,6 Гц напряжения будут возникать на несущих пластинах, так как колебания направлены на их изгиб по меньшему габаритному размеру (по оси Z) и элементах крепежа, оси которых перпендикулярны направлению колебаний.

1. Прохоров, А.М. Физическая Энциклопедия. В 5 т. Т.2. Добротность – магнитооптика / А.М. Прохоров. – М. : Советская энциклопедия, 1990. – 703 с.
2. Kent, L.L. Ansys Workbench Tutorial / L.L. Kent . Arlington: University of Texas, 2005. – 76 p.

УДК 535.376

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕПЛОВОЙ НАРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕТОДИОДОВ

Бумай Ю.А.[1], Бобученко Д.С.[1], Доманевский Д.С. [1], Манего С.А.[1], Трофимов Ю.В.[2], Цвирко В.И.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси» Минск, Республика Беларусь

Рассмотрено изменения электрических и оптических параметров светодиодов (СИД) Nichia, происшедших в процессе тепловой наработки, и светодиода Helio, происшедших в результате воздействия ультразвукового излучения (УЗ). Была проведена обработка УЗ на частотах f = 84,5 кГц и f = 117,6 кГц синего СИД Helio. Время обработки составляло 15 минут на каждой из двух выше указанных частот. Тепловые испытания для СИД Nichia проведены при температуре печи 100 °С в течение 400 часов при токе через СИД 35 мА.

В результате тепловой наработки оптические параметры светодиодов Nichia изменились существенно, что видно на рисунках 1 и 2, на которых приведены распределения спектрального потока излучения от энергии фотона для двух светодиодов. Кривые 1 и 2 соответствуют спектрам после тепловой наработки (1 – для тока 10 мА, 2 – для тока 20 мА), кривые 3, 4 – соответствуют исходным спектрам до тепловой наработки (3 – для тока 10 мА, 4 – для тока 20 мА). КПД для первого светодиода изменились от 9 % (10 мА), 7,3 % (20 мА) до тепловой наработки до 2,6 % (10 мА), 2,0 % (20 мА) после тепловой наработки. Также изменилась световая отдача. Значения этих изменений следующие: от 6,3 лм/Вт (10 мА); 4,8 лм/Вт (20 мА) до 1,9 лм/Вт (10 мА); 1,4 лм/Вт (20 мА).

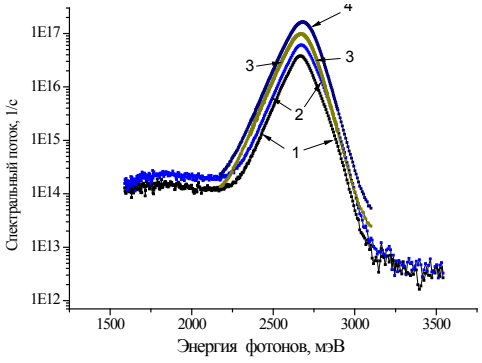


Рисунок 1 – Распределение спектрального потока излучения от энергии фотона для светодиода Nichia NSPB500S (СИД1)

На рисунке 1 (1) – после тепловой обработки; (3) – исходный; ток 10 мА; (2) – после тепловой обработки; (4) – исходный; ток 20 мА.

Изменения тех же параметров для второго светодиода примерно такие же.

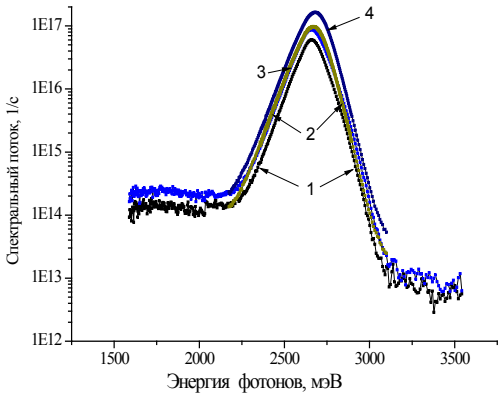


Рисунок 2 – Распределение спектрального потока излучения от энергии фотона для светодиода Nichia NSPB500S (СИД2): (1) – после тепловой обработки; (3) – исходный; ток 10 мА; (2) – после тепловой обработки; (4) – исходный; ток 20 мА

На рисунке 3 приведено распределение спектрального потока излучения от энергии фотона до ультразвукового воздействия (2) и после (1) для тока 100 мА для светодиода Helio.

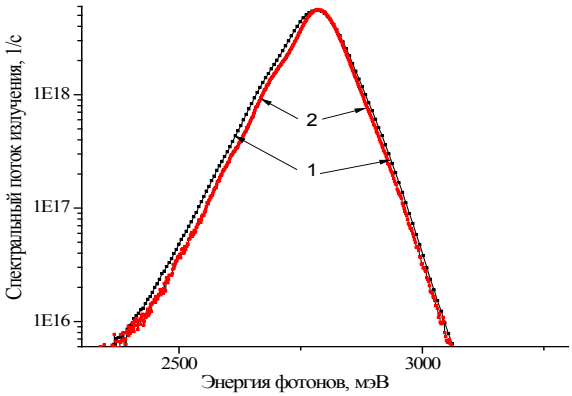


Рисунок 3 – Распределение спектрального потока излучения от энергии фотона для светодиода Helio

Воздействие ультразвукового излучения на светодиод Helio не привело пока к заметному изменению оптических параметров. При этом КПД даже увеличилось от 39,4 % до 44,7 %.

Рассмотрены изменения электрических свойств светодиодов синего свечения Nichia NSPB510S (СИД1, СИД2), происшедших в процессе ускоренных тепловых испытаний и светодиода Helio, происшедших в результате воздействия ультразвукового излучения.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) СИД Nichia приведены на рисунке 4.

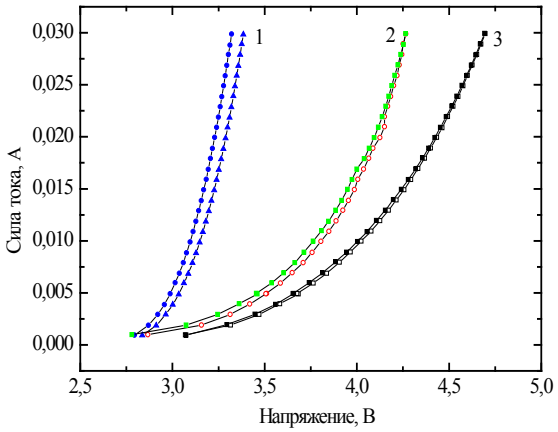


Рисунок 4 – Вольтамперные характеристики СИД Nichia до и после ускоренных тепловых испытаний: (1) – до ускоренных тепловых испытаний; (2) – после ускоренных тепловых испытаний СИД1; (3) – после ускоренных тепловых испытаний СИД2

Кривые 1 иллюстрируют разброс ВАХ по всей партии СИД. Различие прямого напряжения на токе 30 мА не превышает 60 мВ. После тепловых испытаний ВАХ обоих светодиодов изменилась значительно (кривые 2, 3), что проявляется в существенном увеличении прямого напряжения для получения необходимого тока. Такое поведение может быть обусловлено как увеличением последовательного сопротивления СИД (возможно из-за изменений сопротивления контактов), так и повышением энергетических барьеров, связанных с ростом плотности интерфейсных состояний (которые являются к тому же центрами безызлучательной рекомбинации). Необходимо отметить, что при этом наблюдается достаточно хорошая воспроизводимость ВАХ при повторных измерениях, хотя у СИД1 наблюдаются нестабильности в области высоких токов.

Необходимо отметить, что деградация маломощных СИД Nichia при близких по режимам ускоренных тепловых испытаниях происходит гораздо быстрее, чем мощных СИД Helio, для которых характерен отказ, появляющийся из-за электрического пробоя между электродами, происходящим по краю линзы - рассеивателя. До пробоя ВАХ СИД Helio изменяются слабо.

После ультразвуковых испытаний ВАХ СИД Helio практически не изменился. В описанных выше спектральных исследованиях отмечалось небольшое увеличение КПД СИД Helio после ультразвуковой обработки, что свидетельствует о положительном его воздействии для выбранных режимов (в том числе промежутке времени обработки). Небольшое улучшение произошло и

в тепловых свойствах СИД Helio (снижение теплового сопротивления).

При деградационных испытаниях СИД на основе нитридов, проводимых ранее [1], отмечалось, что для первых ~1000 часов работы наблюдается улучшение КПД СИД. В связи с этим, можно предположить, что выбранные нами режимы соответствуют данному промежутку времени функционирования СИД.

Необходимо отметить также, что механическое напряжение для размножения дислокаций в СИД на базе нитридов составляет $\sigma_o = 2{,}8$ МПа (280 г/мм^2), мощность ультразвуковой волны для этого можно найти по формуле [2]

$$P = \frac{\sigma_o^2 f}{E_p} V_p .$$

В нашем случае частоты ультразвука составляли $f = 84{,}5$ кГц и $f = 117{,}6$ кГц, модуль Юнга и объем пьезокерамики $E_p \approx 7\ 10^{10}$ Па, $V_p = 1{,}884\ 10^{-5}$ м^3 (диаметр 40 мм, толщина 15 мм).

Следовательно, минимальная мощность ультразвуковой волны, необходимая для эффективного размножения дислокаций, составляет достаточно большую величину ~180 – 250 Вт. Ввиду этого эффект ультразвука в нашем случае оказался не очень заметным.

1. Полищук, А. Деградация полупроводниковых светодиодов на основе нитрида галлия и его твердых растворов / А. Полищук, А. Туркин // Компоненты и технологии. – 2008. – № 2. – С.25–27.
2. Рабинович, О.И. Моделирование электрических и оптических характеристик светоизлучающих диодов на основе многокомпонентных гетероструктур AlGaInN: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук: 01.04.10 / О.И. Рабинович; Рос. технолог. ун-т. – М., 2008. – 28 с.

УДК 621

ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ ГРАФИТА В ЭТАНОЛЕ

Босак Н.А.[2] , Журавлева В.И.[3], Короза А.Г. [2], Маркевич М.И. [1], Чапланов А.М. [1], Щербакова Е.Н. [4]

[1]Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск,Республика Беларусь
[2]Институт физики им. Б.И. Степанова, НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь.
[3] Военная академия Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь
[4]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Введение. Дальнейший прогресс в получении материалов с новыми свойствами связан с такими изменениями в структуре, которые оказывают влияние на фундаментальные свойства объектов. Наиболее перспективное научное направление в области физического материаловедения связано с созданием и изучением структуры и свойств материала, который получен из частиц нанометрового диапазона.

В последние годы было обнаружено, что уменьшение размера частиц в материале может приводить к существенному изменению их свойств [1]. Такие изменения появляются, когда средний размер кристаллических зерен не превышает 100 нм.

Важным фактором, который оказывает большое влияние на химические и физические свойства наночастиц, является возрастание в них относительной доли «поверхностных атомов», находящихся в других условиях, как следствие этого происходит изменение характера взаимодействия между атомами, что делает наночастицу способной эффективно взаимодействовать с химическими соединениями.

Существуют различные способы получения наночастиц. Наиболее эффективный из них основан на получении частиц из компактных твердых материалов: испарение – конденсация, механическое дробление, лазерная абляция [2].

Результаты и их обсуждение. Для абляции материала использовали лазер с длиной волны 1064 нм (лазер на алюмоиттриевом гранате), генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс).

Образованная в результате испарения вещества горячая абляционная плазма под действием первого импульса создает в приповерхностном слое область с повышенной температурой и пониженной плотностью частиц воздуха [3], поэтому вещество, которое поступает в эту область после второго импульса, практически не вступает во взаимодействие с кислородом, азотом и другими элементами окружающего воздуха [3].

Мишень из графита помещалась в этанол, плотность мощности составляла $5 \cdot 10^9$ Вт/см^2, лазерный пучок фокусировался на поверхности графита в пятно диаметром 0,5 мм. В качестве основных методов исследования структуры и фазового состава образцов применялись электронография и метод комбинационного рассеяния света. На рисунке 1 показан КР - спектр исходной мишени.

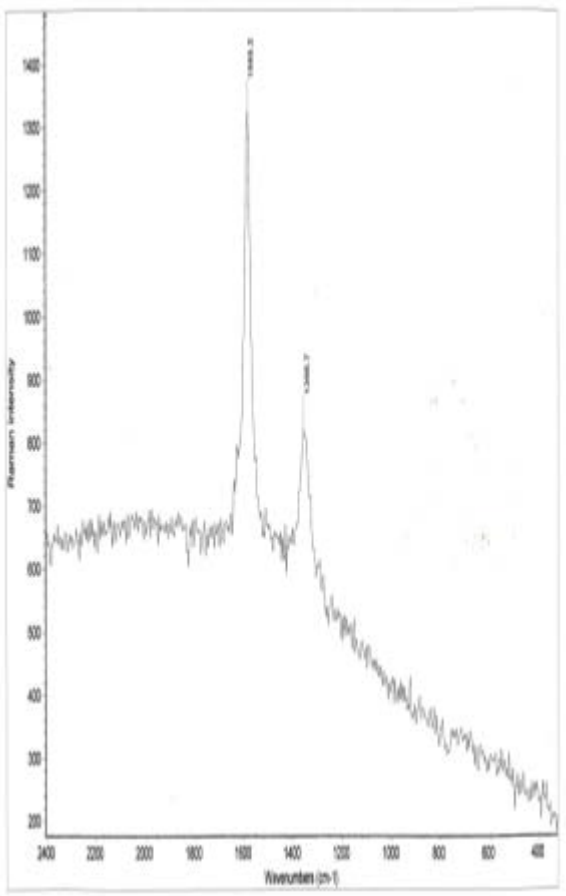


Рисунок 1 – КР – спектр исходной графитовой мишени

На спектрах максимум полосы *D* расположен в окрестности 1343 $см^{-1}$, а максимум *G* полосы наблюдается в окрестности 1586 $см^{-1}$. Известно, что спектры КР, содержащие *D* и *G* полосы, характерны для наноструктурированного углеродного материала [4].

Лазерная абляция графитовой мишени в этаноле приводит к окрашиванию жидкости в серый цвет, образуется суспензия дисперсных наночастиц, по истечении времени и испарении жидкости происходит их агломерация.

На рисунке 2 представлена электронограмма от агломерированных частиц.

Исследование проводились методом электронографии на просвет (электронограф малоугловой регистрирующий ЭМР-102). Постоянную прибора определяли путем калибровки, используя образец с известными параметрами кристаллической решетки. В качестве калибровочного эталона были выбраны поликристаллические образцы окиси магния, дающие четкую кольцевую электронограмму.

Для идентификации электронограмм от агломерированных частиц использовали базу данных «The International Centrefor Diffraction Data». Фазовый состав частиц соответствует кристаллическому графиту с гексагональной решеткой. Как следует из электронограммы, при абляции мишени графита в этаноле образуются наночастицы графита размером ~10-15 нм, а также присутствуют кристаллические частицы размером более 1 мкм, о чем свидетельствует присутствие на электронограмме отдельных четких рефлексов.

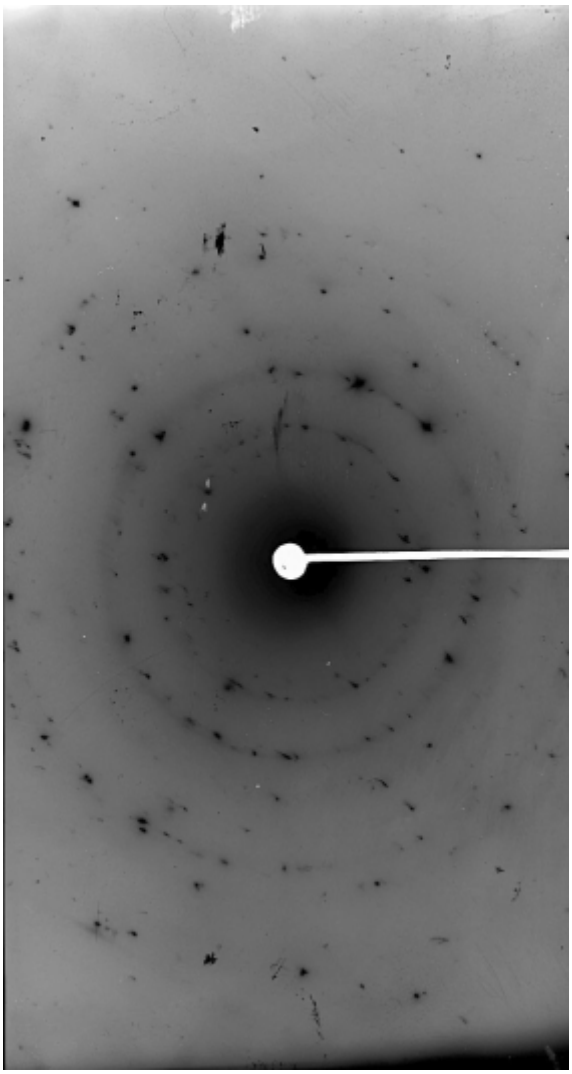


Рисунок 2 – Электронограмма частиц, полученных после лазерной абляции

Заключение. При импульсной лазерной абляции графита в этаноле в двухимпульсном режиме (длительность импульсов 10 нс, временная задержка между импульсами 3 мкс, плотность мощности $5 \cdot 10^9 Вт/см^2$, диаметр пучка 0.5 мм) формируется суспензия из наночастиц, которые подвержены агломерации.

Фазовый состав частиц соответствует кристаллическому графиту с гексагональной решеткой. Частицы могут использоваться для композиционных покрытий, содержащих в составе высокодисперсные частицы.

1. Витязь, П. А. Наноструктурные материалы/ Витязь П.А.// Беларусь – Россия. Минск. 2004. С. 7.
2. Симакин, А. В., Воронов, В. В., Шафеев, Г. А. Образование наночастиц при лазерной абляции твердых тел в жидкостях/. Симакин А. В., Воронов В. В., Шафеев Г. А. //Труды института общей физики им. Прохорова.- 2004. -Т. 60.- С. 83-107.
3. Scaffidi, J., Cremers, D.A., Angel, S.M. Laser-Induced Breakdown Spectroscopy/ Scaffidi J., Cremers D.A., Angel S.M.//Elsevier.-2007.- P.137.
4. Агеев, С.П., Горбачук, Н.И., Дидковский, Я.И., Последович, М.Р., Обухов, В.Е, Шпак, Е.П. Диагностика пленок алмазоподобного углерода методом комбинационного рассеяния/ Агеев С.П., Горбачук Н.И., Дидковский Я.И., Последович М.Р., Обухов В.Е, Шпак Е.П.//9-ая Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом». - Минск. -2011.-С.397-398.

УДК 546.28: 621.315.592

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР ФОТОРЕЗИСТ ФП9120 – КРЕМНИЙ

Бринкевич Д.И.[1], Оджаев В.Б.[1], Просолович В.С. [1], Янковский Ю.Н. [1], Вабищевич С.А. [2], Вабищевич Н.В. [2], Черный В.В. [3]

[1]Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Республика Беларусь
[3]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Повышение степени интеграции предъявляет высокие требования к блоку операций фотолитографии. Так, если при формировании элементной базы по n-МОП технологии применяется до 10 операций фотолитографии, то при формировании элементной базы по БИКМОП технологии используется до 22 операций фотолитографии [1]. В качестве масок в процессах субмикронной литографии важную роль играют диазохинон-новолачные (ДХН) резисты [2]. В частности, позитивный фоторезист ФП9120, который представляет собой композит из светочувствительного О-нафтохинондиазида и фенол-формальдегидной смолы, широко используется в современной полупроводниковой электронике в качестве защитного светочувствительного материала в прецизионных фотолитографических процессах. Целью настоящей работы являлось исследование прочностных свойств пленок фоторезиста марки ФП9120 различной толщины, нанесенных на пластины кремния различных марок.

Пленка фоторезиста толщиной от 1,0 до 5,0 мкм наносилась на поверхность пластин кремния различных марок (табл.1) методом центрифугирования. Толщина h пленки фоторезиста определялась скоростью вращения и составляла: 1,0 мкм при скорости вращения v = 8300 об/мин; 1,75 мкм – при v = 2900 об/мин; 2,4 мкм – при v = 1200 об/мин. Пленки толщиной h = 5,0 мкм формировались в две стадии с v = 1800 об/мин на обоих стадиях. Толщина пленок фоторезиста контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 по 5 фиксированным точкам (центр, верх, низ, слева, справа) на каждой пластине, при этом отклонения от среднего значения не по пластине для всех исследовавшихся образцов (независимо от ориентации и легирования пластины) не превышали 2 %, что близко к погрешности измерений.

Морфология поверхности модифициро-ванной имплантацией полимерной плёнки исследовалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) при комнатной температуре в полуконтактном резонансном режиме на частоте 145 кГц на приборе Solver P-47. Использовались кантеливеры серии NSG 01 с радиусом закругления 10 нм. Характерные АСМ изображения поверхности фоторезиста приведены на рис.1. Значения средне-арифметической шероховатости R_a усреднялись по результатам не менее чем 10 измерений в различных точках образца и варьировались в пределах 0,18 – 0,30 нм для всех исследовавшихся образцов. Существен-ной зависимости величины шероховатости от типа кремниевой подложки и толщины слоя фоторезиста не наблюдалось.

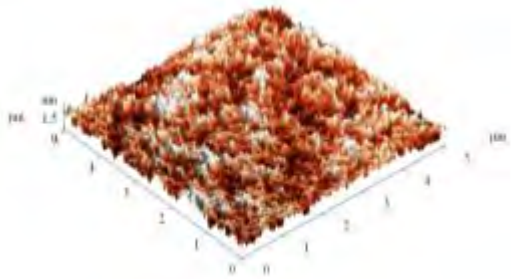


Рисунок 1 – Характерные АСМ изображения поверхности фоторезиста в режиме 3D топографии

Исследование прочностных свойств структур фоторезист-кремний проводилось методом микроиндентирования на приборе ПМТ-3 по стандартной методике при комнатной температуре. В качестве индентора использовался алмазный на-

конечник в форме четырехгранной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине α = 136°. Нагрузка (Р) на индентор варьировалась в пределах 2-100 г. При малых нагрузках (1, 2 г) измерения проводились также методом склерометрии. При каждом измерении на поверхность образца наносилось не менее 50 отпечатков и проводилась обработка результатов измерений с использованием методов математической статистики по методике, изложенной в [3]. Это обеспечивало погрешность измерений микротвердости менее 2,5 % (с доверительной вероятностью 0,95).

На основе полученных эксперимен-тальных данных можно сделать следующие выводы:

Зона разрушения у отпечатка возрастает по мере приближения индентора к границе раздела фоторезист- кремний и при пересечении этой границы выходит на стационарное значение. Средний диаметр зоны разрушения возрастает при увеличении толщины фоторезистивной пленки (рис.2)

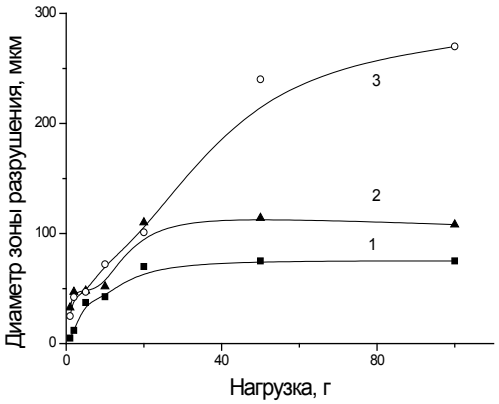


Рисунок 2 – Зависимость диаметра зоны разрушения вокруг отпечатка от величины нагрузки для структур фоторезист-кремний марки КДБ-12 (100). Толщина пленки фоторезиста, мкм: 1 – 1,8; 2 – 2,5; 3 – 5,0.

Существенной зависимости диаметра зоны разрушения от ориентации кремниевой подложки и уровня ее легирования не наблюдалось. Следует отметить, что зона разрушения фоторезиста на кремнии n-типа (кривые 2 и 3 рис.3) была несколько выше, чем в пленке на p-Si (кривая 1 рис.3).

Также не обнаружено влияния подложки и толщины пленки на микротвердость Н фоторезиста – для всех образцов при минимальной нагрузке 2 г величина микротвердости составляла ~ 0,2 ГПа (рис.4).

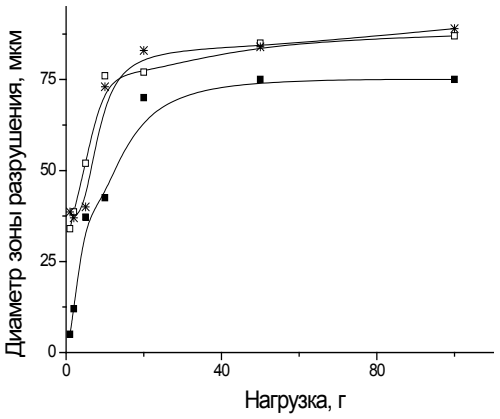


Рисунок 3 – Зависимость диаметра зоны разрушения вокруг отпечатка от величины нагрузки для пленок фоторезист толщиной 1,8 мкм на кремнии различных марок: 1 - КДБ-12 (100); 2 – КЭФ-4,5(100); 3 – КЭС-0,01 (111).

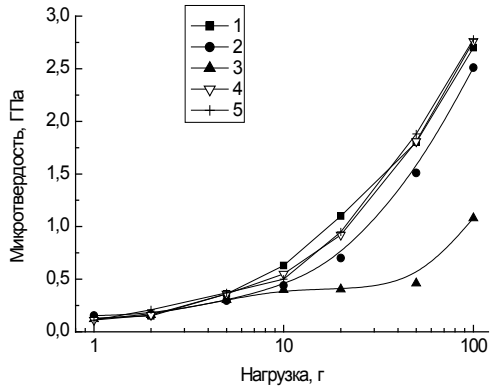


Рисунок 4 – Зависимость микротвердости от нагрузки для структур фоторезист-кремний

При увеличении нагрузки по мере приближения индентора к границе раздела фоторезист-кремний микротвердость структуры (или другими словами ее сопротивление вдавливанию) возрастает. Резкий рост величины Н наблюдается при проникновении индентора в кремниевую подложку - для пленок толщиной 1,8 мкм при нагрузках 20 г и выше (рис.4 кривые 1-3). Для пленки толщиной 5,0 мкм такой критической нагрузкой является 50 г (кривая 5 рис.4).

1. Гранько С.В., Волк С.А., Леонтьев А.В., Комаров Ф.Ф., Камышан А.С. Применение фоторезистивных масок для маскирования ионного пучка в технологии КМОП-интегральных схем // Вестник Нижегородского университета. Сер. Физика. – 2001. – № 2. – С.41-47.
2. Моро У. Микролитография. Принципы, методы, материалы. В 2-х ч. Ч.2. – М.: Мир,

1990. – 632 с. (Moreau W.M. Semiconductor lithography. Principles, practices and materials. N.Y., London: Plenum Press)
3. Бринкевич Д.И., Вабищевич Н.В., Просолович В.С. Микромеханические свойства эпитаксиальных слоев GaP, легированных редкоземельным элементом диспрозием // Неорганические материалы. – 2012. – Т.48, № 8. – С.878-883.

УДК 621.371

ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ ЭКРАНЫ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ ПОЛОСКОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Будай А.Г.[1], Кныш В.П.[1], Малый С.В.[2], Рудницкий А.С.[2]
[1]Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем БГУ, Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Частотно-селективные поверхности (ЧСП) широко используются на практике в качестве экранов зеркальных антенн, стенок антенных обтекателей и укрытий, поляризационных фильтров, средств радиомаскировки, для решения задач электромагнитной совместимости [1].

ЧСП представляют собой периодические решетки проводящих или апертурных элементов, расположенных в узлах периодической решетки (прямоугольной или гексагональной). Наибольший интерес представляют ЧСП в виде периодических решеток отверстий, перфорированных в плоских проводящих экранах конечной толщины. Угловые, частотные и поляризационные свойства ЧСП зависят от формы элементов, толщины экрана, типа периодической решетки.

В настоящее время совершенствование ЧСП осуществляется в двух основных направлениях: уменьшение периодов решетки и размеров элементов; расширение функциональной нагрузки на ЧСП [2,3].

В оптике большое внимание уделяется эффекту аномально высокого прохождения электромагнитного излучения через периодическую решетку из отверстий малых волновых размеров, перфорированных в тонком металлическом экране.

В докладе рассмотрен новый тип ЧСП, период которой включает два четверть волновых полосковых резонатора и отверстие в экране. Геометрия исследуемой ЧСП представлена на рисунке 1.

Электромагнитные свойства ЧСП исследовались в рамках вычислительного эксперимента на основе метода минимальных автономных блоков [4-7]. Исходная дифракционная задача сводилась к электродинамически эквивалентной о рассеянии плоской электромагнитной волны на неоднородности, расположенной в волноводе, выделяющем период решетки, как показано на рисунке 2.

На стенках волновода накладываются периодические граничные условия, связанные с направлением распространения падающей на решетку электромагнитной волны.

Рисунок 1 – Частотно-селективная поверхность на связанных полосковых резонаторах

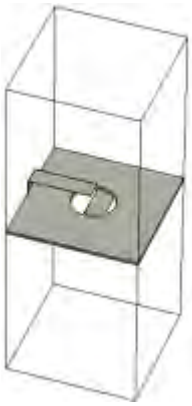


Рисунок 2 – Эквивалентный пространственный волновод с периодом решетки

Применение метода МАБ предполагает декомпозицию отрезка волновода на систему блоков в виде прямоугольных параллелепипедов. Электромагнитные свойства блоков описываются матрицами рассеяния по отношению к виртуальным каналам, подключенным к их граням. После расчета матриц рассеяния всех блоков, входящих в декомпозиционную схему, осуществляется рекомпозиция всех общих внутренних каналов, а также каналов, выходящих на стенки волновода. Результатом рекомпозиции является многоканальная матрица рассеяния. Порядок этой матрицы равен количеству каналов, выходящих на верхнее и нижнее сечения

волновода. Использование итерационного алгоритма реализации метода МАБ не целесообразно, так как высокая добротность полосковых резонаторов приводит к необходимости проведения большого числа итераций.

Численное моделирование подтвердило возможность приведенной на рисунке 1 структуры в качестве частотно-селективной поверхности. Ниже приведены результаты, полученные для ЧСП со следующими конструктивными параметрами: периоды решетки 21x21см; размеры полоска – 11x3x0.1 см; толщина экрана – 0.1 см; отверстие квадратной формы со стороной –3 см; перемычки, соединяющие экран с полосками имеют размеры – 3x1x1 см. Все элементы ЧСП выполнены из идеально проводящего материала. На рисунках 3,4 показаны частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения соответственно для симметричной и ортогональной взамной ориентации верхнего и нижнего полосков в периоде решетки.

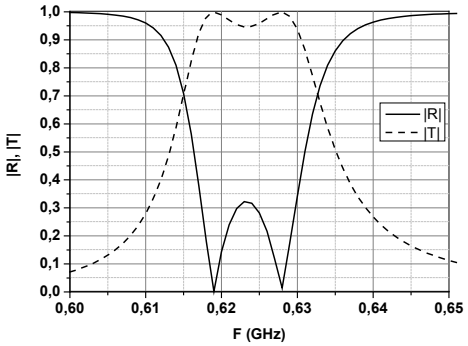


Рисунок 3 – Частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения для ЧСП с параллельными полосками.

Численный анализ показывает, что ЧСП без полосков является практически непрозрачной. Это связано с тем, что средние по частотному диапазону волновые размеры отверстий $\approx 0.06\lambda$. Наличие полосковых резонаторов обеспечивает полное прохождение линейно поляризованной электромагнитной волны через решетку. Это объясняется наличием высокодобротных полосковых резонаторов, имеющих связь через апертуры в экране. Поскольку эта связь сохраняется при изменении взаимной ориентации полосков по разные стороны экрана, то, как показывают результаты, представленные на рисунке 4, возможно изменение плоскости поляризации прошедшего через ЧСП электромагнитного поля. На рисунке 4 индекс «1» соответствует плоскости поляризации падающей волны (параллельной полоску), а индекс «2» – ортогональной ей плоскости.

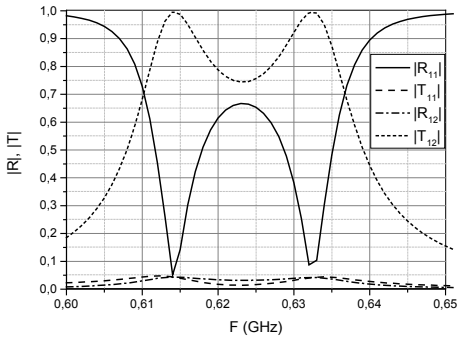


Рисунок 4 – Частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения для ЧСП с перпендикулярными полосками.

Численно исследовано влияние конструктивных параметров ЧСП (формы отверстий, полосков, диэлектрического заполнения отверстий и т.д.) на их радиопрозрачные и поляризационные характеристики. Рассмотрены возможные подходы к расширению полосы прозрачности. Исследовано влияние направления распространения волны на радиопрозрачные свойства ЧСП.

Рассмотрены технологии изготовления ЧСП и области их практического использования в микроволновом и оптическом диапазонах.

1. B. A. Munk, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design. New York: Wiley Interscience, 2000.
2. S. A. Winkler, W. Hong,M. Bozzi, and K.Wu, Polarization rotating frequency selective surface based on substrate integrated waveguide technology," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 4, pp. 1202–1213, Apr. 2010.
3. Xi-Cheng Zhu, Wei Hong, Ke Wu, Hong-Jun Tang, Zhang-Cheng Hao, Ji-Xin Chen, Hou-Xing Zhou, and Hao Zhou. Design of a Bandwidth-Enhanced Polarization Rotating Frequency Selective Surface, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, no. 2, pp. 940–944, Feb. 2014.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М., 1983.
5. Maly S.V. // Mathematical Methods in Electromagnetic Theory: Proc. of VI International Conf., Lviv, September 10-13 1996. P. 490.
6. Будай А. Г., Кныш В. П., Малый С. В. Разработка и исследование поглотителей ЭМВ // 14-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Материалы конференции. Севастополь, 2004. С. 555-556.
7. Будай А. Г., Кныш В. П., Малый С. В. Комплексная методика расчета электродинамических параметров радиопоглощающих покры-

тий // Материалы Международной научной конференции ИРЭМВ-2005 «Излучение и рассеяние электромагнитных волн». Таганрог, 2005. С.327-329.

УДК 535.376

ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЛИНЗ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ

Бумай Ю.А.[1], Бобученко Д.С.[1], Доманевский Д.С.[1], Куклицкая А.Г.[1], Манего С.А.[1], Трофимов Ю.В.[2], Цвирко В.И.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
[2]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

При длительной работе светоизлучающих диодов (СИД) помимо оптической и электрической деградации их кристаллов из-за роста количества дефектов структуры происходит также деградация полимерных линз СИД, формирующих определенную диаграмму направленности излучения. Облучение высокоэнергетическими частицами также может приводить к образованию дефектов как в кристаллах, так и линзах СИД и является одним из способов достижения быстрой деградации. В данной работе исследовано влияние облучения быстрыми электронами (энергия 4 МэВ, флюенс $D = 1{,}2 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$) на оптические свойства ультрафиолетовых и зеленых СИД фирмы Helio (мощностью 1 Вт), в частности, установлен вклад деградации линзы в общую деградацию СИД. Энергия быстрых электронов оказалась достаточной для глубокого проникновения электронов в СИД, т.е. для создания радиационных дефектов как в линзе СИД, так и кристалле [1]. Необходимо отметить, что после облучения произошло визуально наблюдаемое помутнение линз, при этом они приобрели желтый оттенок. Измерялись спектры электролюминесценции в области токов 1 – 350 мА в режиме стабилизации тока СИД, а также радиометрическая мощность излучения.

Спектры электролюминесценции при разных токах ультрафиолетового СИД, облученного быстрыми электронами, показаны на рисунке 1. На спектрах СИД с линзой наблюдаются две полосы. Одна из них с максимумом в интервале 3,08–3,09 эВ принадлежит основному излучению СИД, вторая (широкая) с максимумом в интервале ~2,0–2,1 эВ связана с радиационными дефектами. После удаления линзы интенсивность основной полосы возрастает приблизительно в ~170–190 раз (в исследуемом диапазоне токов). Это значит, что ультрафиолетовое излучение эффективно поглощается материалом линзы облученного СИД. Интенсивность второй полосы после удаления линзы, наоборот, уменьшается в несколько раз. В этом случае широкая полоса полностью обусловлена радиационными дефектами в кристалле СИД и представляет собой, вероятно, «желтую дефектную полосу», наблюдаемую в этом спектральном диапазоне в несовершенных кристаллах СИД на базе нитридов [2].

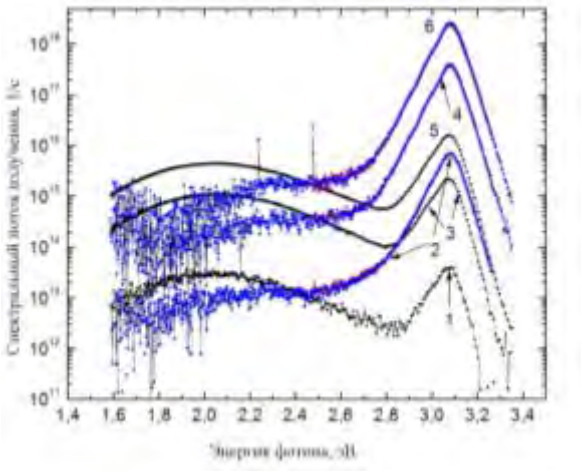


Рисунок 1 – Спектр электролюминесценции ультрафиолетового СИД, облученного флюенсом быстрых электронов $D = 1{,}2 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$:
(1, 3, 5) – с линзой; (2, 4, 6) – без линзы;
ток: (1, 2) – 10 мА; (3, 4) – 100 мА;
(5, 6) – 350 мА.

В связи с этим, наиболее вероятной причиной увеличения интенсивности широкой полосы в облученных СИД при наличии линзы является фотолюминесценция радиационных дефектов материала линзы, возбуждаемая ультрафиолетовым излучением кристалла. При этом она наблюдается приблизительно в том же диапазоне спектра, что и «желтая дефектная полоса» в кристалле СИД.

Необходимо отметить также, что из-за наличия полосы связанной с дефектами свечение ультрафиолетового СИД становиться подобным свечению белого, т.е. сильно изменяются цветовые координаты излучения.

Спектры электролюминесценции при разных токах зеленого СИД, облученного быстрыми электронами, показаны на рисунке 2. В отличие от ультрафиолетовых СИД в спектрах зеленых наблюдается одна полоса с максимумом в интервале 2,32–2,37 эВ (в зависимости от уровня воз-

буждения, определяемого током), принадлежащая основному излучению.

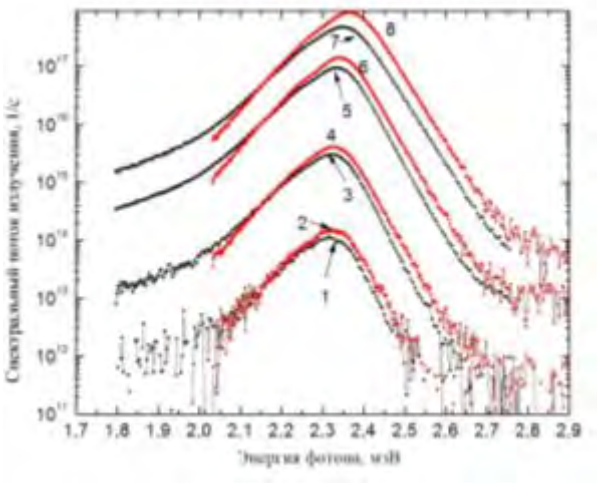


Рисунок 2 – Спектр электролюминесценции зеленого СИД, облученного флюенсом быстрых электронов $D = 1{,}2 \cdot 10^{17}$ см$^{-2}$:
(1, 3, 5, 7) – с линзой; (2, 4, 6, 8) – без линзы;
ток: (1, 2) – 1 мА; (3, 4) – 10 мА; (5, 6) – 100 мА.

Удаление линзы приводит лишь к небольшому (~1,5–2 раза) возрастанию потока излучения в максимуме. Это значит, что повреждение линзы не сказывается существенным образом на эффективность излучения зеленого СИД. Вероятной причиной этого является то обстоятельство, что излучение зеленого СИД не возбуждает люминесценцию радиационных дефектов материала линзы (имеющую максимум вблизи ~2,0 – 2,1 эВ) ввиду близости к энергии основной полосы. Необходимо также отметить, что «дефектная желтая полоса» лежит также в диапазоне излучения данного СИД и ее вклад мало заметен, в отличие, например, от ультрафиолетового или синего СИД.

Установлено также, что деградация линз может приводить к отказу СИД вследствие образования проводящего канала по краю линзы и отражателя, приводящего к короткому замыканию электродов, т.е. шунтированию кристалла. Это подтверждается также термографическими исследованиями такого СИД. На рисунке 3 приведена термограмма, на которой отчетливо наблюдается разогрев проводящего канала между электродами (светлый участок термограммы). Вольтамперная характеристика СИД после отказа становится линейной с сопротивлением ~1–2 Ом.

Отметим, что аналогичные отказы появлялись также и при ускоренных тепловых испытаниях (температурах СИД порядка 130ºС и токах 330 мА). В этом случае на поверхности чашки, фокусирующей излучение, в полимере образуются пузырьки, которые не только уменьшают отражательную способность поверхности чашки, но и изменяют поверхностную проводимость корпуса СИД. Необходимо отметить, что отказ ультрафиолетовых СИД Helio при ускоренных тепловых испытаниях наблюдался всего лишь через 110 часов.

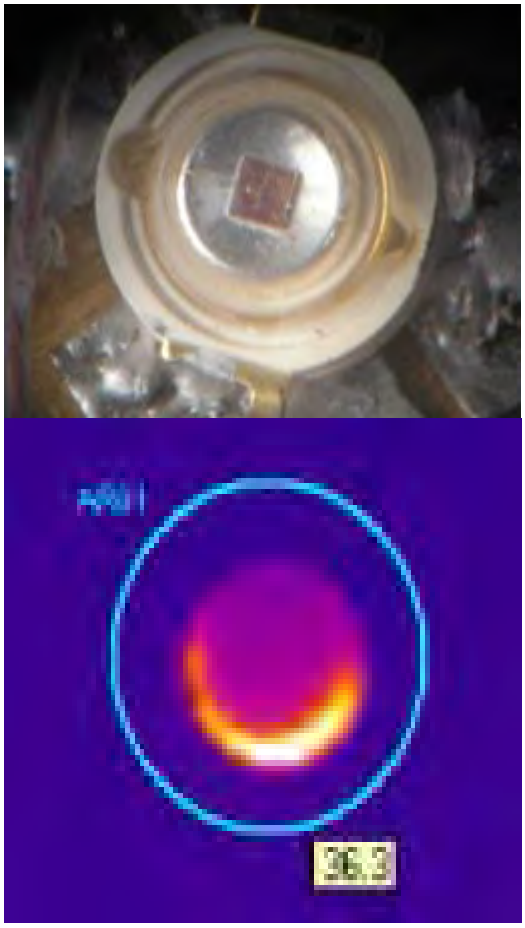


Рисунок 3– Вид СИД Helio и термограмма облученного СИД после отказа (получена при токе через СИД 530 мА).

Таким образом, установлено влияние деградации полимерных линз СИД, вызванной облучением быстрыми электронами, на спектры электролюминесценции и вид отказов СИД на базе нитридов.

1. Павленко, В.И. Воздействие высокоэнергетических пучков быстрых электронов на полимерные радиационно-защитные композиты /В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, О.Д. Едаменко, Д.Г. Тарасов //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (95). – 2010. – №1. – С. 129-134.
2. Юнович, А.Э. Дивакансия азота возможная причина желтой полосы в спектрах люминесценции нитрида галлия /А.Э. Юнович //ФТП. – 1998, – Т.32, – №10, -– С.1181-1183.

УДК 621.382

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ ПОСЛЕ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ОБРАБОТОК

Бумай Ю.А.[1], Васьков О.С.[1], Доманевский Д.С.[1], Красовский В.В.[1], Нисс В.С.[1], Трофимов Ю.В.[2], Рубаник В.В.[3]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси» Минск, Республика Беларусь
[3]Институт технической акустики НАН Беларуси», Витебск, Республика Беларусь

С использованием метода переходных электрических процессов [1] проведено исследование тепловых свойств (тепловых сопротивлений, времен тепловой релаксации, сечений теплового потока) зеленых светоизлучающих диодов (СИД) фирмы Helio мощностью 1 Вт, прошедших искусственную деградацию с использованием облучения быстрыми электронами с энергией 4 МэВ и синих СИД прошедшими ультразвуковую обработку на частотах 84,5 кГц и 117,6 кГц по 15 минут. Энергия быстрых электронов оказалась достаточной для их глубокого проникновения в СИД и создания, радиационных дефектов в кристалле и области его посадки на теплоотводящее основание, несмотря на наличие линзы [2]. Ультразвуковое воздействие при соответствующем подборе режимов создает механические напряжения, приводящие к размножению и переползанию дислокаций в слоях СИД [3]. Измерения тепловых параметров проведены как при импульсном нагреве, так и при последующем остывании. Вид СИД Helio приведен на рисунке 1.

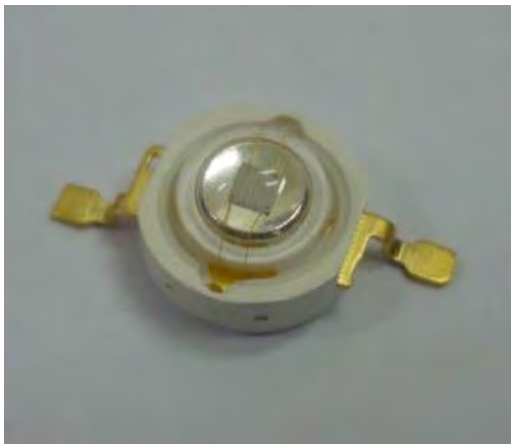


Рисунок 1 – СИД Helio

На рисунке 2 представлены спектры тепловых сопротивлений зеленых СИД – исходного (g1A) и после облучения быстрыми электронами (g4A – флюенсом D=5,6·10^{16} см$^{-2}$, g3A – флюенсом D=1,2·10^{17} см$^{-2}$). Сплошные линии соответствуют анализу в рамках модели Фостера, дискретные – пересчитанные в рамках модели Кауера [1]. Верхними кривыми на рисунке 2 представлены сечения теплового потока. Вертикальной штрихпунктирной линией отмечена граница «СИД – окружающая среда». Линии дискретного спектра до времени тепловой релаксации ~1 мс принадлежат кристаллу, для времен ~1-80 мс – посадке кристалла на теплоотводящее основание.

Основные тепловые параметры образцов и режимы их измерения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры СИД и режимы их измерения

СИД	g1A	g4A	g3A
Сечение теплового потока (измерение при нагреве) S_a, мм^2	0,62	0,49	0,51
Сечение теплового потока (измерение при остывании) S_b, мм^2	0,98	0,85	0,83
Температурный коэффициент напряжения, мВ/К	5,64	3,95	4,54
Напряжение на СИД, В	3,7	3,84	4,06
Сила тока СИД, А	0,750	0,744	0,729
Энергетическая эффективность СИД, %	30	6	1,9
Температура перегрева активной области СИД, °С	26,1	32,1	37,6
Тепловое сопротивление СИД (включая слой посадки, до времени тепловой релаксации 20 мс), К/Вт	9,72	11,46	11,86

В соответствии с рисунком 2 и таблицей 1 видно, что, несмотря на сильное уменьшение оптической мощности СИД, тепловые сопротивления компонентов СИД изменились незначительно, причем наиболее сильные изменения после облучения произошли в области посадки кристаллов на теплоотводящее основание (время тепловой релаксации ~ 6 мс).

Необходимо также отметить, что в облученных образцах происходит сильное сужение теплового потока при переходе на слой посадки и заметное изменение температурного коэффициента напряжения. Сужение теплового потока вероятно связано с уменьшением в результате облучения теплопроводности части отражателя и подложки незакрытых кристаллом СИД, что ухудшило условия растекания тепла.

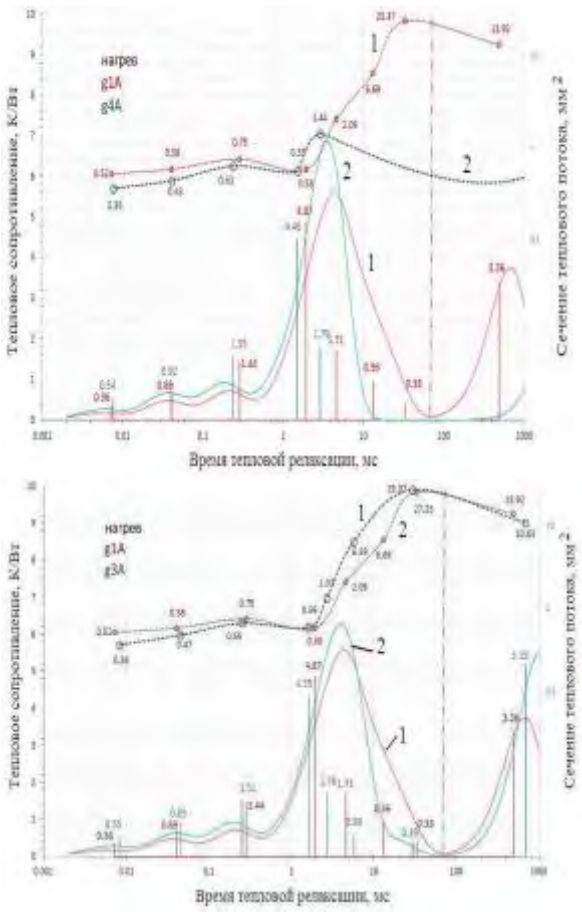


Рисунок 2 – Спектр тепловых сопротивлений зеленых СИД Helio до и после облучения быстрыми электронами: g1A – исходный (1), g4A, g3A – облученные флюенсами быстрых электронов D=5,6·10^{16} см$^{-2}$ и D=1,2·10^{17} см$^{-2}$, соответственно (2)

На рисунке 3 представлен спектр тепловых сопротивлений синих СИД Helio до и после ультразвуковой обработки. В данном случае изменения тепловых параметров произошло существенно слабее, причем они также наблюдаются в области посадки кристалла СИД. После ультразвуковой обработки даже наблюдалось небольшое уменьшение теплового сопротивления слоя посадки. Сечение теплового потока в результате обработки не изменилось. Необходимо отметить, что эффект улучшения свойств СИД на основе нитридов в первые ~1000 часов работы наблюдался ранее [4]. В связи с этим, можно предположить, что выбранные нами режимы соответствуют данному промежутку времени функционирования СИД.

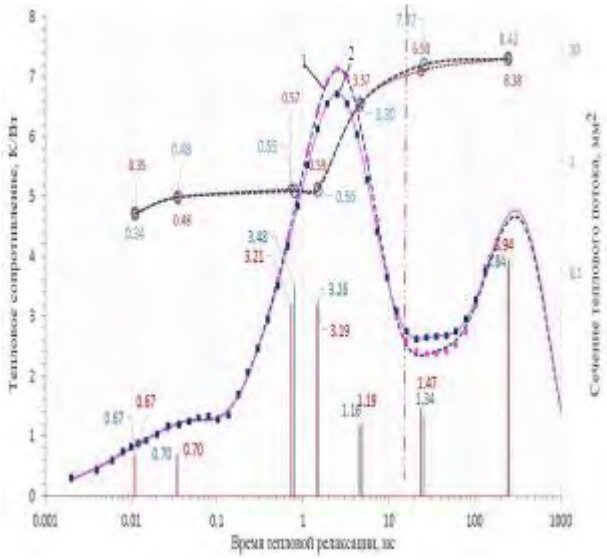


Рисунок 3 – Спектр тепловых сопротивлений синих СИД Helio до (1) и после (2) ультразвуковой обработки

Таким образом, в работе установлены закономерности изменения тепловых параметров СИД на основе нитридов при деградационных воздействиях с использованием облучения и ультразвука.

1. Zakgeim, A.L. Comparative Analysis of the Thermal Resistance Profiles of Power Light-Emitting Diodes Cree and Rebel Types / A.L. Zakgeim, A.E. Chernyakov, A.S. Vaskou, V.K. Kononenko, V.S. Niss // EuroSimE 2013: 14th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. – 2013. – №01. – P. 1/7-7/7
2. Павленко, В.И. Воздействие высокоэнергетических пучков быстрых электронов на полимерные радиационно-защитные композиты /В.И. Павленко, Р.Н. Ястребинский, О.Д. Едаменко, Д.Г. Тарасов //Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (95). – 2010. – №1. – С. 129-134.
3. Рабинович, О.И. Моделирование электрических и оптических характеристик светоизлучающих диодов на основе многокомпонентных гетероструктур AlGaInN: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук: 01.04.10 / О.И. Рабинович; Рос. технолог. ун-т. – М., 2008. – 28 с.
4. Полищук, А. Деградация полупроводниковых светодиодов на основе нитрида галлия и его твердых растворов /А. Полищук, А. Туркин. //Компоненты и технологии. – 2008. – № 2. – С.25-27.

УДК 621.382

ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА

Буслюк В.В.[1], Просолович В.С.[2], Янковский Ю.Н.[2], Русакевич Д.А.[3], Черный В.В.[3]
[1]*Научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад»*
Брест, Республика Беларусь
[2] *Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь*
[3]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

Применение физических источников шума является перспективным для создания случайных числовых последовательностей с целью защиты информации, а также диагностики оборудования и конструкции методами модального анализа. Воздействие источников шума на линейные диагностические системы может генерировать принципиально новые эффекты, которые не могут быть реализованы в отсутствие шума. Для практического применения обязательным условием является получение качественного, с точки зрения случайности, и оптимального по амплитудным и частотным характеристикам для конкретного применения шума, генерируемого конкретным источником. Однако, получение широкополосного шума со спектром, наиболее близким к однородному, определяется, прежде всего, режимом работы диодов-генераторов.

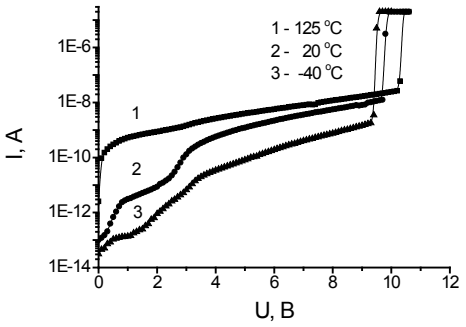
Основой работы современных полупроводниковых стабилитронов и генераторных диодов являются ударная ионизация и лавинных пробой *p-n*-перехода. Лавинный пробой реальных *p-n*-переходов сильно локализован и носит микроплазменный характер. Для существования микроплазм (МП) необходимо либо наличие структурных несовершенств, вызывающих локальные искажения электрического поля в области, падение напряжения на которой составляет около 1 В, либо структурные несовершенства могут содержать ловушки, имеющие высокую плотность заряда, создающего внутреннее электрическое поле [1]. Надежность лавинных диодов, их способность выдерживать кратковременные перегрузки в обратном направлении целиком определяются совокупностью МП прибора. Ранее было показано, что лавинный пробой *p-n*-перехода генераторных диодов ND103 обусловлен, включением микроплазм, связанных с локальными неоднородностями легирования материала подложки, а также электрической ионизацией глубоких примесных центров технологических (фоновых) примесей, таких, как например, медь и железо, попадающих в монокристалл, как при выращивании слитков по методу Чохральского, так и при технологическом процессе формирования диодной структуры [2].

Наличие в микроплазменном канале глубоких центров (ГЦ) приводит к эмиссии с них носителей заряда, что существенно влияет на параметры пробоя даже в тех случаях, когда концентрация ГЦ на много порядков величины меньше концентрации легирующих примесей. Поэтому примесная атмосфера и структурные дефекты микроплазменных каналов являются определяющими факторами при разработке генераторных диодов, учитывая их возможное влияние на основные параметры вольт-амперных характеристик диодов. В связи с этим актуальным является исследование электрофизических параметров генераторных диодов.

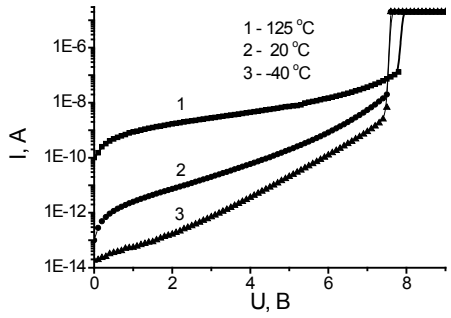
В работе исследованы электрофизические параметры кремниевых диодов-генераторов шума ND102, ND104, изготовленных по планарной диффузионной технологии формирования цилиндрических *p-n*-переходов малого диаметра (<10 мкм) с защитой от поверхностного пробоя [3] на основе подложек монокристаллического кремния марки 3А2яКДБ0.03(111)4^{o}-460, и диодов-генераторов шума ND201, изготовленных по аналогичной технологии на основе подложек монокристаллического кремния марки 3А2яКДБ0.005(111)4^{o}-460. Глубина *p-n*-перехода, сформированного диффузией, фосфора составляла ~ 6 мкм. Амплитуда шумов в области лавинного пробоя составляла ~ 100 мВ при токе 50 мкА, верхняя граница однородных шумов ≤ 3 МГц. Измерения вольт-амперных (ВАХ) характеристик диодов с целью определения влияния глубоких центров на электрофизические параметры приборов производились при температурах +125 ^{o}C, +20 ^{o}C и –40 ^{o}C.

Исследования прямых ветвей ВАХ показали, что для всех диодов данные характеристики имеют экспоненциальную зависимость, а напряжение открывания диодов увеличивается с уменьшением температуры. Это обусловлено тем, что ток в прямом направлении определяется его диффузионной составляющей, зависящей как от величины концентрации неосновных носителей заряда, так и от температурного изменения ширины запрещенной зоны.

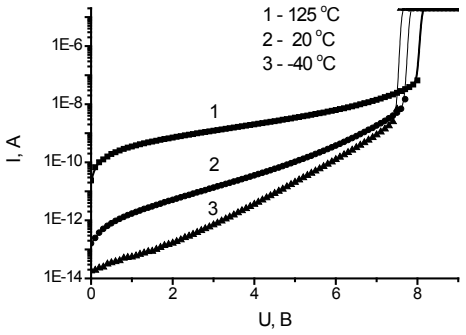
На рис. 1(а-в) представлены ВАХ диодов при обратном включении. С увеличением температуры измерений напряжение пробоя для всех диодов увеличивается, что обусловлено увеличением размеров области пространственного заряда вследствие изменения концентрации свободных носителей заряда.



а



б



в

а - ND 102, б - ND 104, в - ND 201.
Рисунок 1 – Обратные вольт-амперные характеристики диодов

Обратные ветви ВАХ имеют активационный характер: при увеличении обратного напряжения ток диода не остается постоянным и равным току насыщения I_0. Одной из причин увеличения тока является термическая генерация носителей заряда в области обеднения p-n-перехода. Другой причиной увеличения обратного тока с ростом обратного напряжения является расширение области пространственного заряда, результатом чего является увеличение количества центров, с которых происходит генерация носителей заряда. В данном случае зависимость обратного тока от напряжения должна иметь следующий вид [1]: $I_{обр.} \sim U^{1/2}$. Однако, проведенный анализ показал, что во всех случаях имеется более сильная зависимость. Это позволяет сделать вывод, что существенную роль в формировании обратного тока диодов играет термическая генерация с глубоких примесей носителей в области пространственно заряда, расширяющейся с увеличением обратного напряжения. При этом, как видно из рис.1а, для диодов ND102 на кривых ВАХ имеется ступенька в районе 3 В. Это обусловлено, вероятно, термической генерацией носителей с глубоких уровней, обусловленных ГЦ, при попадании их в область пространственного заряда и смещением уровня Ферми вследствие расширения области пространственного заряда при увеличении напряжения. Данный факт позволяет говорить о неоднородном распределении технологических примесей с глубокими уровнями по объему кристалла.

Следует также отметить, что величины обратных токов для диодов ND201 (рис.1в) во всех случаях меньше, чем для диодов ND102 (рис.1а) и ND104 (рис.1б). Это обусловлено различием в уровнях основного легирования и длинах экранирования Дебая, определяющих размеры области пространственного заряда, в которых происходит генерация носителей заряда, определяющих обратный ток диодов.

Таким образом, установлено, что обратный ток и, соответственно, пробой в генераторных диодах обусловлены ионизацией составляющих основу микроплазм технологических примесей, распределенных неоднородно по объему кристалла.

1. Грехов, И.В. Лавинный пробой p-n-перехода в полупроводниках / И.В. Грехов, Ю.Н. Сережкин – Л.:Энергия, 1980.-152 с.
2. Буслюк, В.В. Электрофизические параметры генераторных диодов для создания широкополосного шума / В.В. Буслюк, В.С. Просолович, Ю.Н.Янковский, В.В. Черный // Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2013», 20–22.11.2013, БНТУ, Беларусь, г. Минск, 2013, стр 271-272.
3. Аладинский, В.К., / В.К. Аладинский, В.И. Дашин, А.С. Сущик и др.// Радиотехника и электроника. – 1973. Т.18, №2. –С.342-349.с.

УДК 678.057.9

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ

Выдумчик С.В., Гавриленко О.О., Ксенофонтов М.А., Павлюкевич Т.Г., Чупрынский С.А
Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты комплексных исследований в области материаловедения газонаполненных полимеров и конкурентоспособное наукоемкое специализированное оборудование для реализации высокотехнологических процессов, которые послужили базой для организации серийного производства изделий, применяемых в энергетике, строительстве, автотракторной и нефтехимической промышленности для сохранения и рационального использования энергетических ресурсов, повышения рентабельности продукции и охраны окружающей среды.

Принципы мономерно-олигомерной технологии, основанные на превращении реакционноспособных соединений в газонаполненные путем прямого перехода жидкости в конденсированное состояние, невозможно осуществить без эффективного смесительно-дозирующего и формообразующего оборудования.

Нами разработан и изготовлен ряд автоматизированных технологических установок, которые по своим производственно-технологическим параметрам соответствуют лучшим мировым аналогам благодаря использованию принципиально новых идей, современной электронной компонентной базы и оригинального системного программного обеспечения. Разработанные установки нашли широкое внедрение на промышленных предприятиях Республики Беларусь, России и Украины.

В их числе смесительно-дозирующие установки высокого давления циклического и непрерывного действия (рисунок 1), используемые для производства теплосберегающей изделий из жестких пенополиуретанов, изотермических емкостей, сорбента Пенопурм и д.т.

В состав смесительно-дозирующих установок высокого давления входят следующие функциональные блоки: дозатор, смесительный узел, станция гидропривода, устройство термостабилизации, емкости для компонентов, пульт управления с контрольно-измерительными и регулирующими приборами, оснащенные микропроцессорными элементами с разработанным программным обеспечением. В канале смесительного узла установлен с возможностью возвратно-поступательного перемещения плунжер, выполняющий функции запорного и очищающего механизма. Такая конструкция смесителя является основным преимуществом установок высокого давления, так как использование самоочищающихся смесительных устройств не требует растворителей и промывочных жидкостей. Разработанное авторами оборудование позволяет перерабатывать любые мономерно-олигомерные композиции высокой вязкости и получать изделия из вспененных полимеров в широком весовом интервале (0,05-50,0 и более кг).

Рисунок 1 – Смесительно-дозирующие установки высокого давления

Смесительно-дозирующие установки низкого давления (рисунок 2) используются для производства топливных, воздушных и масляных фильтров автотракторной и авиационной промышленности. Установки состоят из следующих основных узлов: насосов-дозаторов с электроприводами, смесительного узла, емкостей с мешалками для компонентов и растворителя, устройства насыщения компонентов воздухом, термостата, пульта управления, поворотной стойки, пневморегулирующей аппаратуры и контрольно-измерительных приборов.

Работа смесительно-дозирующих установок низкого давления основана на дозации и смешении компонентов при давлении до 2,5 МПа в смесительной камере ротором, скорость вращения которого может достигать 18000 об/мин. Установки низкого давления позволяют получать изделия из пенополиуретана массой от 3 грамм.

Кроме того, нами представлены комплексы автоматизированного оборудования, используемые при изготовлении электротехнической продукции (рисунок 3).

Рисунок 2 – Смесительно-дозирующая установка низкого давления

Рисунок 3 – Комплекс автоматизированного оборудования

Разработанный автоматизированный комплекс состоит из заливочно-смесительной установки и стола портального типа с устройством вертикального перемещения смесительного узла. Процесс производства качественного уплотнительного контура заключается в нанесении по заданной траектории трехкоординатным роботом-манипулятором жидкой реакционноспособной композиции при помощи заливочно-смесительной установки, обеспечивающей необходимую точность дозирования и высокое качество смешения.

Управление установкой осуществляется с помощью микропроцессорной системы, реализованной на однокристальном микроконтроллере фирмы MICROCHIP. Разработанные алгоритмы, математическое обеспечение и оригинальная управляющая программа позволяют работать установке в автоматизированном режиме, выбирать и задавать технологические параметры, в том числе производительность, температуру, соотношение компонентов и время заливки. Современная электронная компонентная база и оригинальное системное программное обеспечение позволяет производить нанесение уплотнительного контура по любой заданной геометрической траектории.

В последнее время широким спросом стали пользоваться оборудование и технология для изготовления трехслойных панелей и других клееных конструкций (рисунок 4). Сэндвич-панели используются для строительства недорогого качественного жилья, теплых домов, гостиниц и кемпингов, а также сервисных и торговых помещений.

Рисунок 4 – Линия для производства сэндвич-панелей

Разработанный комплекс оборудования предназначен для производства сэндвич панелей с наполнителем из пенополиуретана, минеральной ваты, пенополистирола с внешним покрытием из пластика, металла и изготовления клееных деревянных конструкций, бруса, балки и др.

УДК 621.315.592

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ОТВЕРДЕВАНИЯ, ИНИЦИИРУЕМЫХ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ GeSi ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАНОИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Гацкевич Е.И.[1], Ивлев Г.Д.[2], Малевич В.Л.[3]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

[2]Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

[3] Институт физики НАН Беларуси им. Б.И. Степанова, Минск, Республика Беларусь

В условиях наноимпульсной лазерной модификации гетеросистем Ge_xSi_{1-x}/Si на стадии отвердевания возможно образование ячеистой структуры [1]. При этом размер ячейки зависит от состава гетеросистемы, типа подложки и режима лазерной обработки. В данной работе при-

ведены результаты численного моделирования процессов нагрева, плавления и кристаллизации при облучении наносекундными лазерными импульсами структур $Si_{1-x}Ge_x$, выращенных на Si подложке, и обсуждается механизм формирования в них ячеистой структуры, связанный с эффектом концентрационного переохлаждения.

Рассматривалось воздействие импульсов излучения рубинового лазера длительностью 80 нс с однородным распределением плотности энергии по области облучения. Конкретные расчеты проводились для образца $Si_{0.5}Ge_{0,5}$/Si (толщина эпитаксиального слоя SiGe 2 мкм). Согласно экспериментальным данным именно для этого типа структур наблюдалась наиболее выраженная ячеистая структура.

Моделирование динамики нагрева, плавления и отвердевания гетероструктуры проводилось на основе численного решения задачи Стефана. Для рассматриваемых экспериментальных условий длина тепловой диффузии за время импульса существенно меньше диаметра лазерного пятна (4 мм), что позволяет ограничиться одномерным приближением.

В этой постановке задачи нелинейное неоднородное уравнение теплопроводности с условием Стефана на границе фазового перехода имеет вид

$$\rho(x,T)\big(c(x,T)+L\delta(T-T_m)\big)\frac{\partial T}{\partial t}=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(k(x,T)\frac{\partial T}{\partial x}\right)+Q(x,t),$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=0}=0,$$

$$T\big|_{x=D}=T\big|_{t=0}=T_0,$$

где T – температура, $T_0 = 300$ K, координата x направлена вглубь образца, ρ – плотность, c – удельная теплоемкость, k – коэффициент теплопроводности, L – скрытая теплота плавления, T_m – температура плавления, $\delta(T)$ – дельта функция Дирака. Функция $Q(x,t)$ описывает выделение тепла при поглощении лазерного излучения:

$$Q(x,t)=\alpha(T)(1-R)q(t)\exp\left\{-\int_0^x\alpha\big(T(x')\big)dx'\right\},$$

здесь α и R – коэффициенты поглощения и отражения оптического излучения.

Форма лазерного импульса задавалась выражением:

$$q(t)=\frac{W}{\tau_p}\sin^2(\pi t/2\tau_p),$$

где W и τ_p - плотность энергии и длительность лазерного импульса.

В расчете учитывались температурные зависимости оптических и теплофизических параметров слоёв, а также зависимость их от фазового состояния. Теплофизические параметры $Si_{0.5}Ge_{0,5}$, кроме коэффициента теплопроводности в твердой фазе, определялись по формуле $A_{GeSi}=A_{Ge}x+A_{Si}(1-x)$. Коэффициент теплопроводности Ge_xSi_{1-x} в твердой фазе брался из данных [2]. Для коэффициента отражения использовались экспериментальные данные, полученные в настоящей работе, R=38,2% в твердой фазе и 76,7% - в жидкой. Уравнение теплопроводности решалось в конечных разностях методом прогонки по неявной разностной схеме.

Согласно результатам расчета (рисунок 1) при изменении W от 0,25 до 2,5 Дж/см^2 температура возрастает от 1500 до 2400 K. Расчетные данные по времени существования расплава хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными из измерений методом оптического зондирования. Для сравнения приведены аналогичные данные для Si и Ge. Видно, что τ в $Ge_{0,5}Si_{0,5}$/Si существенно выше, чем в монокристаллических образцах Si и Ge, что связано с исключительно низкой теплопроводностью твердого раствора.

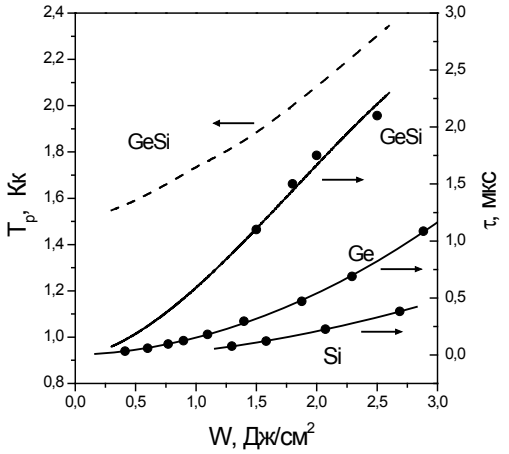


Рисунок 1 – Пиковая температура поверхности (T_p) и время существования жидкой фазы (τ) в зависимости от плотности энергии облучения. • – экспериментальные данные

Экспериментально наблюдаемое образование ячеистой структуры при лазерной обработке гетеросистем $Si_{1-x}Ge_x$, скорее всего, связано с неустойчивостью плоского фронта кристаллизации, обусловленной концентрационным переохлаждением. Механизм данного явления рассматривался в работе [3] и может быть объяснен следующим образом. Коэффициент сегрегации примеси (в данном случае Ge), определяемый как отношение концентрации примеси в кристалле к

концентрации ее в расплаве, $k<1$. В процессе роста кристалла примесь должна отводиться внутрь жидкой фазы и, следовательно, ее концентрация должна уменьшаться при удалении от фронта кристаллизации вглубь расплава. Если учесть, что для данного полупроводникового соединения наклон линии ликвидуса отрицательный, нетрудно понять, что уменьшение концентрации примеси приведет к повышению температуры затвердевания раствора и степени его переохлаждения по мере удаления вглубь расплава. В результате случайно образовавшаяся выпуклость на фронте кристаллизации попадает в область с более высокой степенью переохлаждения и это приводит к ее дальнейшему росту. В процессе роста такой выпуклости примесь выталкивается в расплав.

Это приводит к возникновению латерального градиента концентрации между вершиной выступа и областью над его основанием. В результате от вершины выступа с более высокой концентрацией возникнет поток примеси, который приведет к понижению концентрации вблизи вершины выступа и повышению вблизи его основания. Этот процесс приведет к стабилизации движения выступа и к возрастанию концентрации примеси на границах ячеек.

Разработанная в [3] модель неустойчивости фронта кристаллизации, а также расчетные данные по скорости кристаллизации были использованы для оценки среднего размера ячеек (рисунок 2).

Из расчетов следует, что при увеличении плотности энергии от 0,5 до 2,5 Дж/см^2 скорость движения фронта кристаллизации уменьшается более, чем в 2 раза. Соответственно рассчитанный размер ячеек увеличивается от 100 до 150 нм, т. е примерно в полтора раза. Однако в эксперименте [1] наблюдается более резкое увеличение размера ячеек с ростом плотности энергии лазерного импульса: при возрастании плотности энергии от 1,5 до 2,5 Дж/см^2 средний размер ячеек увеличивается от 90 до 180 нм. Таким образом, в рамках используемой здесь модели [3] достигается качественное согласие результатов расчета среднего размера ячеек с экспериментальными данными. Несоответствие, скорее всего, связано с использованием линейной модели неустойчивости, а также неточностью задаваемых параметров бинарного полупроводника SiGe в твердом и жидком состояниях.

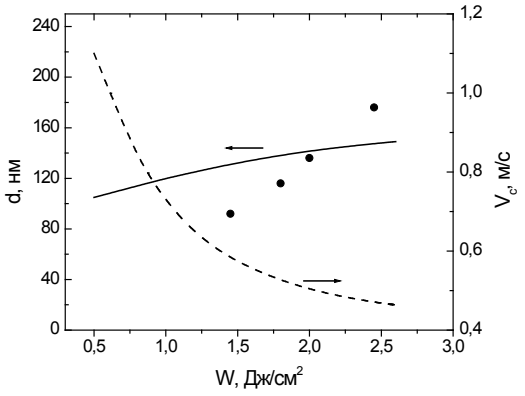


Рисунок 2 – Рассчитанные зависимости среднего размера ячеек (сплошная линия) и скорости движения фронта кристаллизации (штриховая кривая) от плотности энергии лазерного облучения; • - результат эксперимента [1]

Работа выполнена при поддержке БРФФИ по проекту Ф13К-117.

1. Gaiduk, P. I., Prakopyeu, S. L. Structural changes in SiGe/Si layers induced by fast crystallization // Subsecond Annealing of Advanced Materials, Springer Series in Material Science, ed. by W. Scorupa and H. Schmidt.- Springer, 2014. - V. 192. - P. 79-105.
2. http://www.ioffe.rssi.ru/SVA/NSM/Semicond/SiGe.
3. Mullins, W. W. Stability of a Planar Interface During Solidification of a Dilute Binary Alloy/ W.W. Mullins, R. F. Sekerka//J. Appl. Phys. – 1964.-Vol. 35. - P. 444-452.

УДК 539.26, 538.958, 621.373.8

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОКЕРАМИКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОКРИСТАЛЛЫ Co^{2+}:Ga_2O_3

Глазунов И. В. [1],Скопцов Н. А.[1], Маляревич А. М. [1], Юмашев К. В. [1], Дымшиц О. С. [2], Жилин А. А. [2], Алексеева И. П.[2], Шемчук Д. В. [2]

[1] НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь

[2] НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург, Российская Федерация

На сегодняшний день источники лазерного излучения, которые генерируют импульсы короткой длительности, широко применяются для обработки материалов, дальнометрии, передачи и обработки информации. Перспективной возможностью для получения импульсного лазерного излучения является использование пассивных затворов на основе просветляющихся сред. В настоящее время существует ряд просветляющихся сред на основе стеклокристаллических

материалов (ситаллов) с тетракоординированными ионами Co^{2+}. В настоящей работе исследуются свойства ещё одного материала с целью создания пассивного затвора для лазеров ближнего ИК диапазона спектра.

Исходные стекла и прозрачные стеклокристаллические материалы были синтезированы и исследованы в лаборатории стеклокристаллических материалов НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова». Стекло было синтезированы в лабораторной печи с силитовыми нагревателями в тигле из кварцевой керамики при температуре 1580 °С в течение 6 ч с перемешиванием. Стекло было отлито на металлическую плиту и отожжено. Термообработка полученного стекла проводилась при температуре 730 °С. В результате были получен прозрачный стеклокристаллический материал.

Для определения структуры кристаллической фазы, выделившейся при термообработке, был выполнен рентгенофазовый анализ. Измерение спектров рассеяния рентгеновского излучения производилась с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 6000 при излучении Cu Kα с никелевым фильтром. Исходя из рентгенограммы (рис. 1), можно сделать вывод о формировании в полученной стеклокерамике наноразмерных кристаллов Ga_2O_3.

Регистрация спектров пропускания (рис. 2) исследуемых образцов осуществлялась с помощью спектрофотометра Cary Varian 5000. В ближнем инфракрасном диапазоне спектра наблюдается полоса поглощения, характерная для тетракоординированных ионов кобальта Co^{2+} и обусловленная их переходами из основного состояния $^4A_2$ в возбуждённое состояние $^4T_1(^4F)$. Её структурирование позволяет сделать вывод, что указанные ионы входят в кристаллическую фазу (Ga_2O_3) исследуемого материала.

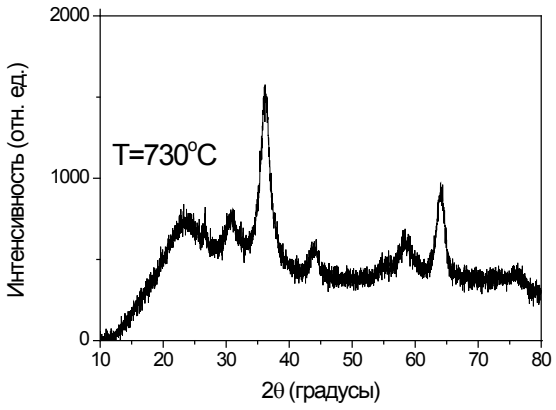


Рисунок 1 – Рентгенограмма стеклокерамики с нанокристаллами Co^{2+}:Ga_2O_3

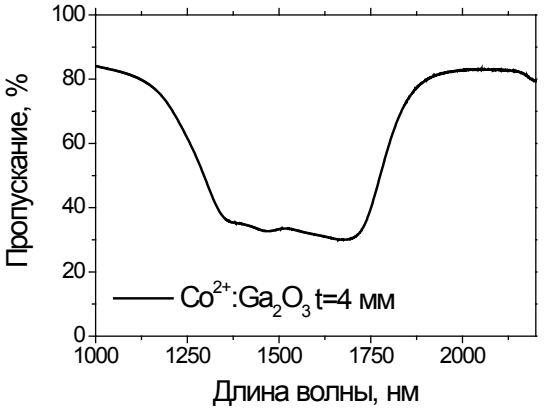


Рисунок 2 – Спектр пропускания ионов кобальта в нанокристаллах Co^{2+}:Ga_2O_3

Исследована зависимость пропускания материала от плотности энергии падающего излучения. Образец толщиной 4 мм облучался импульсами с энергией 1,3 мДж, длительностью 87 нс на длине волны 1540 нм. Диаметр сфокусированного на образец пятна лазерного излучения составлял 70 мкм. Плотность энергии излучения на образце варьировалась с помощью призмы Глана в пределах от 0.2 до 15 Дж/см^2. На рис. 3 представлена соответствующая зависимость (точки – экспериментальные результаты, кривая – результат моделирования). Видно, что материал хорошо просветляется, его пропускания от начальной величины T_0=40% возрастает до T=64%.

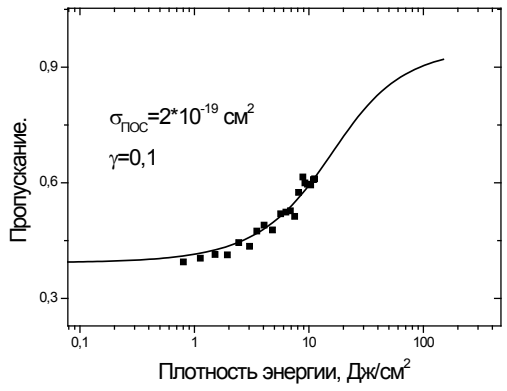


Рисунок 3 – Зависимость пропускания стеклокерамики с нанокристаллами Co^{2+}:Ga_2O_3 от плотности энергии падающего излучения

Анализ экспериментальных данных проводился в рамках модели медленно релаксирующего поглотителя:

$$\frac{dE_0}{dz} = -E_{sa} \cdot \frac{\ln(1/T_0)}{L} \cdot \left[(1-\gamma) \cdot (1 - e^{\frac{-E_0}{E_{sa}}}) + \gamma \cdot \frac{E_0}{E_{sa}} \right]$$

где $E_{sa}=h\upsilon/\sigma_a$ – плотность энергии насыщения поглощения; $\gamma=\sigma_{esa}/\sigma_a$ – контраст просветления среды; σ_a и σ_{esa} – поперечные сечение поглощения из основного и возбужденного состояний, соответственно. По результатам моделирования установлено, что контраст просветления равен $\gamma=0.1$, т.е. остаточное поглощение в полностью просветлённом состоянии составляет лишь 10% от величины, характеризующей пропускание низкоинтенсивного излучения. Значение поперечного сечения поглощения из основного состояния на длине волны 1.54 мкм составляет $\sigma_a=2\cdot10^{-19}$ см^2, а плотность энергии насыщения поглощения $E_{sa}=0.65$ Дж/см^2.

В заключение: исследованы структурные, спектроскопические и нелинейно-оптические свойства нового стеклокристаллического материала, содержащего нанокристаллы Co^{2+}:Ga_2O_3. Сделан вывод, что ситаллы с кристаллической фазой Co^{2+}:Ga_2O_3 являются перспективной средой для пассивной модуляции добротности лазеров спектрального диапазона 1.5 мкм.

УДК 621.375.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ Er,Yb:$YAl_3(BO_3)_4$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ ЭРБИЯ

Горбаченя К.Н.[1], Кисель В.Э.[1], Ясюкевич А.С.[1], Мальцев В.В.[2], Леонюк Н.И.[2], Кулешов Н.В.[1]
[1]НИЦ «Оптических материалов и технологий» БНТУ, Минск, Республика Беларусь
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Российская Федерация

Излучение спектральной области 1.5-1.6 мкм привлекает внимание разработчиков лазерных систем для дальнометрии благодаря ряду особенностей. Во-первых, оно является сравнительно безопасным для глаз. Такая особенность обусловлена достаточно высоким коэффициентом поглощения в этой области внешних элементов светопреломляющей системы глаза (роговицы и хрусталика), благодаря чему лишь малая доля падающей энергии достигает чувствительной сетчатки. Во-вторых, излучение в области 1.5-1.6 мкм области обладает малыми потерями при прохождении через атмосферу. На сегодняшний день существует ряд лазерных источников, излучающих в спектральной области 1.5-1.6 мкм: диодные лазеры, ВКР-лазеры, параметрические генераторы света. Однако наибольшее практическое распространение получили твердотельные лазеры на основе фосфатных стёкол с ионами Er и Yb, отличающиеся относительной простотой, компактностью и возможностью работы в различных режимах генерации. Однако, основным недостатком, ограничивающим применение эрбиевых стекол в системах с непрерывной диодной накачкой, является низкая теплопроводность матрицы (теплопроводность фосфатных стёкол составляет 0.85 Вт/м*К). Для снятия таких ограничений актуальным является использование кристаллических матриц для активации ионами Er и Yb.

Кристаллы Er,Yb:$YAl_3(BO_3)_4$ (YAB) характеризуются достаточно высоким значением теплопроводности (более 7 Вт/м*К). При использовании данных кристаллов в качестве активных сред твердотельных лазеров был получен непрерывный режим генерации с максимальной выходной мощностью 1 Вт на длине волны 1522 нм с дифференциальной эффективностью по поглощенной мощности накачки 35 %. Однако, исследование зависимости генерационных характеристик кристаллов Er,Yb:YAB от концентраций ионов-активаторов ранее проведена не была.

В данной работе представлены результаты исследований зависимости выходных мощностей и дифференциальных эффективностей лазеров на основе кристаллов Er,Yb:YAB от концентраций ионов эрбия.

Рост кристаллов осуществлялся методом раствор-расплавной кристаллизации в сложных многокомпонентных системах. В качестве основы растворителя использовался тримолибдат калия ($K_2Mo_3O_{10}$). В результате были получены кристаллы Er,Yb:YAB размерами до 20x10x10 мм^3 с содержанием ионов эрбия $0.83x10^{20}$ см$^{-3}$ (1.5 ат.%), $1.11x10^{20}$ см$^{-3}$ (2.0 ат.%), $1.66x10^{20}$ см$^{-3}$ (3.0 ат.%), $2.22x10^{20}$ см$^{-3}$ (4.0 ат.%) и ионов иттербия $6.0x10^{20}$ см$^{-3}$ (11 ат.%).

Для проведения лазерных экспериментов и исследования зависимости генерационных характеристик кристаллов Er,Yb:YAB от концентрации ионов активаторов был собран макет эрбиевого лазера с диодной накачкой (рисунок 1). В качестве источника излучения использовался лазерный диод с максимальной выходной мощность мощностью 15 Вт с волоконным выходом. Диаметр волокна был равен 105 мкм, числовая апертура – 0.15. Диод излучал на длине волны 976 нм со спектральной шириной полосы около 6 нм. Оптическая система фокусировала излучение накачки в активный элемент с размером перетяжки $2\omega_0=100$ мкм, близким к размеру моды резонатора. Резонатор имел четырехзеркальную конфигурацию.

Активный элемент – кристалл Er(X ат.%),Yb (11 ат.%):YAB, где X=1.5, 2.0, 3.0, 4.0 ат.%, толщиной 1.5 мм имел антиотражающие покры-

тия на длинах волн накачки и генерации. Охлаждение активного элемента, закрепленного на медном теплоотводе, осуществлялось с помощью элемента Пельтье и вентилятора. Пропускание выходного зеркала составляло 5 % на длине волны генерации.

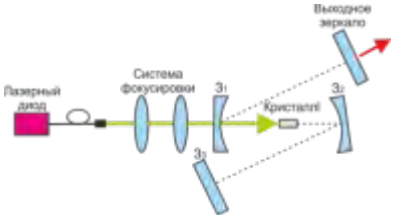


Рисунок 1 – Схема макета Er,Yb:YAB лазера для исследования зависимости генерационных характеристик от концентрации ионов активаторов

При использовании кристалла Er(1.5 ат.%),Yb(11 ат.%):YAB был получен непрерывный режим генерации с максимальной выходной мощностью 1.2 Вт на длине волны 1522 нм и дифференциальной эффективностью по отношению к поглощённой мощности накачки 26 %. Порог генерации по поглощенной мощности накачки составил 1.5 Вт. В целях уменьшения влияния термических эффектов в активном элементе были проведены лазерные эксперименты с квазинепрерывной накачкой, для чего в канал накачки вводился механический модулятор со скважностью 20%. Максимальная пиковая мощность выходного излучения составила 3.4 Вт на длине волны 1522 нм при поглощенной пиковой мощности накачки 7.3 Вт. Дифференциальная эффективность по отношению к поглощённой мощности накачки при этом составила 35 % (рисунок 2).

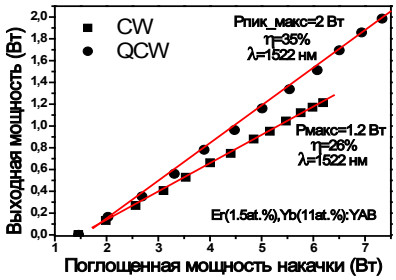


Рисунок 2 – Зависимости выходной мощности Er(1.5 ат.%),Yb(11 ат.%):YAB лазера от поглощенной мощности накачки

При использовании кристалла Er(2 ат.%), Yb(11 ат.%):YAB максимальная выходная мощность в непрерывном режиме генерации составила 1.6 Вт на длине волны 1522 нм при поглощенной мощности накачки около 7.5 Вт. Дифференциальная эффективность по поглощенной мощности составила 32 %. В квазинепрерывном режиме генерации при поглощенной мощности накачки до 5 Вт дифференциальная эффективность составляла 32 % на длине волны 1543 нм, однако, при дальнейшем увеличении мощности накачки длина волны выходного излучения сместилась до 1522 нм, а дифференциальная эффективность генерации возросла до 41 %. Максимальная пиковая мощность генерации в этом случае достигала 2.7 Вт при поглощенной пиковой мощности накачки более 9 Вт (рисунок 3).

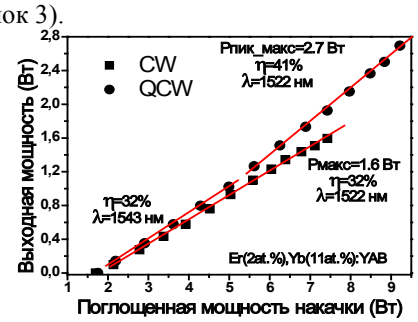


Рисунок 3 – Зависимости выходной мощности Er(2 ат.%),Yb(11 ат.%):YAB лазера от поглощенной мощности накачки

Зависимости выходной мощности Er(3 ат.%), Yb(11 ат.%):YAB лазера от поглощенной мощности накачки в непрерывном и квазинепрерывном режимах генерации приведены на рисунке 4. В непрерывном режиме работы лазера была получена максимальная выходная мощность 0.6 Вт на длине волны 1522 нм при дифференциальной эффективности по поглощенной мощности накачки 23 %. В данном случае максимальная выходная мощность лазера была ограничена порогом разрушения активного элемента. При проведении экспериментов в квазинепрерывном режиме работе максимальная пиковая мощность достигала 2.5 Вт на длине волны 1522 нм. Дифференциальная эффективность по поглощенной мощности составила 35 %.

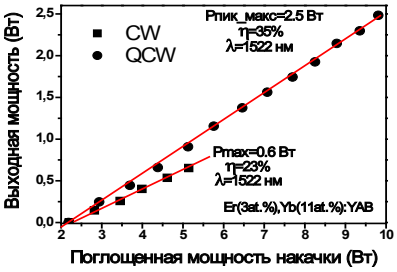


Рисунок 4 – Зависимости выходной мощности Er(3ат.%),Yb(11 ат.%):YAB лазера от поглощенной мощности накачки

Лазерные эксперименты с использованием кристалла Er(4 ат.%),Yb(11 ат.%):YAB проводились только при квазинепрерывной накачке. Максимальная пиковая выходная мощность составила 2.2 Вт на длине волны 1531 нм и дифференциальной эффективностью по отношению к поглощённой мощности накачки 40 %. Порог генерации по поглощенной мощности накачки был более 2.5 Вт (рисунок 5).

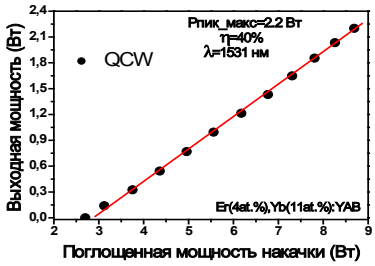


Рисунок 5 – Зависимости выходной мощности Er(4ат.%),Yb(11 ат.%):YAB лазера от поглощенной мощности накачки

В работе продемонстрированы результаты исследования генерационных характеристик кристаллов Er,Yb:YAB с различной концентрацией ионов эрбия. При использовании кристалла Er(2 ат.%),Yb(11 ат.%):YAB был получен непрерывный режим генерации с максимальной выходной мощностью 1.6 Вт на длине волны 1522 нм и дифференциальной эффективностью по поглощенной мощности накачки 32 %.

УДК 617.71

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УДЕРЖАНИЯ ЭНДОПРОТЕЗА КЛАПАНА

Грабцевич Е.В., Иллиев С.Ы., Минченя В.Т.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Сердечно-сосудистые заболевания стали серьезной проблемой для нашего общества. Своевременная диагностика и лечение сердечно-сосудистых заболеваний так же важны, как и устранение действия факторов риска их развития**.** Усилия, направленные на профилактику заболеваний сердца и сосудов пока к существенному успеху не привели. Единственным радикальным способом лечения этого заболевания является хирургическая коррекция порока - протезирование аортального клапана.

Существует два основных типа клапанов, которые могут применяться для замены аортального клапана - механические и биологические. Механические клапана сделаны из пластмассы и металла и имеют значительный срок службы. Биологические сделаны из тканей животных, более рекомендуемы в кардиохирургии. При постановке аллографта возникают проблемы создания правильной формы в соответствии с анатомо топографическими нормами строения сердца и сосудов.

При проведении операции протезирования клапана используются специальные приспособления для постановки, однако, они импортные, дорогостоящие и одноразового применения.

Целью данной работы является разработка отечественной конструкции устройства для удержания эндопротеза аортального клапана сердца. Данное устройство представляет собой держатель с цилиндрическим корпусом. Автоматический механизм позволяет отнести это устройство к универсальному для 6 размеров (диаметры раскрытия клапана: 19,21,23,25,27 мм), что определяет его преимущество по сравнению с существующими конструкциями.

Рисунок 1

Предварительно, перед операцией с помощью затвора, перемещающийся по пазу детали 2, устанавливают нужный размер. При нажатии на рукоятку, шток 1 передвигается на длину, соответствующую размеру клапана, раздвигая при этом три направляющие 3, закрепленные на штифтах детали 5. На каждую направляющую закрепляется силиконовый захват, стенки которого соприкасаются со створками аортального клапана. В исходное положение направляющие возвращаются по средством трех плоских пружин, закрепленных на штифтах детали 5 под 120 градусов. На детали 2 нанесено специальное покрытие, для удобства работы хирурга.

Разработанная конструкция имеет ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми конструкциями зарубежного производства: обеспечивает заданное усилие и жесткость; устройство универсальное, позволяет ставить клапаны различного диаметра; быстро и легко разбирается и собирается для стерилизации. Конструкция технологична и не требует больших экономических затрат при изготовлении.

УДК 621.373.826:535.54

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО КРИСТАЛЛА Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$

Гусакова Н.В., Демеш М.П., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С., Ивашко А.М.

НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В последнее время все больше внимания уделяется исследованию лазерных кристаллов с частично разупорядоченной атомной структурой. Такой интерес обусловлено тем, что неоднородно уширенные полосы в спектрах поглощения позволяют снизить требования к стабильности длины волны источника накачки. Неоднородно уширенные полосы в спектрах люминесценции, делают потенциально возможным получение перестраиваемой лазерной генерации, а так же генерацию ультра коротких импульсов в режиме синхронизации мод.

Хотя кристаллы двойных молибдатов давно известны в качестве лазерных сред, представленные в литературе, на сегодняшний день, данные в работах [1],[2], по спектроскопическим свойствам, кристалла $NaBi(MoO_4)_2$, активированного Er^{3+} являются неполными и требуют уточнения и проведения ряда дополнительных исследований.

Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ принадлежит к структурному типу шеелита и является одноосным кристаллом. Концентрация ионов активаторов Er^{3+} в исследуемом кристалле составляла 0.14 ат.%. В настоящей работе исследовались спектроскопические свойства межмультиплетных переходов $^4I_{15/2}$-$^4I_{11/2}$ и $^4I_{15/2}$-$^4I_{13/2}$, интересных с точки зрения практического применения данного кристалла в качестве активной среды для твердотельных лазеров, излучающих в области 1.5 мкм. Вследствие анизотропии оптических свойств кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$, спектры поглощения и люминесценции измерялись в поляризованном свете с ориентацией поляризации падающего излучения параллельно (E||c) и перпендикулярно (E⊥c) оптической оси, π и σ поляризация, соответственно. Спектры поглощения кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ в поляризованном свете регистрировались на двулучевом спектрофотометре Carry-5000 при комнатной температуре в спектральных диапазонах: 930-1050 нм, 1400-1650 нм. Вследствие структурной разупорядоченнности кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ спектры поглощения характеризуются широкими полосами (рис.1). Наблюдается анизотропия поглощения, наиболее интенсивной в обоих случаях является полоса соответствующая π-поляризации.

Спектры люминесценции в спектральном диапазоне 1430-1680 нм, измеренные при комнатной температуре представлены на рис. 2. Для возбуждения люминесценции использовался полупроводниковый лазер с длиной волны 0.9 мкм.

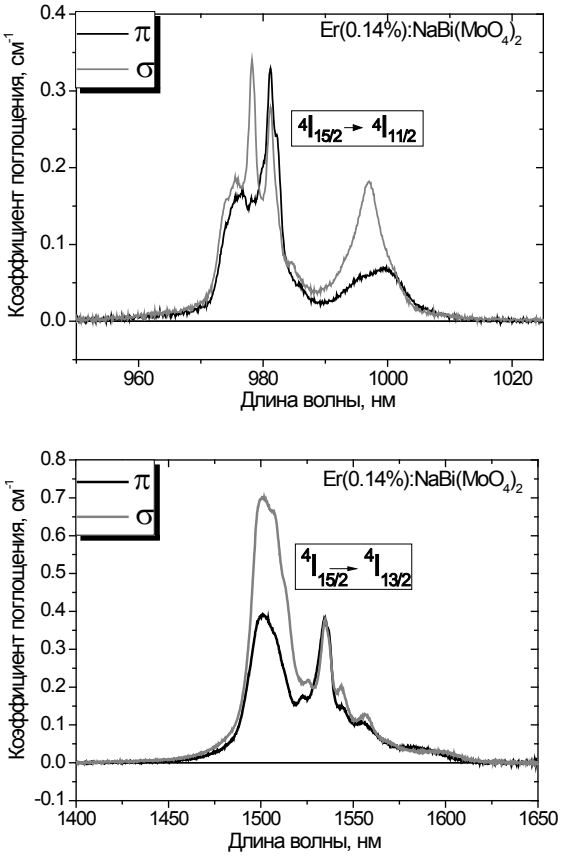


Рисунок 1 – Спектры поглощения кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$

Спектр люминесценции характеризуется широкими слабоструктурированными полосами. В ходе проведения измерений наблюдалась достаточно интенсивная видимая люминесценция в зеленой области спектра, соответствующая переходу $^4S_{3/2}\rightarrow{}^4I_{15/2}$ иона Er^{3+}. Данный ап-конверсионный процесс является паразитным для получения генерации в области 1.5 мкм.

Кинетические люминесцентные измерения в кристалле Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ проводились с целью изучения динамики возбужденного состояния $^4I_{13/2}$ ионов эрбия. Возбуждение люминесценции производилось в монокристалле. При исследовании кинетики затухания люминесценции с уровня $^4I_{13/2}$ возбуждение осуществлялось

на длине волны 980 нм излучением параметрического генератора частоты (LOTIS TII LT-2214) с длительностью импульсов излучения ≈20 нс, накачиваемого третьей гармоникой импульсного Nd:YAG лазера (LOTIS TII LS-2137). После возбуждения $^4I_{15/2}\rightarrow{}^4I_{11/2}$ следовал процесс быстрой релаксации $^4I_{11/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$ с последующим накоплением электронов на долгоживущем уровне $^4I_{13/2}$ и релаксацией на основной энергетический уровень с излучением фотона с длиной волны порядка 1.5 мкм. На рис. 3 и 4 представлены два участка зарегистрированной с уровня $^4I_{13/2}$ кинетики люминесценции: разгорание (рис.3) и затухание (рис.4). Разгорание и затухание люминесценции в обоих случаях носило моноэкспоненциальный характер с постоянными времени около 110 мкс и 4.1 мс соответственно. Таким образом время жизни верхнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ составило 4.1 мс. Необходимым условием эффективного заселения верхнего лазерного уровня $^4I_{13/2}$ является быстрая релаксация возбуждений с уровня $^4I_{11/2}$. В данном случае, разгорание люминесценции позволяет дать лишь оценочное значение времени жизни $\tau(^4I_{11/2})\approx110$ мкс.

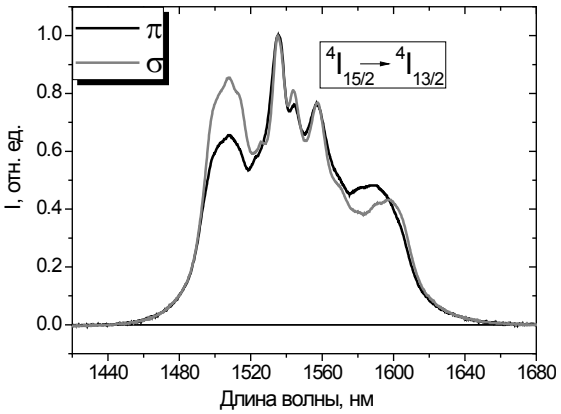


Рисунок 2 – Спектры люминесценции кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$

В результате проведенных спектроскопических исследований было определено, что кристалл Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ обладает широкими полосами поглощения ~20нм в области 0.9 мкм и люминесценции в области 1.5 мкм, сравнительно большим временем жизни возбужденного состояния $^4I_{13/2}$ 4.1 мс Таким образом исследуемый кристалл является перспективным лазерным материалом для создания систем генерирующих фемтосекундные импульсы.

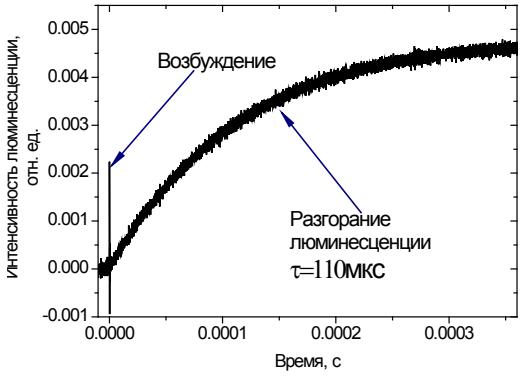


Рисунок 3 – Профиль участка разгорания сигнала люминесценции кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ в области около 1.5 мкм

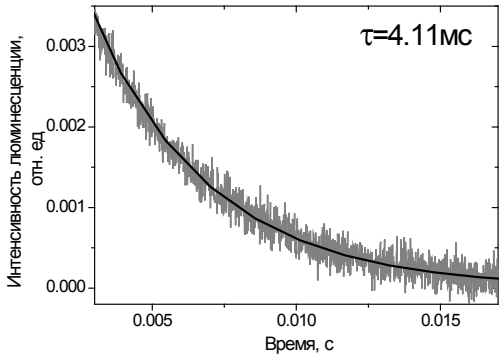


Рисунок 4 – Кинетика затухания люминесценции кристалла Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ в области около 1.5 мкм.

1. Volkov, V. Preparation and properties of disordered $NaBi(XO_4)_2$, X=W or Mo, crystals doped with rare earths / V. Volkov, M. Rico, A. Mendez-Blas, C. Zaldo // Journal of Physics and Chemistry of solids, 63, 2002, 95-105.
2. Cascales, C. The optical spectroscopy of lanthanides R^{3+} in $ABi(XO_4)_2$ (A=Li, Na; X=Mo, W) and $LiYb(MoO_4)_2$ multifunctional single crystals: Relationship with the structural local disorder / C. Cascales // Optical materials, 27, 2005, 1672-1680.

УДК 669.6-8

МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ ТРОЙНОЙ ЭВТЕТИКИ СИСТЕМЫ Sn – Bi – Pb

Гусакова О.В.[1], Шепелевич В.Г.[2]
[1]*Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова*
Минск, Республика Беларусь
[2]*Белорусский государственный университет*
Минск, Республика Беларусь

Эвтектика системы Sn – Bi – Pb, а также сплавы Розе и Ньютона, относящиеся к этой же системе и имеющие температуру плавления близкую к 90 °С, используются в качестве припоев. Качество пайки в значительной мере зависит от микроструктуры припоев [1]. В последние два десятилетия ведутся исследования по получению припоев методом высокоскоростного затвердевания [2], при котором жидкая фаза охлаждается со скоростью не менее 10^5 К/с и затвердевает в виде фольг толщиной в несколько десятков микрон. Припои в виде фольг удобны при пайке тонкостенных изделий, экономны в расходе и позволяют автоматизировать процесс пайки. Быстрозатвердевшие фольги отличаются структурой и свойствами от массивных образцов, получаемых при малых и средних скоростях охлаждения. В связи с этим исследование микроструктуры быстрозатвердевшей эвтектики является актуальным.

Сплав тройной эвтектики 16 мас % Sn – 52 мас.% Bi – 32 мас.% Pb получался из компонент, чистота которых была не хуже 99,99 %. Для изготовления фольг использовалась средняя часть слитка предварительно сплавленного в кварцевой ампуле. Капля расплава инжектировалась на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. При кристаллизации получались фольги длиной до 10 см и шириной до 1 см. При исследовании использовались фольги толщиной 40…70 мкм. Скорость охлаждения жидкой фазы для них составляла ≈ 10^5 К/с [3]. Микроструктура наблюдалась с помощью РЭМ LEO 1445 VP в отраженных электронах. Расчет параметров микроструктуры осуществлялся методом металлографического анализа. Текстура фольг исследовалась рентгеноструктурным анализом с помощью обратных полюсных фигур. Полюсные плотности дифракционных линий рассчитывались методом Харриса [4].

Рентгеноструктурные исследования показали, что фольги имеют трехфазную структуру. В отличие от квазиравновесной кристаллизации тройной эвтектики при которой формируется структура, состоящая из фаз Sn, Pb и Bi [5], в быстрозатвердевших фольгах кроме олова присутствуют фаза висмута и ε-фаза, которую образуют свинец и висмут. Эта фаза устойчива при температуре ниже 184 °С, имеет переменный состав и гексагональную структуру [6].

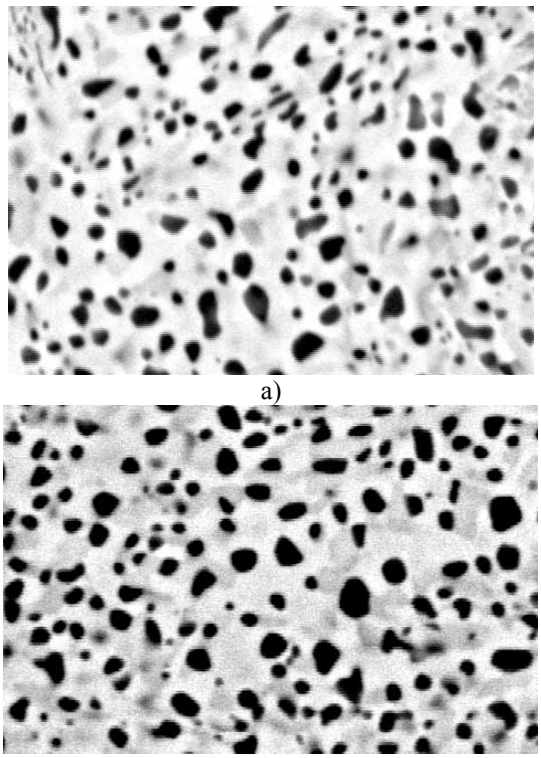
Результаты исследования текстуры фольг приведены в таблице 1. У стороны фольги, прилегающей к кристаллизатору (*A*) наблюдается повышенная полюсная плотность плоскости (100) Sn, а также плоскостей $(10\bar{1}2)$ Bi и $(10\bar{1}1)$ ε-фазы. Полюсная плотность указанных плоскостей у свободно затвердевающей стороны (*B*) понижается. Аналогичные результаты наблюдались при сверхбыстром затвердевании фольг висмута и олова [7-8].

Таблица 1 – Значения полюсных плотностей дифракционных линий олова, вимута и ε-фазы

Дифракционные линии	Поверхность фольги	
	A	*B*
Фаза висмута		
$10\bar{1}2$	2,9	1,6
$10\bar{1}4$	1,3	1,2
$11\bar{2}0$	0,3	1,2
$20\bar{2}0$	0,7	0,7
$20\bar{2}2$	0,7	0,8
$21\bar{3}0$	0,5	0,7
$21\bar{3}2$	0,6	0,7
0009	1,0	1,1
Фаза олова		
200	2,9	1,4
101	0,7	1,1
220	0,7	1,0
211	0,4	0,6
301	0,5	0,7
112	0,8	1,2
ε-фаза		
$10\bar{1}0$	3,1	2,5
0002	0,6	0,5
$11\bar{2}0$	1,6	1,5
$10\bar{1}2$	0,5	0,6
$11\bar{2}0$	0,3	0,3
$10\bar{1}3$	0,5	0,6
$11\bar{2}2$	0,6	0,8
$20\bar{2}1$	0,8	1,2

Фотография микроструктуры поверхности фольги, контактирующей с кристаллизатором (*A*) и свободно затвердевающей поверхности (*B*)

приведены на рисунке 1. На обеих поверхностях фольги четко выделяются черные области, которые, как показал рентгеноструктурный микроанализ, соответствуют олову.



а)

б)

а – сторона прилегающая к кристаллизатору,
б – свободно затвердевающая сторона.
Рисунок 1 – Микроструктура фольг сплава Sn – Bi – Pb

Выделения олова распределены однородно, имеют в основном округлую форму, некоторые из них обладают огранкой. Включения олова окружены светлыми и темно серыми выделениями, что указывает на существование ещё двух фаз: серая – Bi, светлая – ε-фаза. Объемная доля олова , в слое, прилегающем к поверхности *A* (V_A) фольги равна 0,12, в слое, прилегающем к поверхности *B* V_B = 0,24. Среднее значение хорд, находящихся на сечениях частиц олова d_A = 0,27 мкм, d_B= 0,46 мкм, а также удельная поверхность межфазных границ олова с матрицей S_A=1,7 мкм$^{-1}$ и S_B=2,3 мкм$^{-1}$. Величина удельной поверхности фазы в сплаве зависит от её объема, размера и формы частиц. В исследуемых быстрозатвердевших фольгах тройной эвтектики Sn – Bi – Pb определяющим фактором является объемная доля олова.

Распределение хорд случайных секущих на сечениях частиц олова по размерным группам на обеих поверхностях фольги приведено на рисунке 2. Наибольшая доля хорд приходится на минимальную размерную группу для обеих поверхностей фольги.

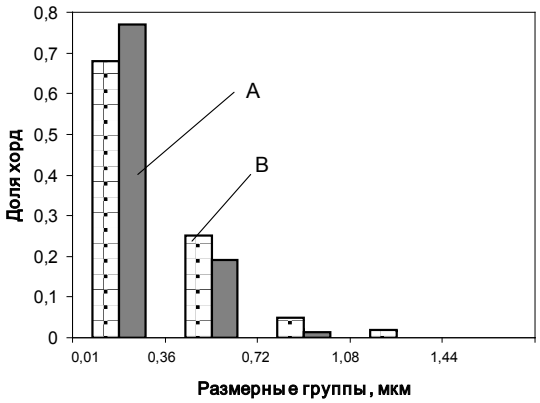


Рисунок 2 – Распределение хорд случайных секущих на сечениях частиц олова по размерным группам на сторонах поверхностей *A* и *B*

Неоднородность микроструктуры фольг по толщине обусловлена различными температурными режимами, при которых протекает затвердевание. По мере кристаллизации глубокое начальное переохлаждение (~100 °С), которое достигается в расплаве, снимается за счет выделения скрытой теплоты кристаллизации.

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги имеют дисперсную многофазную структуру, микрокристаллическую зеренную структуры и текстуру (100) олова, $(10\bar{1}2)$ Bi и $(10\bar{1}1)$ ε-фазы.

1. Лашко С.В. Пайка металлов. М.: Машиностроение,1988. – 376 с.
2. Васильев В.А., Митин Б.С., Пашков И.Н., Серов М.М., Скуридин А.А. Лукин А.А., Яковлев В.Б. Высокоскоростное затвердевание расплавов (теория, технология и материалы). М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. – 400 с
3. Мирошниченко И.С., Закалка из жидкого состояния М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Русаков А.А. Ренгтенография металлов. М., Атомиздат. 1977. – 480 с.
5. Захаров М.В. Диаграммы состояния двойных и тройных металлических систем М.: Металлургия, 1990. – 240 с.
6. Хансен М, Андерко К. Структуры двойных сплавов М.НТИЛЧЦМ. 1962. – 1488 с.
7. Шепелевич В.Г. Структура и свойства тонких фольг висмута и его сплавов с сурьмой //Изв. АН. Неорганические материалы. 1988.Т.24. №4. С.542–545
8. Гусакова О.В., Шепелевич В.Г. Зеренная структура и текстура быстрозатвердевших фольг олова и его сплавов //Поверхность. Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования. 2011. №10. С.102–107.

УДК (57.012.3+538.93)669.2/8

МИКРОСТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА Bi-9 ат. % Sb-1,2 ат. % Sn

Гусакова С.В., Шепелевич В.Г., Летко С. В.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Бинарные сплавы висмут, содержащие 8-15 ат. % Sb, относятся к низкотемпературным термоэлектрическим материалам, из которых изготовляют *n*-ветвь термоэлементов. В качестве *p*-ветви рассматриваются сплавы висмут-сурьма, дополнительно легированные акцепторами (оловом, свинцом и индием) [1]. Свойства указанных материалов зависят от дендритной ликвацией, приводящей к неоднородному распределению компонентов [2]. При высокоскоростной кристаллизации создаются условия для протекания бездиффузионной кристаллизации, при которой формируется сплав с однородным распределением компонентов в твердых растворах и дисперсных частиц вторых фаз. Метод высокоскоростной кристаллизации успешно применен при получении фольг ряд термоэлектрических материалов [3–5]. В связи с этим представлены результаты исследования структуры и электрофизических свойств быстрозатвердевших фольг сплава Bi–9 ат. % Sb–1,2 ат. % Sn.

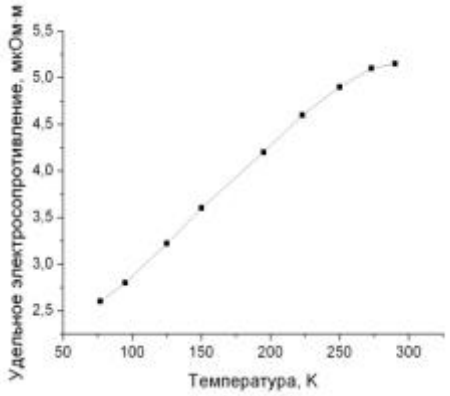
Сплав Bi–9 ат. % Sb–1,2 ат. % Sn получен сплавлением компонентов в кварцевой ампуле. Фольги изготовлены высокоскоростной кристаллизацией расплава на внутренней полированной поверхности вращающегося медного цилиндра (скорость охлаждения жидкости $\approx 5\cdot10^5$ К/с). Рентгеноструктурные исследования выполнены на дифрактометре ДРОН-3. Полюсные плотности дифракционных линий рассчитывались по методу Харриса[6]. Измерения удельного электросопротивления ρ и дифференциальной термоэдс. α проведены при температурах 77–300 К.

Быстрозатвердевшие фольги сплава Bi–9 ат. % Sb–1,2 ат. % Sn имеют микрокристаллическую структуру и содержат дисперсные частицы олова. В таблице приведены значения полюсных плотностей дифракционных линий твердого раствора висмут-сурьма с прилегающего к кристаллизатору поверхности *A* фольги и с ее противоположной поверхности *B*. Наибольшим значением полюсной плотности характеризуется дифракционная линия $10\bar{1}2$, что свидетельствует о формировании текстуры ($10\bar{1}2$). При перемещении фронта кристаллизации от поверхности *A* к поверхности *B* текстура ослабевает. В таблице также приведены полюсные плотности дифрационных линий для поперечного сечения быстрозатвердевших фольг (*C*).

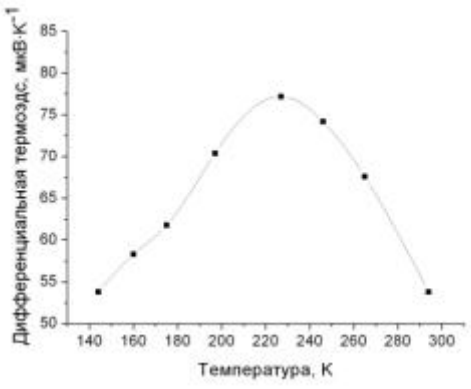
Таблица – Полюсные плотности дифракционных линий твердого раствора висмут-сурьма в фольгах

Дифракционные линии	Поверхность фольги		
	A	*B*	*C*
$10\bar{1}2$	8,0	2,9	1,7
$10\bar{1}4$	0,0	0,8	1,5
$11\bar{2}0$	0,0	0,8	1,3
$20\bar{2}0$	0,0	2,1	0,5
$20\bar{2}2$	0,0	0,4	1,0
$21\bar{3}0$	0,0	0,3	0,7
$21\bar{3}2$	0,0	0,3	0,5
0009	0,0	0,4	0,8

Температурные зависимости ρ(*T*) и α(*T*) представлены на рис. 1а и 1б.



а)

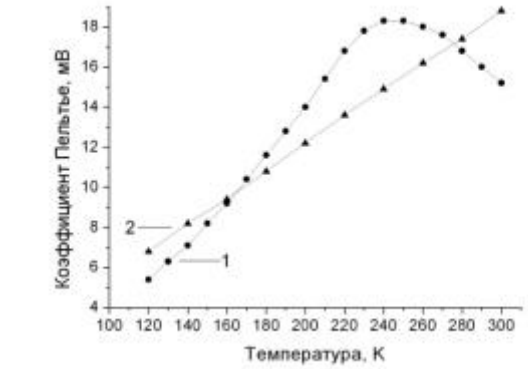


б)

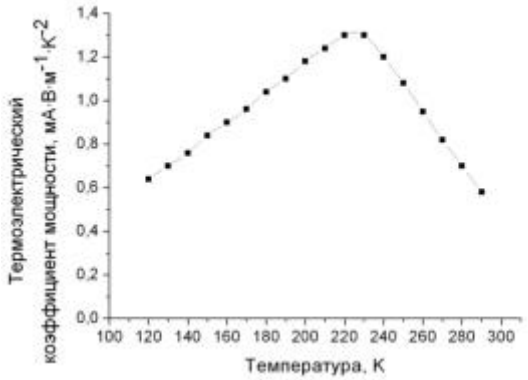
Рисунок 1 – Температурные зависимости а – удельного электросопротивления, б – дифференциальной термоэдс

С повышением температуры удельное электросопротивление монотонно увеличивается, а дифференциальное термоэдс достигает максимума при 230 К. Уменьшение термоэдс при нагреве выше 230 К обусловлено появлением электронов в зоне проводимости.

Рассчитаны температурные зависимости коэффициента Пельтье (П = α*T*) исследуемого сплава (1) и чистого висмута (2) (рис. 2 а) и термоэлектрического коэффициента мощности ($Y=\alpha^2/\rho$) исследуемого сплава (рисунке 2 г).



а)



б)

Рисунок 2 – Температурные зависимости а – клэффициента Пельтье, б – термоэлектрического коэффициента мощности

Зависимости П(*T*) и *Y(T)* характеризуются максимумами при 250 и 230 К соответственно. В интервале температур 170–275 К коэффициент Пельтье быстрозатвердевшего сплава Bi–9 ат. % Sb–1,2 ат. % Sn превышает модуль коэффициента Пельтье чистого висмута.

Полученные данные показывают, что быстрозатвердевшие фольги Bi - 9 ат. % Sb -1,2 ат. % Sn могут быть использованы для изготовления *p*-ветви низкотемпературных термоэлементов.

В процессе изотермического и изохронного отжигов исследовались термическая и временная стабильности структуры и электрофизических свойств фольг бинарного Bi – 9 ат. % Sb и тройного Bi – 9 ат. % Sb – 1,2 ат. % Sn сплавов от комнатной температуры до 200 °С. Исследования текстуры, микротвердости, удельного электросопротивления и дифференциальной термоэдс сплава Bi – 9 ат. % Sb показали, что структура и свойства сплава не изменяются при изохронном отжиге до температуры 150 °С. При температуре выше 190 °С в фольгах Bi – 9 ат. % Sb протекают рекристаллизационные процессы, приводящие к ослаблению текстуры, изменению микротвердости и удельного электросопротивления.

Добавление в состав фольг 1,2 ат. % Sn улучшает их структурную и временную стабильности, так что в процессе изохронного, а также после длительного изотермического отжига (2 часа при 190 °С) текстура и свойства фольг Bi – 9 ат. % Sb – 1,2 ат. % Sn не изменяются.

1. Hor Y. S., Cava R. J. Thermoelectric properties of Sn-doped Bi–Sb // J. of Alloys and Compounds. – 2009. – V. 479. – P. 369–371.
2. Шепелевич В.Г. Влияние гомогенизации на кинетические свойства сплавов системы Bi – Sb //Неорганические материалы. –1986. – Т.22. – С. 378 – 380.
3. Koukharenko E., Frety N., Shepelevich V.G., Tedenac J.-C. Microstructural characterization of ultrarapid quenched bismuth and antimony telluridis alloys // J. of Growth. – 2001. – V. 222. – P. 773–778.
4. Koukharenko E., Frety N., Shepelevich V.G., Tedenac J.-C. Electrical properties of $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$ materials obtained by the ultrarapid quenching // J. of Alloys and Compounds. – 2001. – V. 327. – P. 1–4.
5. Koukharenko E., Frety N., Shepelevich V.G., Tedenac J.-C. Thermoelectric properties of Bi_2Te_3 material obtained by the ultrarapid quenching process route // J. of Alloys and Compounds. – 2000. –V. 299. – P. 254–257.
6. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. – М.: Металлургия, 1969. – 655 с.

УДК681.327.11:535.2

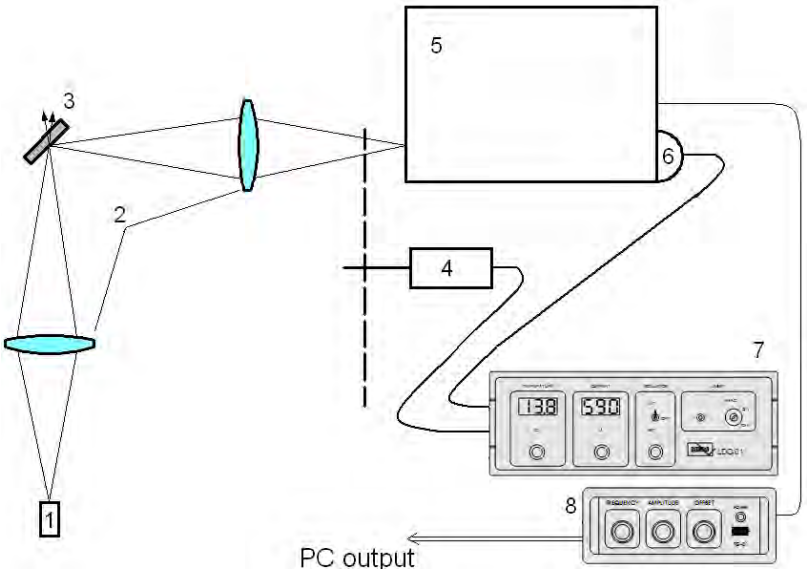
КАЛИБРОВКА ФУНКЦИИ КОЭФФИЦИНТА ПРОПУСКАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ УСТАНОВКИ

Демеш М.П., Гусакова Н.В., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С., Ивашко А.М.

НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При регистрации спектров люминесценции существенно важным является учет спектральной чувствительности люминесцентной установки. Калибровка по спектральной чувствительности представляет собой отдельную экспериментальную задачу с использованием калиброванного источника света. Такими источниками могут быть светоизмерительные лампы типа СИРШ, СИП и другие с ленточным телом накала. Такие лампы являются источником света с известным распределением яркости излучения по спектру в абсолютных единицах. Для целей люминесцентных измерений более удобными являются калибровочные галогенные источники света, которые позволяют получить относительное распределение яркости в спектре излучения.

Схема люминесцентной установки показана на рис. 1. Излучение в образце возбуждается внешним источником излучения. Образец может рассматриваться как самостоятельный источник излучения, для которого необходимо получить спектр, то есть зависимость спектральной плотности энергетической яркости излучения от длины волны, в некотором диапазоне длин волн.



1 – лазерный диод, 2 – линза, 3 – исследуемый образец, 4 – модулятор, 5 - монохроматор МДР-23, 6 – фотоприемник, 7 – синхронный усилитель, 8 – блок управления монохроматором

Рисунок 1 – Схема люминесцентной установки

Обозначим спектральную функцию (далее – просто спектр) излучения образца через Js(λ). Очевидно, что излучение от образца, прежде чем попасть на детектор, проходит через воздух, конденсор, далее через монохроматор (). Если на пути излучения от образца к детектору присутствуют другие дополнительные оптические элементы (линзы, светофильтры, поляризаторы, светоделители, и др.), то они также будут вносить вклад в искажение первичного спектра образца Js(λ).

Следовательно, первоначальный спектр излучения Js(λ) претерпевает изменения, связанные с его взаимодействием с рядом элементов оптической схемы. Обозначим спектр излучения, попадающего на детектор, через J′s(λ). Выходной сигнал детектора (обычно напряжение, или ток) U′s(λ) будет определяться через функцию J′s(λ) и спектральную чувствительность детектора S(λ) выражением

$$U'_S(\lambda) = S(\lambda) \cdot J'_S(\lambda).$$

Спектр J′s(λ), как сказано выше, получается при взаимодействии исходного излучения образца Js(λ) с оптическими элементами, стоящими на пути света между образцом и детектором. Обозначив спектральные функции коэф-

фициентов пропускания (отражения) этих n элементов через $\{\tau_1(\lambda), \tau_2(\lambda),\ldots\tau_n(\lambda)\}$, получим

$$U'_S(\lambda) = T(\lambda) \cdot J_S(\lambda)$$

где через T(λ) обозначено произведение S(λ) и $\{\tau_1(\lambda),\tau_2(\lambda),\ldots\tau_n(\lambda)\}$, по смыслу являющееся передаточной функцией установки.

Поскольку функции $\{\tau_1(\lambda), \tau_2(\lambda),\ldots\tau_n(\lambda)\}$, а в ряде случаев и S(λ), неизвестны, то вид функции T(λ) необходимо определять с помощью специального эксперимента.

Для этого необходимо измерить спектральную зависимость электрического сигнала, взяв в качестве образца источник излучения с известной в заданной области спектральной плотностью распределения яркости.

Очевидно, что условия эксперимента по определению функции T(λ) с использованием калиброванного источника и условия эксперимента по измерению неизвестного заранее спектра исследуемого образца должны быть идентичными, то есть в оптическом тракте установки должны присутствовать те же элементы и один и тот же детектор, геометрия установки так же должна быть по возможности одинаковой в обоих экспериментах. В частности, это касается ширины входной и выходной щелей монохроматора. Последнее обстоятельство важно в тех случаях, когда ширина аппаратной функции спектрометра превышает или сопоставима с характерной шириной спектральных линий в спектре излучения исследуемого образца, а также в спектре калиброванного источника и в спектрах пропускания (отражения) отдельных элементов оптической схемы, то есть при относительно широких щелях спектрометра. Например, достаточно узкие линии поглощения накладываются на спектр за счет наличия в окружающем воздухе углекислого газа и паров воды [1].

Обозначим известный спектр такого источника через $J_{S0}(\lambda)$, тогда зарегистрированный сигнал будет выражаться следующим образом

$$U'_{S0}(\lambda) = T(\lambda) \cdot J_{S0}(\lambda).$$

Из этого равенства мы можем найти функцию T(λ), а затем определить спектр люминесценции исследуемого образца Js(λ) при помощи отношения

$$J_S(\lambda) = \frac{U'_S(\lambda)}{T(\lambda)}.$$

Спектральный диапазон (400-2500 нм) был разделен на три поддиапазона в соответствии с областью чувствительности фотоприемников и спектральным диапазонами работы дифракционных решеток:

– 400 – 900 нм, дифракционная решетка 1200 штр/мм, фотоприемник Hamamatsu C5460;

– 900 – 1700нм, дифракционная решетка 600 штр/мм, фотоприемник Hamamatsu G5851;

– 1700 – 2500нм, дифракционная решетка 300 штр/мм, фотоприемник Hamamatsu G5853 [2].

В качестве эталонного источника использовалась калиброванная галогенная лампа. Для устранения дифракционных максимумов высших порядков применялись светофильтры из набора монохроматора МДР-23. Калибровочные кривые были записаны для двух состояний поляризации, а также в неполяризованном свете. В общей сложности было получено 9 калибровочных кривых для различных областей спектра и состояний поляризации света. В качестве примера на рис. 2 приведены графики калибровочной функции для двух состояний поляризации света в области 400 – 900 нм.

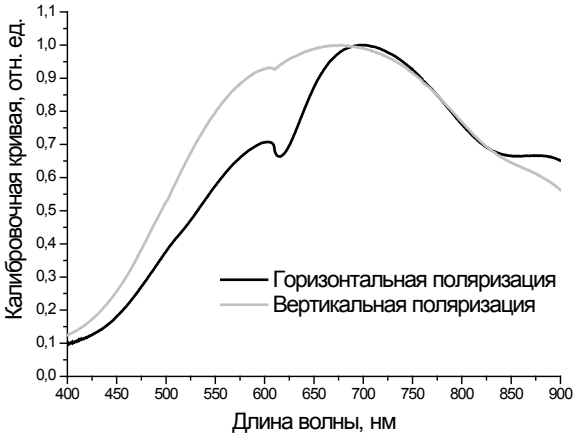


Рисунок 2 – Калибровочные кривые для горизонтальной и вертикальной составляющей поляризации света

Таким образом, результаты работы позволяют получать спектры люминесценции в диапазоне 400-2500 нм скорректированные на спектральную чувствительность люминесцентной установки.

1. Марычев М.О., Горшков А.П. Практическое руководство по оптической спектроскопии твердотельных наноструктур и объемных материалов / М.О Марычев., А.П. Горшков – Н. Новгород.:НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2007.-90 стр.
2. Официальный сайт компании Hamamatsu www.hamamatsu.com.

УДК 621.373.826:535.54

Nd^{3+}:$KG(WO_4)_2$ ЛАЗЕР С ВКР ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ В РЕЖИМЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ

Демеш М.П., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С., Гусакова Н.В., Ивашко А.М.

НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В лазерной физике для применений в лазерной дальнометрии актуальной задачей является создание надежного лазера, излучающего в условно безопасной для глаз спектральной области 1,5-1,6 мкм. Одним из путей решения данной задачи является создание излучателя, работающего на явлении вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) [1,2]. В данной работе представлен твердотельный лазер, работающий в режиме пассивной модуляции добротности с ВКР преобразованием. Преимуществом лазера с пассивной модуляцией добротности являются простота конструкции и отсутствие дополнительных элементов управления. В эксперименте использовались кристаллы Nd:KGW, матрица которых имеет рамановски активную колебательную моду с частотой 901 $см^{-1}$. Это позволяет преобразовывать фундаментальное излучение иона неодима на длине волны λ=1351 нм ($^4F_{3/2}\rightarrow{}^4I_{13/2}$) в первую стоксову компоненту λ=1538 нм.

Для анализа работы лазера с ВКР преобразованием было проведено его математическое моделирование на основе системы балансных уравнений [3]. Были получены зависимости энергии и длительности рамановского импульса от параметров резонатора. Так, на рис. 1 представлены зависимости энергии импульса (*E out Raman*) от пропусканий выходного зеркала для фундаментального (*Tl out*) и рамановского (*TR out*) излучений при различных значениях начального пропускания (*To*) пассивного затвора

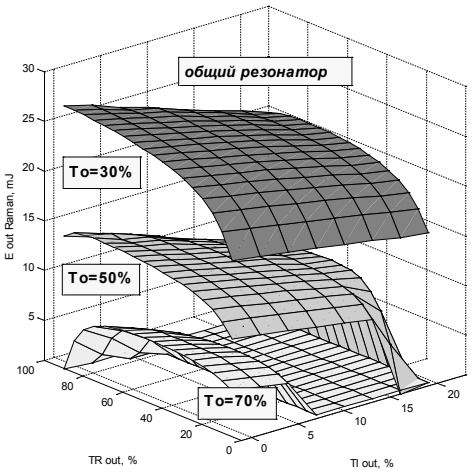


Рисунок 1 – Зависимость энергии рамановского импульса *E out Raman* от *Tl out* и *TR out* при различных значениях *To*

На основе результатов, полученных при моделировании, были выбраны параметры лазера для экспериментального изучения. Отметим, что экспериментальные результаты находятся в хорошем количественном согласии с расчетными данными.

Схема лазера показана на рис. 2. Здесь используется общий резонатор для излучения основной и стоксовой длинах волн. База резонатора равнялась 100 мм. В работе исследовались генерационные характеристики двух цилиндрических активных элементов 1 (рис. 2) размером Ø3x50 мм и Ø3,5x50 мм. Кристаллы вырезаны вдоль кристаллографической оси [010]. Излучение лазера поляризовано в плоскости, параллельной оптической оси N_m, в которой сечение стимулированного излучения имеет максимальное значение [4]. Накачка осуществлялась импульсной ксеноновой лампой. Лампа и активный элемент были помещены в цилиндрический отражатель (лампа и отражатель на рис. не показаны).

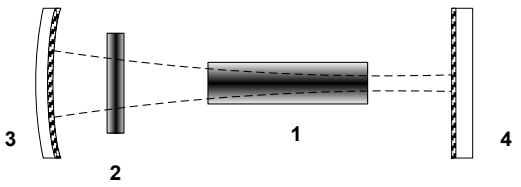


Рисунок 2 – Экспериментальная схема лазера

Для обеспечения режима пассивной модуляции добротности использовался кристалл 2 V^{3+}:YAG. Начальное пропускание затвора на длине волны 1351 нм составило 55%. Стоит обратить внимание на сильное влияние ориентации затвора на выходную энергию импульса излучения. Это обстоятельство требует точной взаимной ориентации пассивного затвора и активного элемента.

Ряд значений радиусов кривизны глухого зеркала 3 варьировался от 200 мм до плоского. Выходное зеркало 4 было плоским, причем значение пропускания на длине волны λ=1538 нм имело два значения: 80 и 90%. Для обеспечения эффективного ВКР преобразования необходимо чтобы коэффициенты отражения зеркал 3 и 4 на длине волны λ=1351 нм имели максимальное значение, а для длины волны λ=1067 нм - минимальное.

Для активного элемента размером Ø3х50 мм пороговая энергия накачки равнялась 5,95 Дж, генерация второго импульса наблюдалась при энергии 9,6 Дж. Временное расстояние между импульсами было порядка 30 мкс. Выходная энергия импульса составляла 10-11 мДж (при электрической энергии накачки ~ 7 Дж). Длительность импульса варьировалась в пределах 12…18 нс (рис. 3). При математическом моделировании импульс рамановского излучения имел беспичковую форму, однако, из рисунка видно, что импульс имеет структуру, состоящую из нескольких пичков. Такая форма импульса может быть связана с различием во времени генерации поперечных мод основной и высших порядков.

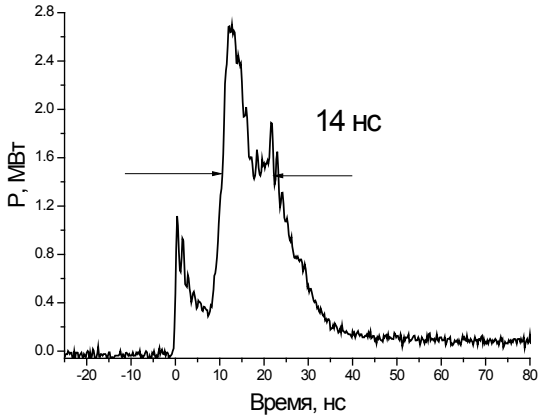


Рисунок 3 – Осциллограмма импульса генерации на длине волны 1538 нм

Пространственное распределение энергии в пятне излучения указывает на многомодовый характер генерации (рис. 4).

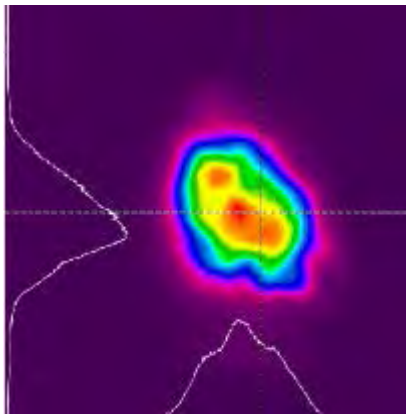


Рисунок 4 – Пространственный профиль излучения на длине волны 1538 нм

Расходимость излучения измерялась по уровню 0,5 с помощью анализатора профиля пучка. Измерялись диаметры лазерного пятна D_1 и D_2 на соответствующих расстояниях от выходного зеркала L_1 и L_2. Измерения проводились в двух плоскостях: горизонтальной X и вертикальной Y. Расходимость излучения определялась по формуле:

$$2\theta_{0,5} = (D_2 - D_1)/(L_2-L_1)$$

Уменьшение радиуса кривизны глухого зеркала от бесконечности до 200 мм приводило к увеличению расходимости от 2,5 до 8 мрад соответственно и небольшому затягиванию импульса (до 20 нс). Следует отметить, что наилучшими выходными характеристиками (расходимость и временной профиль излучения) обладает лазер с плоскопараллельным резонатором, однако в таком исполнении он сильно чувствителен к разъюстировкам.

Было установлено, что уменьшение пропускания выходного зеркала на стоксовой длине волны с 90% до 80 % привело к более стабильным временным и пространственным характеристикам выходного излучения. При этом значение выходной энергии импульсов не изменялось.

Использование активного элемента размером Ø3,5х50 мм приводило к росту энергии импульсов до 15-18 мДж и одновременному удлинению временного профиля импульса до 20-25 нс. Также увеличились первый и второй пороги генерации до 8,6 Дж и 15 Дж электрической энергии соответственно. Изменение расходимости составило от 3,2 до 8,3 мрад при уменьшении радиуса глухого зеркала от бесконечности до 200 мм.

При прочих равных условиях оптимальными параметрами обладает лазер с использованием 3-мм активного элемента и глухого зеркала с радиусом 1000 мм. Таким образом, был создан Nd:KGW лазер с ламповой накачкой в режиме пассивной модуляции добротности с внутрирезонаторным ВКР преобразованием в область 1,538 мкм, обладающего следующими выходными характеристиками: энергия импульса 8-15 мДж, длительность до 15 нс, расходимость излучения по уровню 50 % до 2,5 мрад.

1. Ustimenko, N.S., A small Raman laser based on a $KGd(WO_4)_2:Nd^{3+}$ crystal (λ=1538 nm) with passive resonator Q-switching / N.S. Ustimenko, E.M. Zabotin // Instruments and Experimental Techniques, 48 (2), 2005, 239-240.
2. Dashkevich, V.I. et.al. Dynamics of generation of a pulsed $Nd^{3+}:KGd(WO_4)_2/V^{3+}:YAG$ laser emitting in the self-frequency Raman conversation mode at λ = 1538 nm / V.I. Dashkevich et.al.// J. of App. Spectroscopy, 77 (3), 2010, 349-356.
3. Chen, W., “Diode-pumped, self-stimulated Q-switched Nd^{3+}:PbWO4 Raman laser”, / / W. Chen, Y. Inagawa, T. Omatsu et al / Optics Communications, 194 (2001), p. 401-407.
4. Chen Y., Lin Y., et.al. Polarized spectroscopic properties of Nd^{3+}-doped $KGd(WO_4)_2$ single crystal // J of luminescence, 126, 2007, 653-660.

УДК 535.34, 535.37

СТЕКЛОКЕРАМИКА С НАНОКРИСТАЛАМИ Er:PbF_2 ДЛЯ ЛЮМИНОФОРОВ ЖЕЛТО-ЗЕЛЕНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

Дернович О.П.[1], Лойко П.А.[1], Юмашев К.В.[1], Рачковская Г.Е.[2], Захаревич Г.Б.[2]
[1] *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*
[2] *Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь*

Получение новых люминофоров видимого диапазона света является актуальной задачей в настоящее время. Благодаря процессу ап- конверсии, в результате которого, после поглощения одним ионом двух и более фотонов с низкой энергией, происходит испускание фотона с более высокой энергией, свечение видимого диапазона можно получить при возбуждении люминофора инфракрасным излучением. Ап-конверсионные люминофоры широко используются как в промышленности, например, для повышения эффективности солнечных батарей [1], при производстве полупроводниковых лазерных диодов видимого диапазона [2], так и медицине – в качестве биовизуализоторов для диагностики новообразований или для фотодинамической терапии [3].

В качестве объекта исследования данной работы выбрана оксифторидная стеклокерамика, активированная трехвалентными ионами эрбия Er^{3+}, которые имеют развитую систему энергетических уровней, что способствует протеканию ап-конверсионных процессов. Оптически инертная матрица сочетает в себе привлекательные свойства фторидных и оксидных материалов, в частности, обладает низкой энергией фононов фторидов и выгодными механическими характеристиками [4].

В настоящей работе прозрачная стеклокерамика получена вторичной термической обработкой при температуре 350˚С на протяжении 30 ч стекла, синтезированного в системе SiO_2–PbO–PbF_2 и допированного оксидом эрбия Er_2O_3 (х.ч., в количестве 0.1 мол%). Образование нанокристаллической фазы дифторида свинца Er:PbF_2 подтверждено на основе рентгенофазового анализа (РФА). Диаметр формируемых кристаллов, рассчитанный по формуле Шеррера, составляет 8.5±0.5 нм, параметр решетки равен 5.810 Å. Образцы представляют собой прозрачные плоские полированные пластины толщиной 2 мм розоватого цвета, обладающие высокой оптической однородностью.

Возбуждение ап-конверсионной люминесценции в образце осуществлялось сфокусированным излучением InGaAs лазерного диода на длине волны ~960 нм. Структура используемой для возбуждения ап-конверсионной люминесценции полосы поглощения, соответствующей переходам из основного состояния иона эрбия $^4I_{15/2}$ в возбужденное $^4I_{11/2}$, приведена на рисунке 1.

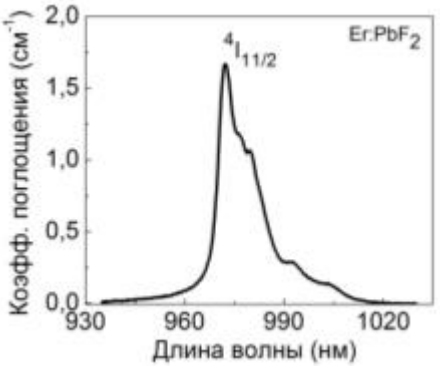


Рисунок 1 – Структура полосы поглощения, используемой для возбуждения люминесценции

В спектре ап-конверсионной люминесценции образца (рисунок 2) можно выделить полосы, связанные с переходами в основное энергетическое состояние трехвалентного иона эрбия из следующих возбужденных: $^2H_{11/2}$ (522 нм), $^4S_{3/2}$ (540 нм), $^4F_{9/2}$ (670 нм), $^4I_{9/2}$ (800 нм). Наиболее интенсивная полоса соответствует красной области спектра, следующая за ней – зеленой, общий цвет свечения образца – желто-зеленой. Структурирование полос подтверждает образование кристаллической фазы.

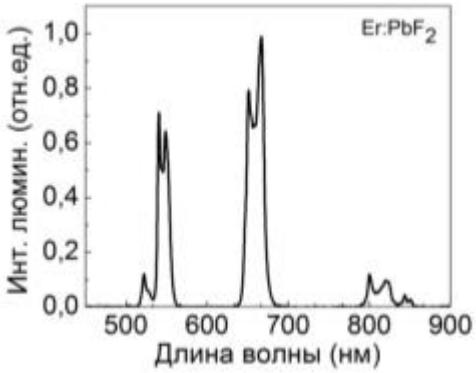


Рисунок 2 – Спектр ап-конверсионной люминесценции стеклокерамики

Кроме того, была зарегистрирована люминесценция образца в более коротковолновой области спектра, вплоть до ультрафиолетовой. Ее спектр приведен на рисунке 3. Три наиболее интенсивные полосы соответствуют переходам $^4G_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (385 нм), $^2H_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (410 нм), $^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (450 нм), $^4F_{5/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ (455 нм), осуществляемым с высоколежащих уровней энергии иона эрбия, для заселения которых требуется, как правило, три фотона излучения накачки. На-

блюдение достаточно интенсивной люминесценции в данном диапазоне спектра возможно в стеклокерамике благодаря высокой локальной концентрации ионов эрбия, которые входят в состав низкофононной нано-кристаллической фазы.

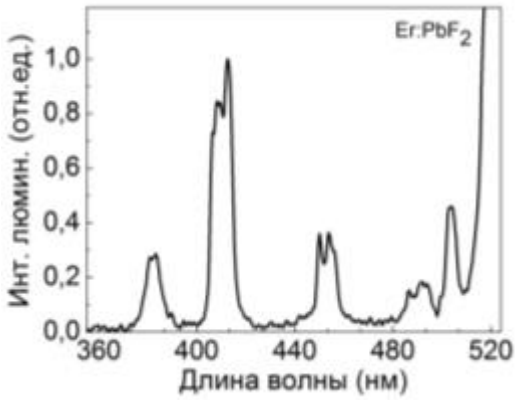


Рисунок 3 – Спектр ап-конверсионной люминесценции стеклокерамики в УФ области спектра.

Для определения количества фотонов n, участвующих в ап-конверсионном преобразовании, можно использовать зависимость интенсивности ап-конверсионной люминесценции I_{UCL} от мощности возбуждающего излучения P, так как она описывается формулой $I_{UCL} \sim P^n$. Коэффициент наклона зарегистрированных зависимостей (рисунок 4) равен ~2 для переходов, осуществляемых с уровней $^2H_{11/2}$, $^4S_{3/2}$, $^4F_{9/2}$, то есть для их заселения необходимо поглотить энергию двух фотонов возбуждения.

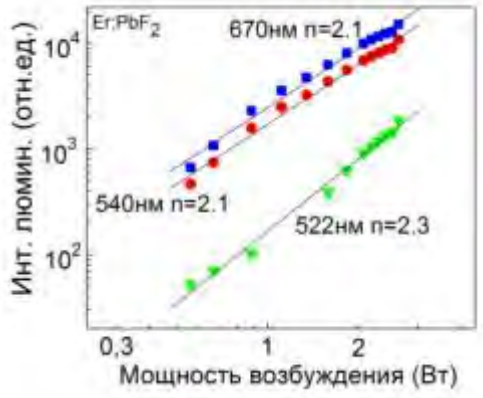


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности люминесценции от мощности возбуждения.

На схеме энергетических уровней иона Er^{3+} (рисунок 5), положение которых рассчитано по спектру поглощения материала, указаны возможные механизмы ап-конверсионного преобразования. При заселении более высоколежащих возбужденных состояний иона протекают следующие процессы: поглощение из основного состояния (GSA), поглощение из возбужденного состояния (ESA), перенос энергии между двумя близкорасположенными ионами (ET) и кросс-релаксация (CR).

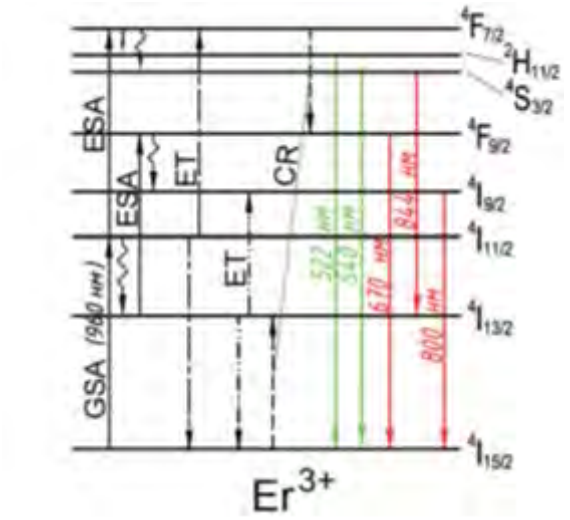


Рисунок 5 – Схема энергетических уровней иона Er^{3+} с возможными механихмами ап-конверсии.

На основе спектров ап-конверсионной люминесценции, были рассчитаны цветовые характеристики свечения стеклокерамики в цветовой координатной системе CIE 1931: координаты цветности (x=0.268; y=0.708), доминантная длина волны свечения λ_d = 559 нм, чистота цвета p_e = 0.99.

Таким образом, исследуемая оксифторидная стеклокерамика с нанокристаллами $Er:PbF_2$, обладает хорошими спектроскопическими свойствами, имеет интенсивную ап-конверсионную люминесценцию в видимом диапазоне спектра при возбуждении коммерчески доступными лазерными диодами, то есть является перспективным материалом для производства люминофоров.

1. Huang, X. Enhancing solar cell efficiency: the search for luminescent materials as spectral converters / X. Huang, S. Han, W. Huang // Chem. Soc. Rev. – 2013. – № 42. – P. 173-201.
2. Setlur, A.A., Phosphors for LED-based Solid-State Lighting / A.A. Setlur // The Electrochemical Society. – 2009. – Winter. – P. 32 – 36.
3. Wang, F. Upconversion nanoparticles in biological labeling, imaging, and therapy / F.Wang, D. Banerjee, Y. Liu // The Royal Society of Chemistry. – 2010. – № 135. – P. 1839 – 1854.
4. Zhang, J. Evolution of Strong Red Upconversion Luminescence in Er^{3+}-Containing Oxy-Fluoride Glass and Glass-Ceramics / J. Zhang, Ch. Liu, J. Heo // J. Am. Ceram. Soc. – 2014. – № 97. – P. 789–792.

УДК 535-3, 535.314

МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ ПРЕЛОМЛЯЮЩАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ЛИНЗА ДЛЯ ФОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 18 КЭВ

Дудчик Ю.И.[1], Ванг Т. [2] , Му Б.[2]

[1]*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь*

[2] *Институт точной оптической инженерии университета Тонгжи, Шанхай, КНР*

Многоэлементная преломляющая линза для рентгеновских лучей является новым элементом рентгеновской оптики. Линзы используются для фокусировки рентгеновских фотонов с энергией от 5 кэВ до 30 кэВ в пятна микронных и субмикронных размеров, а также для получения изображения объектов в рентгеновских лучах с субмикронным разрешением.

Линза состоит из большого числа двояковогнутых микролинз, изготовленных из материала с небольшим порядковым номером. Фокусное расстояние линзы f определяется как: $f = R/(2\delta N)$, где R – радиус кривизны поверхности линзы, $(1-\delta)$ – действительная часть комплексного показателя преломления материала линзы, N- число микролинз. Для практических приложений, необходимо, чтобы N выбиралось равным 100 и более, а R- от 50 мкм до 250 мкм. Такие линзы изготавливаются штампованием или с использованием LIGA технологии, что является дорогостоящим.

В НИИПФП им.А.Н. Севченко БГУ разработаны многоэлементные преломляющие рентгеновские линзы в виде стеклянного капилляра, заполненного двояковогнутыми эпоксидными микролинзами с радиусом кривизны, равным радиусу канала капилляра [1]. Разработанная методика позволяет изготавливать микролинзы с радиусом кривизны поверхности 50 мкм и меньше, что проблематично сделать другими методами. Рентгеновские линзы с радиусом кривизны 100 мкм и меньше являются короткофокуснами. Например, изготовленная нами линза, содержащая 161 микролинзу с радиусом кривизны 50 мкм, имеет фокусное расстояние 41 мм для фотонов с энергией 8 кэВ. Такие линзы можно использовать для работы с лабораторными источниками излучения, как показано нами в [2] на примере макета рентгеновского микроскопа.

Методика формирования двояковогнутых микролинз внутри стеклянного капилляра позволяет разрабатывать рентгеновские линзы с относительно большим радиусом кривизны поверхности. Оптимальный радиус кривизны поверхности линзы R определяется параметром r_a , который называется апертурой линзы из-за поглощения рентгеновских лучей в материале линзы, и рассчитывается по следующей формуле: $r_a = (2R/(\mu N))^{1/2}$, где μ -линейный показатель ослабления. Физический смысл параметра r_a состоит в том, что рентгеновские лучи, проходящие через линзу на расстоянии r_a , ослабляются в e^2 раз. Таким образом, составная преломляющая сферическая линза фактически обладает естественной диафрагмой из-за эффекта поглощения. Линзы с относительно большой апертурой целесообразно использовать для управления пучка фотонов с относительно большой энергией, например 18 кэВ, поскольку как видно из формулы для r_a апертура линзы $2r_a$ уменьшается с увеличением линейного показателя ослабления, который в свою очередь уменьшается с ростом энергии фотонов.

Нами разработана рентгеновская линза для фокусировки рентгеновского излучения с энергией фотонов 18 кэВ. Линза содержит 280 микролинз с радиусом кривизны 250 мкм каждая. Оптические параметры линзы исследовались на синхротроне Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) в г. Шанхай (КНР).

Фотография разработанной линзы приведена на рисунке 1. Рассчитанное фокусное расстояние линзы f составляет 65,6 см для фотонов сэнергией 18 кэВ.

Рисунок 1 – Фотография рентгеновской линзы, содержащей 280 микролинз с радиусом кривизны 250 мкм каждая

Линза использовалась для формирования рентгеновского пучка с энергией фотонов 18 кэВ на синхротроне Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF) в г. Шанхай (КНР). На рисунке 2 показана экспериментальная установка, на которой проводились исследования. Установка состоит из системы вывода синхротронного пучка 1, многоэлементной преломляющей линзы 2 в держателе и рентгеновской камеры 4. Линза размещена на V- образном держателе 3.

Рассчитанное фокусное расстояние линзы составляет 65,6 см. Расстояние от источника излучения до линзы – 39,3 м, размер источника излучения – 100 мкм. Согласно формуле линзы: $1/a + 1/b = 1/f$, где a – расстояние от источника

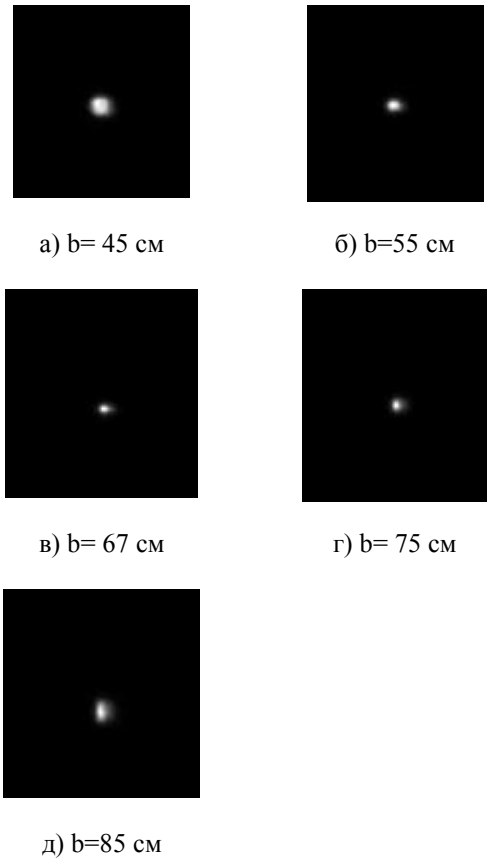
излучения до линзы, b- расстояние от линзы до плоскости изображения линзы, для a= 1600 см и f= 65,6 см, b= 66,7 см.

Рисунок 2 – Экспериментальная установка для исследований параметров рентгеновского пучка

На рисунке 3 показано изображение рентгеновского пучка сформированного линзой на различных расстояниях b от линзы. Энергия фотонов - 18 кэВ. Изображение получено с использованием рентгеновской камеры Photonic Science, модель X-ray Fast Digital Imager. Число пикселей камеры составляет 1380 x 1030, размер одного пикселя равен 6,45 мкм. Выходное окно камеры располагалась в плоскости перпендикулярной рентгеновскому пучку. Экспозиция – 0,01с.

Проведенный анализ картины рентгеновского пучка, которая показана на рисунке 3 (а-д) показал, что пятно имеет минимальный размер при b= 67 см, что достаточно точно соответствует рассчитанному положению плоскости изображения линзы.

Поскольку экспозиция при записи изображения пучка составляла 0.01 с, то разработанная рентгеновская линза может быть использована в качестве оптического элемента при проведении исследований по малоугловому рассеянию и рентгеноструктурному анализу на синхротронах третьего поколения.



а) b= 45 см б) b=55 см

в) b= 67 см г) b= 75 см

д) b=85 см

Рисунок 3 – Изображение рентгеновского пучка сформированноголинзой на различных расстояниях b от линзы

1. Yury Dudchik. Design and Application of X-Ray Lens in the Form of Glass Capillary Filled by a Set of Concave Epoxy Microlenses // Optical Fiber Communications and Devices. Edited by: Moh. Yasin, Sulaiman W. Harun and Hamzah Arof (Ed.), ISBN: 978-953-307-954-7, Publisher:InTech, February 2012.- P.77-94.
2. Дудчик Ю.И. Рентгеновский микроскоп на основе короткофокусной многоэлементной преломляющей линзы // Вест. Белорус. гос. ун-та. Сер. 1, Физика. Математика. Информатика.- 2009.- №2– С. 38 - 43.

УДК 666.223.9

СТЕКЛА ДЛЯ ЖЕСТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Дяденко М.В., Левицкий И.А., Папко Л.Ф.
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

Волоконная оптика относится к наукоемким высокотехнологичным и перспективным материалам современности. Темпы роста волоконной оптики и оптоэлектроники на мировом рынке опережают все другие отрасли техники и составляют около 40 % в год. Несмотря на имеющиеся к настоящему времени результаты, исследования в данном направлении в мировом научном сообществе интенсивно продолжаются.

Различают волоконно-оптические изделия, изготовленные на основе гибкого и жесткого оптического волокна. Данная разработка посвящена волоконной оптике на основе жесткого волокна и решает важную задачу обеспечения надежности и мобильности приборов и состав-

ляющих их компонентов – волоконно-оптических элементов (ВОЭ). К ним относятся волоконно-оптические жгуты, волоконно-оптические пластины, фоконы и твистеры, которые находят широкое применение в медицине, электронике, автомобилестроении, приборостроении, и оборонной промышленности – как основа всех приборов ночного видения.

Жесткое многомодовое оптическое волокно является основой ВОЭ и представляет собой систему, состоящую из световедущей жилы и двух (светоотражающей и защитной) оболочек.

Одной из наиболее важных проблем науки и практики современного стеклоделия, определяющих эффективное развитие электроники, медицины и приборостроения, является создание высококачественных волоконно-оптических элементов. Это определяет актуальность данной работы, посвященной синтезу стекол для световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек жесткого оптического волокна.

В последние годы широкое развитие в мировой практике получило использование в приборах ночного видения электронно-оптических преобразователей II+ и III поколения, которые характеризуются высоким качеством изображения по всему полю экрана, что достигается при высокой чистоте поля зрения. Существенной проблемой производства волоконно-оптических изделий является низкий выход годной продукции, что связано главным образом с кристаллизацией стекла для световедущей жилы в процессе вытягивания волокна. Рост спроса на изделия волоконной оптики требует увеличения объема производства, поэтому актуальным является повышение качества продукции и снижение ее себестоимости за счет совершенствования составов стекол и снижения технологических потерь на стадии вытягивания волокна.

Кроме того, технологические особенности процессов изготовления ВОЭ различного назначения требуют установления условий согласования стекол для оптического волокна по температурной зависимости вязкости, кристаллизационной способности и температурному коэффициенту линейного расширения.

Целью проводимых исследований является повышение качества волоконно-оптических изделий путем разработки составов стекол для световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек с высокой устойчивостью к кристаллизации, согласованных по реологическим, оптическим и термическим свойствам.

Стекла для световедущей жилы жесткого оптического волокна, разработанные нами на основе системы $BaO–B_2O_3–La_2O_3–TiO_2–SiO_2$ [1, 2], характеризуются устойчивостью к фазовому разделению, показателем преломления 1,8050± ±0,0005 и величиной температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), равной $(77,7±0,2)\cdot10^{-7}$ K^{-1}.

При разработке составов стекол для оболочек первостепенной и наиболее сложной задачей являлось их согласование со стеклом для световедущей жилы по реологическим характеристикам, от которых зависит стабильность геометрических параметров оптического волокна и чистота поля зрения волоконно-оптических изделий. Поэтому в настоящей работе большое внимание уделено исследованию вязкостных характеристик стекол в температурном интервале вытягивания одно- и многожильного волокон, составляющем 600–1100 °С.

Основой для разработки стекол для светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна являлась система $R_2O–B_2O_3–SiO_2$, где R_2O – Na_2O, K_2O, Na_2O+K_2O при содержании компонентов, %[1]: 65–80 SiO_2, 10–25 B_2O_3, 10–25 R_2O.

Температурная зависимость вязкости опытных стекол в интервале $10^{10}–10^4$ Па·с определялась методом сжатия образца с применением вискозиметра PPV-1000 фирмы Orton (США).

При постоянном содержании оксида бора в составе опытных стекол показатели вязкости закономерно снижаются с ростом содержания R_2O от 10 до 25 % на 2 порядка, при этом вязкость калийсодержащих стекол на 1–2 порядка выше, чем натрийсодержащих.

Температурные зависимости вязкости стекол с постоянным содержанием SiO_2 характеризуются существенным ростом градиента вязкости по мере снижения содержания оксида щелочного металла.

При температурах ниже точки Литтлтона влияние концентрационного фактора является закономерным; при более высоких температурах показатели вязкости стекол с различным содержанием R_2O сближаются и выраженной зависимости их характера от концентрации компонентов не наблюдается. Особенностью калийсодержащих стекол является рост градиента вязкости при замене B_2O_3 на K_2O в количестве от 10 до 20 %.

Установлено, что максимальные показатели вязкости достигаются при соотношении R_2O/B_2O_3 в составе стекол, близком к единице, что связано с изменением координационного состояния бора и, как следствие, степени связности структурных группировок.

Последовательная эквимолярная замена K_2O на Na_2O в составе опытных стекол обусловливает снижение показателей вязкости в измеряемом диапазоне на 1–1,5 порядка, при

[1] – Здесь и далее по тексту, если не оговорено особо, приведено молярное содержание

этом градиент вязкости несколько уменьшается. Совместное введение Na_2O и K_2O в состав опытных стекол для оболочек оптического волокна является предпочтительным с точки зрения влияния на вязкостные характеристики.

Стекла для оптического волокна должны обеспечивать высокую устойчивость стеклообразного состояния в интервале температур 600–1100 °С. В этом отношении калийсодержащие стекла характеризуются более высокой устойчивостью к кристаллизации: стекла с соотношением модификаторов и стеклообразователей, равным 0,11–0,17, не проявляют признаков кристаллизации при их термообработке в течение 24 ч.

Термомеханическая прочность оптического волокна определяется ТКЛР стекол световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна. В настоящее время в производстве используются стекла с соотношением ТКЛР световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек, равном 1:0,6:1. Установлено, что повышение термомеханической прочности оптического волокна достигнуто при данном соотношении ТКЛР, равном 1:(0,8–0,85):1. Оно обеспечивается при ТКЛР стекла для светоотражающей оболочки, составляющем $(60–65)\cdot10^{-7}$ $К^{-1}$, а для стекла защитной оболочки – $(76–77)\cdot10^{-7}$ $К^{-1}$.

При показателе преломления разработанного стекла для световедущей жилы, составляющего 1,8050±0,0005, числовая апертура A>1 достигается при показателе преломления стекла для светоотражающей оболочки не более 1,4900. Поскольку показатель преломления определяется содержанием оксидов-модификаторов, данное требование обеспечивается при количестве R_2O (K_2O и Na_2O) не более 15 %.

Защитная оболочка должна исключать проникновение световой энергии из одного волокна в соседнее при передаче ее по оптическому волокну, поэтому для обеспечения высокой оптической плотности в состав стекла вводятся красители CoO, Cr_2O_3 и Mn_2O_3 в количестве 0,4–0,45 мас. %.

С другой стороны, наличие красителей в составе стекла защитной оболочки приводит к возникновению диффузии красящих ионов в светоотражающую оболочку, что снижает контрастность рабочей поверхности волоконно-оптического элемента. Снижение степени диффузии красящих ионов достигается за счет повышения плотности упаковки структурных элементов стекла при совместном введении оксидов калия и натрия, а также добавок Al_2O_3, BaO, MgO, CaO в количестве 1–3 %. Модифицированные составы стекол имеют температурный интервал изменения вязкости от 10^9 до 10^4 Па·с для стекла светоотражающей оболочки не менее 360 °С, при этом вязкость стекол для оболочек выше вязкости стекла для световедущей жилы при температурах свыше 780±10 °С. Это обеспечивает стабильность процесса вытягивания одно- и многожильного оптических волокон.

Разработаны составы стекол для жесткого оптического волокна, устойчивые к фазовому разделению при их 24-часовой термообработке в интервале температур 600–1100 °С и характеризуются требуемым комплексом показателей. При этом вязкостные характеристики стекла для защитной оболочки согласованы с характеристиками стекол для световедущей жилы и светоотражающей оболочки.

На основе разработанных составов стекол для световедущей жилы, светоотражающей и защитной оболочек оптического волокна в промышленных условиях осуществлен выпуск опытной партии волоконно-оптических пластин.

1. Левицкий, И.А. Получение оптических стекол на основе системы $BaO–La_2O_3–B_2O_3–TiO_2–SiO_2$ / И.А. Левицкий, М.В. Дяденко, Л.Ф. Папко // Стекло и керамика. – 2011. – № 10. – С 3–6.
2. Дяденко, М.В. Стекло для световедущей жилы многожильных световодов / М.В. Дяденко, И.А. Левицкий, Л.Ф. Папко // Оптика – 2011: сб. тез. докл. VII Междунар. конф. молодых ученых и специалистов, Санкт-Петербург, 17–21 октября 2011 г. – СПб.: НИУИТМО, 2011. – С. 42–44.

УДК 666.321:666.635

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАОЛИНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Дятлова Е.М., Попов Р.Ю., Климош Ю.А, Сергиевич О.А.
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

Известно, что современное производство (авиа-, авто- и станкостроение) неразрывно связано с применением высоких температур. Такими технологическими операциями являются литье металла, получение проката, закалка и др. Применение термической обработки в приборостроении подразумевает использование высокотемпературных тепловых агрегатов (печей, индукторов и подобных им установкам). Следует отметить, что высокотемпературные агрегаты, существующие в промышленности и быту, скон-

струированы с использованием огнеупорных и термостойких керамических материалов.

Производство керамической футеровки, а также термостойких элементов конструкций печей основано на применении высоко-качественного огнеупорного глинистого сырья, в качестве которого выступают каолины и каолинит-гидрослюдистые глины, привозимые из-за рубежа (Украины и России). Отсутствие огнеупорного и термостойкого керамического материала может нанести серьезный ущерб существующим в настоящее время отечествен-ным машиностроительным и станкострои-тельным гигантам.

До недавнего времени считалось, что Республика Беларусь не располагает огнеупорным глинистым сырьем. Однако детальные исследования Гомельской и Брестской областей позволили выявить значительные до 25 млн. т залежи этого ценного природного сырьевого компонента. Конечно, по своему минеральному и химическому составу (таблица) белорусские каолины отличаются от своих зарубежных аналогов: большее количество кварцевой составляющей, избыточное содержание железистых примесей, однако основного компонента – каолинита достаточно для получения некоторых видов керамических изделий.

Таблица 1– Характеристика природных и обогащенных (мокрым способом) каолинов РБ

Показатель	Каолин «Ситница»		Каолин «Дедовка»	
	природный	обогащенный	природный	обогащенный
Содержание определяющего компонента, %*:				
SiO_2	61,7	46,1	70,3	50,7
Al_2O_3+TiO_2	25,78	35,54	19,26	34,03
Fe_2O_3	1,56	2,53	0,46	1,05
Содержание тонкодисперсных фракций, %:				
<0,01 мм	27,6	81,4	55,1	17,0
<0,001 мм	11,7	48,9	26,0	7,5
Огнеупорность, °С	1620	1710	1750	1780

*– Здесь и далее по тексту приведено массовое содержание компонентов, мас. %

Анализ потребления огнеупорных изделий свидетельствует о том, что ежегодно в республику импортируется около 16,5 тыс. т. шамотных огнеупорных материалов на общую сумму 6,4 млн. $ в год, причем от 30 до 50 % из них могут быть изготовлены на основе местного каолинового сырья. С целью расширения области применения каолинового сырья в керамической отрасли возможно его обогащение. Для улучшения качества каолинов существует множество различных способов повышения кондиционности глинистого сырья, наиболее подходящим из которых, по нашему мнению, является мокрый, основанный на фильтрации каолиновой суспензии через сита с заданным размером ячеек.

На кафедре технологии стекла и керамики Белорусского государственного технологи-ческого университета проведены работы по изучению химического, минерального и гранулометрического состава, свойств каолинов двух крупнейших месторождений Республики Беларусь – «Ситница» и «Дедовка», исследованы способы обогащения данного сырья, разработаны композиции и технологические параметры изготовления огнеупорных и термостойких керамических материалов с его использованием. В таблице приведена сравнительная характеристика природных и обогащенных каолинов указанных месторождений. Отмечается, что проведение обогащения мокрым способом позволяет улучшить качественные показатели каолинового сырья, так, например, повышается содержание основных огнеупорных компонентов Al_2O_3+TiO_2, а также огнеупорные свойства каолинов.

С использованием обогащенного сырья, разработаны составы термостойкой муллито-кордиеритовой керамики, свойства которой после обжига при температуре 1300 °С, характеризуются следующими показателями: водопоглощение – 15,6 %; открытая пористость – 31,5 %; кажущаяся плотность – 2020 кг/м^3, ТКЛР (при 300 °С) – $3{,}05\cdot10^{-6}$ К$^{-1}$; механическая прочность при изгибе – 20 МПа; удельное объемное электросопротивление (при 100 °С) – $2{,}9\cdot10^{12}$ Ом·см; усадка – 4,8 %. Фазовый состав материала представлен преимущественно кордиеритом, в качестве побочных фаз присутствовал кварц, муллит, корунд, энстатит и шпинель. Разработанные композиции применялись для изготовления партии термостойких электроизоляторов (рисунок 1), которые в настоящее время эксплуатируются в промышленных условиях в качестве конструктивных элементов тепловых агрегатов (индукторов).

Рисунок 1– Термостойкие мулито-кордиеритовые изделия с использованием обогащенных каолинов РБ

Получены образцы огнеупорных материалов алюмосиликатного типа с применением в качестве основного сырья природных и обогащенных каолинов Республики Беларусь, алюмосиликатного шамота, а также небольшого количества (до 20 %) огнеупорных глин.

Рисунок 1– Алюмосиликатные огнеупоры на основе каолинов РБ

Установлены закономерности изменения физико-технических характеристик керамических огнеупорных материалов и их фазового состава от температуры обжига и содержания каолинов «Ситница» и «Дедовка».

Выявлено, что применение необогащенного каолинового сырья позволяет получить шамотные (полукислые) алюмосили-катные огнеупорные материалы группы LF 10, в случае использования обогащенных каолинов – шамотных уплотненных алюмосиликатных огнеупорных материалов группы FC 35 согласно ГОСТ 28874 – 2004. Огнеупорность таких изделий составляет выше 1580 ºС, открытая пористость – 14,40 – 20,6 %, предел прочности при сжатии – 23 – 67 МПа, температура начала размягчения – выше 1360 ºС.

Фазовый состав опытных образцов шамотных огнеупоров представлен муллитом, кварцем, присутствует также кристобалит.

В то же время, фазовый состав огнеупорного материала, синтезированного с использованием обогащенного мокрым способом каолина несколько отличается, он представлен преимущественно муллитом, присутствует кварц, значительно снижена доля кристобалита по сравнению с образцами керамики на основе природного каолина. Микроструктура образцов поликристаллическая, мелкозернистая, текстура однородная. Кварц представлен в виде небольших зерен, распределенных равномерно по объему образца. Помимо зерен кварца в структуре материала присутствуют примеси железа в виде гематита, содержание которых значительно ниже, чем в случае использования природного сырья.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны составы оптимальных смесей, включающие природные и обогащенные каолины Республики Беларусь, а также технологические параметры, обеспечивающие получение керамических материалов техни-ческого назначения (электроизоляционные материалы и огнеупоры) с заданными физико-техническими характеристиками. Использование отечественного каолинового сырья целесообразно и обусловлено удовлетвори-тельными эксплуатационными характеристиками керамики на основе разработанных составов, экономическими соображениями, расширением сырьевой базы керамической отрасли, снижением импорта каолинового и огнеупорного глинистого сырья. Кроме того, предлагаемые разработки могут способствовать организации производства термостойкой и огнеупорной керамики в нашей стране, что будет содействовать развитию всех отраслей промышленности, являющихся потребителями этих материалов.

УДК 621.792

МЕДИЦИНСКОЕ ОРТОПЕДИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ТРАКЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЗВОНОЧНИК ЧЕЛОВЕКА

Есьман Г.А., Монич С.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современные технологии лечения и реабилитации при дегенеративно-дистрофических заболеваниях позвоночника предусматривают в ряде случаев проведение специальной разгрузки и вытяжения (тракции) позвоночного столба, направленной на восстановление или увеличение его мобильности, коррекции возникающих функциональных нарушений [1-5].

Лечение искривления позвоночника осуществляется с помощью различных тракционных устройств. Так для проведения коррекции методом горизонтального вытяжения предлагаются тракционные устройства с разными фиксационными возможностями: гибкой, полужесткой, жесткой. Гибкая - это ременная фиксация. Полужесткая - это безременная фиксация с помощью контейнеров с сыпучим материалом,

помещаемых на участки позвоночника, с последующим приложением на них усилия упорами, связанными с перемещающимися платформами тракционного устройства. Для локальной фиксации используются упоры клиновидной формы, покрытые эластичным материалом.

Одним из эффективных методов тракционного воздействия на позвоночник является использование различных физкультурных методик, предусматривающих выполнение специально подобранных упражнений [2,3], а также использование специальных утройств. Среди последних выделяют классические варианты типа Дюкроке, Котреля, Табиана и другие, в которых вытяжение позвоночника осуществляется путем тракции за голову в петле Глиссона при фиксированном тазовом поясе [4].

Вытяжение проводится путём тяги за тазовый пояс и с помощью петли Глиссона. Для вытяжения шейных отделов может быть использован специальный стул (вертикальное вытяжение). В этом случае система вертикальной тяги крепится при помощи петли Глиссона через систему блоков с обязательным расположением грузов в стороне от больного.

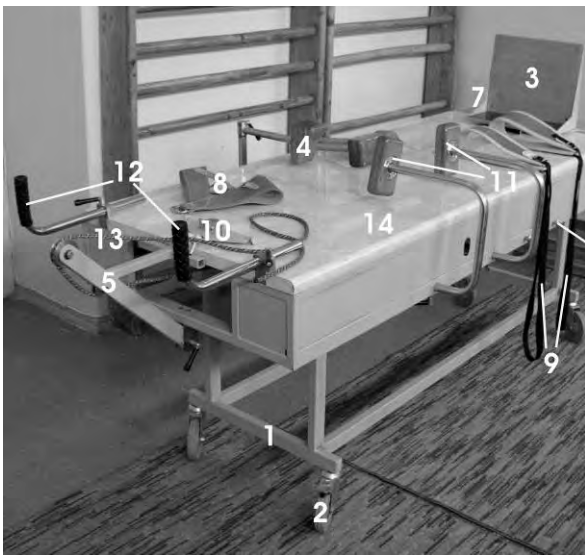
Максимальное усилие при горизонтальном вытяжении на столе достигает 250..300 Н для среднего по весу человека. Для вытяжения шейных отделов нагрузка составляет 80-100 Н. Для увеличения эффективности тракционной терапии её сочетают с мануальной.

В настоящее время предлагаются различные способы мобилизации позвоночника: плавная регулировка частоты и амплитуды механических колебаний вдоль позвоночника, сухое и подводное вытяжение позвоночника, обеспечение расположения пациента в физиологически выгодном положении для проведения мануальной терапии в условиях естественной релаксации позвоночника, создание одновременного и равномерного усилия вытяжения и т.д.

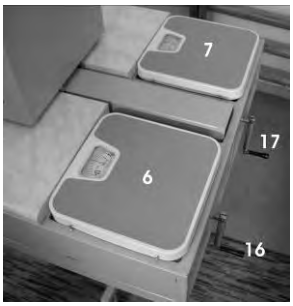
Однако функциональные возможности и эффективность проводимых процедур могут быть значительно расширены за счет возможности проведения процедур как в статическом, так и динамическом режимах, как в продольном, так и в поперечном направлениях.

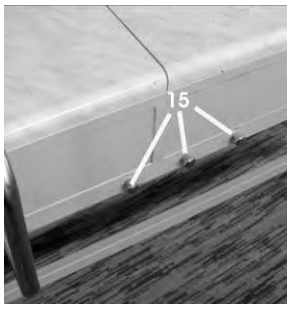
На рисунке 1 представлены фотографии разработанного тренажера, цифрами отмечены основные детали и узлы.

Форма, размеры устройства и его комплектующих отвечают требованиям эргономики, само устройство достаточно удобно в эксплуатации и обслуживании. Для передвижения внутри помещений колесные узлы имеют управляемый стопорный механизм, что позволяет удобно перемещать и устанавливать устройство. Все комплектующие детали и узлы, контактирующие с телом пациента, выполнены из соответствующих сертифицированных материалов. Сам аппарат и его комплектующие детали могут подвергаться необходимой санитарной обработке.



а





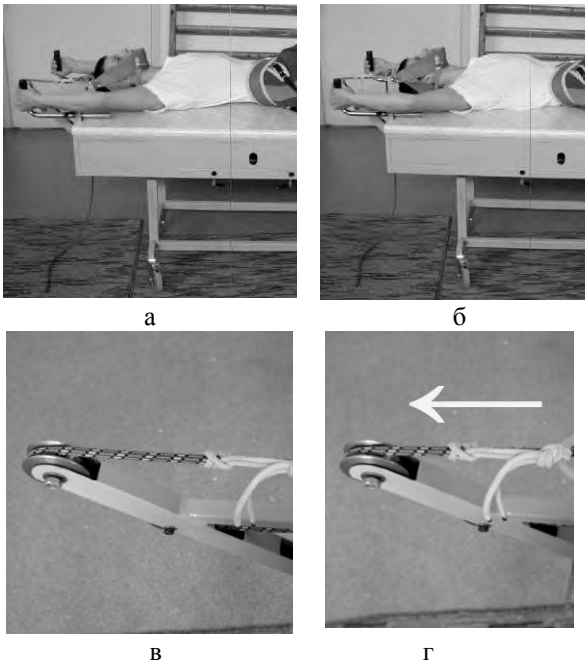
б в

а) общий вид, б) фрагмент ножного торца,
в) фрагмент боковой поверхности.
Рисунок 1 – Общий вид устройства

На рисунке 1: 1 – основание, 2 – колесо поворотной опоры со стопорным механизмом, 3 – каретка продольного перемещения для тракционного воздействия, 4 – упор для давящего воздействия каретки поперечного перемещения, 5 – блоковый передаточный механизм, 6 – измерительный механизм в виде динамометра для определения тракционного продольного усилия, 7 – измерительный механизм в виде динамометра для определения давящего поперечного усилия, 8 – петля Глиссона, 9 – фиксирующие ремни, 10 – рамка петли Глиссона, 11 – противоупоры для поперечного воздействия, 12 – поручень, 13 – канат тягового механизма, 14 – поверхность из полированного постформинга, 15 – кронштейны для фиксирования ремня, 16 – механический регулятор тракционного продольного воздействия в виде винта с рукояткой, 17 –

механический регулятор давящего поперечного воздействия в виде винта с рукояткой.

Положение пациента при проведении сеанса лежа на спине (рис.2). Тракционное воздействие на позвоночник осуществляется как встроенным тяговым механизмом аппарата, так и путем блоковой передачи динамических мышечных усилий ног и рук пациента при жесткой фиксации таза, головы или верхнего плечевого пояса за подмышечную область.



а б в г

Рисунок 2 – Тракционное воздействие на позвоночник механической блоковой передачей мускульной силы ног и рук пациента. Исходное положение пациента с согнутыми коленями – предтракционное состояние (а). Положение пациента с выпрямленными коленями – состояние тракции позвоночника (б). Вид фрагмента блокового тягового механизма, рамки, петли Глиссона и головы пациента в предтракционном состоянии (в) и в состоянии тракции (г), где стрелкой указано направление тракционного движения.

В зависимости от технического варианта модели аппарата мобилизационное воздействие на позвоночник может осуществляться только в продольно-осевом тракционном режиме или в сочетании с поперечным давлением на заданные участки туловища и/или таза. Все тракционные и мобилизационные воздействия на позвоночник могут осуществляться как в постоянном, так и переменном режимах.

Усилия всех мобилизационных воздействий на позвоночник измеряются, фиксируются и регулируются. Эффективность (результативность) мобилизационной коррекции позвоночника может объективно оцениваться путем рентгенографии пациента, находящегося в аппарате в условиях соответствующего воздействия.

Медицинское ортопедическое устройство является официальной отечественной разработкой [6] и предназначено для использования в комплексе лечебных и реабилитационных мероприятий, направленных на улучшение или восстановление коррекционной мобильности позвоночника, предупреждение негативных последствий вследствие повышенных функциональных нагрузок на позвоночный столб.

1. Cotrel Y. Traction in the treatment of vertebral deformity. // J. Bone Jt. Surg. – 1975. - №57B. – p. 260-266.
2. Przybylski J., Lukaniec T., Rogala Z. Przygotovanie przedoperacyjne dzieci ze scolioza. // Metoda Cotrel-Dubousset w operacyjnym leczeniu scolioz. – Lublin. – 1994. – s. 67-70.
3. Sastre Fernández S. Método de tratamiento de las escoliosis, cifosis y lordosis. - Barcelona. - 1995 – p.96.
4. Tessakov D.K. Preoperative preparation of the spine in patients with surgical forms of idiopathic scoliosis. // European spinal resonans – 2001. - № 28 – p. 1083-1089.
5. Zarzycki D., Tesiorowski M., Bakalarek B., Zarzycka M. Wyciag czaszkowo-udowy w leczeniu operacyjnym scolioz idiopatycznych. // Chir. Narz. Ruchu Ortop. Pol. – 1992. - №57. – s.156-157.
6. Патент № 14526 Республики Беларусь на изобретение «Устройство для вытяжения позвоночника человека». Авторы: Габец В.Л., Есьман Г.А., Тесаков Д.К., Киселев М.Г., Монич С. Г.

УДК 621.326

ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ К ВЕЛИЧИНЕ СВЕТОВОГО ПОТОКА СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Журавок А.А., Сернов С.П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из задач, возникающих при проектировании неизображающих оптических систем светотехнического оборудования транспортных средств, является оценка необходимого светового потока для соответствия Правилам ЕЭК ООН. На начальном этапе проектирования необходимо осуществить подбор первичного источника света, которым в нашем случае является светодиод. Размеры и форма светодиода, размеры его кристалла и распределение силы света являются отправной точкой для конструирования вторичной оптики фонаря [1]. Однако при подборе светодиода необходимо ориентироваться на интегральный (суммарный) световой поток, который он может обеспечить при сохранении оптимального энергопотребления и рассеиваемого тепла. Этот световой поток должен с некоторым запасом перекрывать требования, регламентированные Правилами ЕЭК ООН на конкретный вид фонаря или фары.

Расчет интегрального светового потока производится интегрированием фотометрического тела источника света. Фотометрическое тело является наиболее полной характеристикой, описывающей распределения силы света в окружающем пространстве.

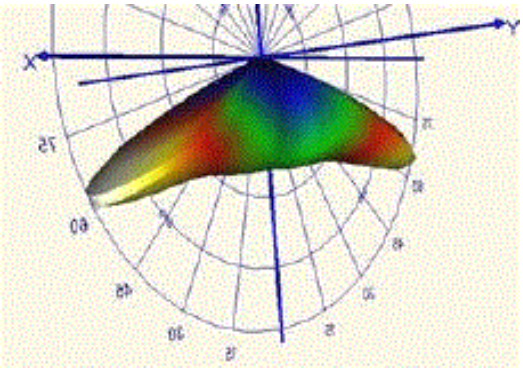


Рисунок 1 – Пример фотометрического тела

Однако Правила ЕЭК ООН не регламентируют фотометрическое тело источника света и не описывают требования к кривым силы света (КСС) в явном виде. В них описываются лишь точки, линии и зоны, в которых производятся измерения и требуемые минимальные, либо максимальные значения величины силы света. Также указываются дополнительные требования, касающиеся однородности, допустимости пятен и линий, а также условий измерения.

По этой причине вначале необходимо произвести восстановление фотометрического тела по имеющимся данным. При этом, т.к. стоит задача определения минимально достаточного светового потока, из рассмотрения можно исключить точки, линии и зоны, накладываются только ограничения максимального значения силы света.

Одной из особенностей при описании фотометрического тела по измерительной сетке является то, что точки и линии имеют менее двух измерений в пространстве и, следовательно, не вносят вклад в интегральную силу света, хотя очевидно их нельзя исключать из рассмотрения. Решение данной проблемы вытекает из самой методики измерения. При измерении величины силы света, либо освещенности в определенной точке пространства существует некоторая погрешность σ в определении угловых координат. Эта величина зависит как от погрешности измерительного прибора, так и от методики проведения измерений. Из этого следует, что реальные размеры измеряемой области пространства не должны быть менее 2σ в любом направлении. Таким образом, под точкой следует понимать зону шириной 2σ и высотой 2σ, а под линией – зону шириной 2σ.

При описанном подходе, фотометрическое тело осветительного прибора, соответствующего Правилам ЕЭК ООН может быть представлено как совокупность поверхностей S_1, S_2 … S_n, каждая из которых задана функциями $f_1(h,v)$, $f_2(h,v)$ … $f_n(h,v)$ и их областями определения s_1, s_2 … s_n. Искомый интегральный световой поток в таком случае имеет вид:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n} \iint_{S_i} f_i(h,v)\,dh\,dv \qquad (1)$$

Учитывая, что величина силы света в пределах зоны постоянна, и равна I_i, вычисление интегрального светового потока упрощается:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n} I_i \Delta h_i \Delta v_i, \qquad (2)$$

где Δh и Δv – ширина и высота зоны.

Но следует помнить, что при наличии требований к равномерности распределения силы света между зонами, при расчете необходимо вводить дополнительные поверхности, которые обеспечат необходимую плавность перехода между основными зонами.

При оценке минимального необходимо интегрального светового потока также необходимо учитывать особенности конструкции разрабатываемой вторичной оптики. Часто оптические элементы имеют осесимметричную конструкцию. В этом частном случае, при оценке требуемого интегрального светового потока следует строить осесимметричное фотометрическое тело.

Переход к осесимметричному фотометрическому телу представляет собой вращение исходного тела вокруг начала координат. При этом все точки, линии и зоны трансформируются в кольца, которые могут накладываться друг на друга. Для описания этих областей необходимо определить их внутренние и внешние радиусы R_1 и R_2. Из геометрических соображений, внутреннюю окружность кольца опишет та точка области, которая находится ближе всего к началу координат, а внешнюю окружность опишет самая дальняя от начала координат точка. Таким образом, нахождение радиусов сводится к нахождению самой близкой и самой удаленной от начала координат точки.

Зоны, имеющие форму колец, задают осесимметричное фотометрическое тело. Благодаря осевой симметрии, распределение силы света описывается единственной КСС, полученной пересечением фотометрического тела и любой плоскостью, проходящей через ось симметрии. Для ясности возьмем плоскость, проходящую через ось симметрии и координатную ось H. В этом случае КСС представляет из себя кусочно-линейную функцию I(r), где r – координата на оси H.

$$I(r) = \begin{cases} I_1(r), R_{11} < r < R_{21} \\ \dots \\ I_n(r), R_{1n} < r < R_{2n} \end{cases}, \quad (3)$$

где R_{1i} и R_{2i} – границы области определения кусочной функции, которые определяются расстояниями до наиболее близкой и наиболее удаленной точек, принадлежащим i-й зоне измерительной сетки.

Как было сказано выше, кольца могут накладываться друг на друга и в области наложения возникает неоднозначность значения КСС. Каждая кольцевая зона может быть представлена в виде отдельной функции, а за значение результирующей КСС в конкретной точке, принимается максимальное из значений всех функций в данной точке.

Таким образом, интегральный световой поток для осветительного прибора, соответствующего Правилам ЕЭК ООН и имеющего осесимметричное фотометрическое тело может быть вычислен следующим образом:

$$\Phi = 2\pi \sum_{i=1}^{n} \int_{R_{1i}}^{R_{2i}} r\, I_i(r) dr. \quad (4)$$

В наиболее простом случае, когда значение функции постоянно на каждом участке и равно I_i, формула (4) преобразуется в более простой вид:

$$\Phi = \pi \sum_{i=1}^{n} (R_{2i}^2 - R_{1i}^2)\, I_i. \quad (5)$$

Рассчитанный интегральный световой поток является оценкой минимального необходимого значения на выходе прибора. Для оценки необходимых характеристик первичного источника света необходимо разделить данную величину на коэффициент эффективности вторичной оптики, который не может быть точно известен на этапе конструирования, но может быть заложен с достаточной точностью. Например, если известно, что современные неизображающие линзы имеют коэффициент эффективности 80-90%, то для обеспечения некоторого запаса можно принять коэффициент равным 0,7 [2].

Восстановление фотометрического тела, исходя из требований к осветительному прибору и дополнительных условий измерений его характеристик, является отправной точкой при анализе будущей конструкции и подборе ее компонентов и материалов. Особенно это актуально для светодиодных приборов, где необходимо оптимальное использование светового потока. Одной из ключевых задач является оценка минимально необходимого интегрального светового потока. Предложенная в статье методика позволяет решать ее с применением вычислительной техники. Методика так же применима для задач, где требования к источникам света заданы на произвольных областях нелинейными функциями.

1. Балохонов Д.В., Журавок А.А., Сернов С.П., Колонтаева Т.В. Вторичная неизображающая оптика модуля несменного источника света// Наука – образованию, производству, экономике. Материалы седьмой международной научно-технической конференции, Минск, 2009. В трех томах. Том 3./редкол.: Б.М.Хрусталев [и др.].-Минск: БНТУ, 2009.-с.20
2. А.А. Журавок, С.П. Сернов. Учет потерь светового потока при моделировании неизображающей оптики. //Материалы 4-й Международной студенческой научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения». Минск, БНТУ, 2011, с.201.

УДК 621.762:71; 539.216; 538.951-405

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ БИНАРНЫХ НИТРИДОВ Ti-Al-N РЕАКТИВНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ С ОПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Зайков В.А., Комаров Ф.Ф., Бурмаков А.П., Климович, И.М., Кулешов В.Н., Людчик О.Р.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Введение. Процессы реактивного магнетронного нанесения покрытий обладают высоким потенциалом получения пленок химических соединений. Основной проблемой таких процессов являются невоспроизводимость состава покрытий при их формировании в «переходных» режимах горения магнетронного разряда. Эта проблема обусловлена неустойчивостью параметров разряда и химического состава осаждаемого потока. В то же время «переходные» режимы представляют значительный интерес для получения покрытий с широким диапазоном соотношения концентрации металлической и газовой компонент, а также получение приемлемой скорости их роста. Стабилизировать процесс распыления в «переходных» режимах можно стабилизацией состояния системы катод-плазма-подложка путем управления расходом реактивного газа. Наиболее эффективными методами управления реактивными магнетронными технологиями, подходящими для широкого круга процессов, являются методы, базирующееся на оптической эмиссионной спектроскопии [1].

Основной задачей настоящей работы является определение параметров осаждения, позволяющих достичь высокой воспроизводимости химического состава пленок Ti-Al-N и их оптимальных физических свойств: твердости износостойкости и др.

Метод формирования бинарных нитридов заданного состава. В настоящей работе использовался одноканальный алгоритм управления , который сводится к регистрации и поддержанию на заданном уровне интенсивности одного контрольного спектрального элемента. В работе в качестве контрольного участка была выбрана атомная линия титана Ti 506,4 нм

Для осаждения покрытий использовался магнетронный распылитель с составным катодом, представлявшим собой титановую мишень с алюминиевыми вставками по диаметру зоны распыления. Использовались также источник питания постоянного тока и система управления расходом рабочих газов (аргон, азот), содержащая спектрометр S100. Система управления позволяла поддерживать давление в вакуумной камере путем управления расходом аргона, а также поддерживать химический состав осаждаемого потока путем управления расходом азота.

Режимы реактивного магнетронного нанесения задавались следующими параметрами: давление $P = 5{,}4 \cdot 10^{3}$ мм. рт. ст.; напряжение на источнике питания U = 300 320 В; ток разряда I = 1,3 - 1,75 А; смещение на подложке U = - 90 В; температура подложки T = 450 °C.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Основным параметром, определяющим свойства пленок Ti-Al-N , является степень реактивности процесса. Степень реактивности **α** определялась из спектроскопических характеристик разряда по формуле [1]:

$$\alpha = \frac{I_0 - I}{I_0 - I^*}\ , \qquad (1)$$

где I_0 - интенсивность атомной линии металла мишени (λ = 506,4 нм);

I - текущая величина интенсивности линии титана при осаждении;

I* - интенсивность линии металла для полностью азотированной мишени.

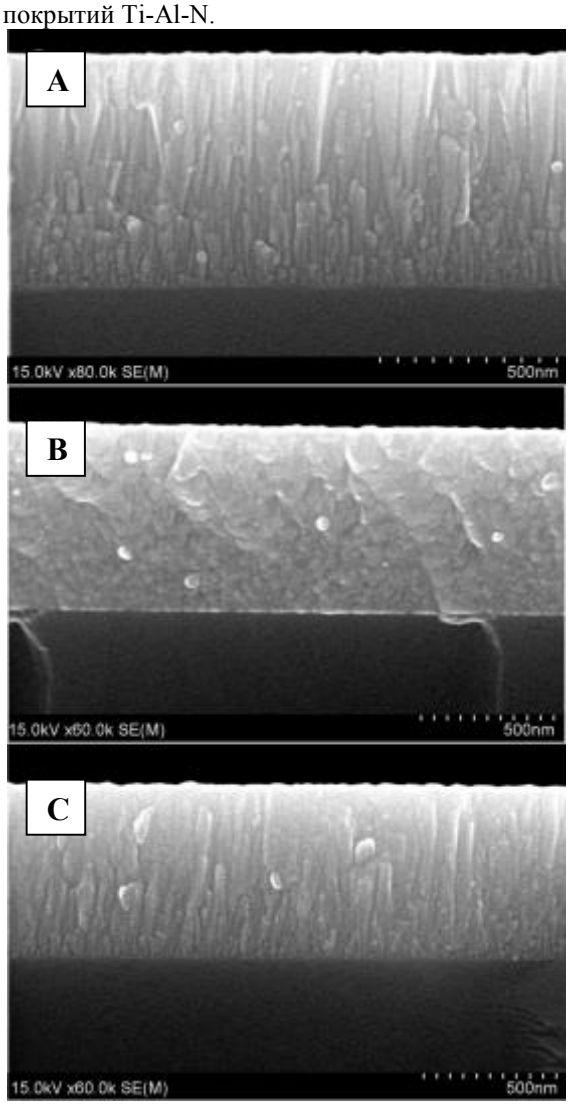
Исследовались пленки различного состава, полученные в результате напыления со степенями реактивности (α = 0,48, α = 0,54, α = 0,58). Время напыления выбиралось в соответствии с предъявляемыми требованиями к толщине покрытия. Некоторые пленки требовали напыления подслоя TiAl для улучшения адгезионных качеств покрытия.

Элементный состав пленочных структур исследовался методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР). Анализ спектров РОР покрытий Ti-Al-N , полученных при различном соотношении потоков частиц Ti и азота сводится к следующим положениям. Кислород присутствует только в поверхностном слое. Так как толщина окисла достаточно мала (~ 30 нм), можно сделать вывод о том, что поверхность пленки окисляется под воздействием окружающей среды после выгрузки образцов из вауумной камеры. Отношение Al/Ti в покрытии определяется степенью реактивности **α:** Al/Ti = 0,51 (α = 0,58) и Al/Ti = 0,61 (α = 0,53). Значение α = 0,53 соответствует режиму с дефицитом азота в покрытии, α = 0,58- стехиометрическому составу, а α = 0,65 – избытку азота в покрытии.

Толщина покрытий измерялась с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) марки Hitachi S-4800 на сколах образцов и составляла 680 - 720 нм. Скорость напыления пленок Ti-Al-N при различном содержании азота в смеси рабочих газов отличается и составляет: для α = 0,65 (68 нм/мин); для α = 0,58 (70 нм/мин) и для α = 0,53 (72 нм/мин).

На рис. 1 представлены фотографии сечений

покрытий Ti-Al-N.



A - α = 0,53, B - α = 0,58, C - α = 0,65

Рисунок 1 - Фотографии сечений покрытий Ti-Al-N

Для пленок с избытком и дефицитом азота (фотографии А и В) характерна столбчатая структура. В покрытиях стехиометрического состава (фотография С) столбчатая микроструктура переходит в глобулярную микроструктуру. Превращение столбчатой микроструктуры в глобулярную объясняется как трансформация однофазной системы в двухфазную. В случае пленки с глобулярной структурой формируется двухфазная пленка из смеси зерен TiN с ГЦК структурой и AlN с гексагональной решеткой типа вюрцита.

Измерение микротвёрдости покрытий на основе Ti-Al-N проводилось на твердомере DuraScan 20. С целью учета влияния толщины покрытия на регистрируемые значения микротвердости измерения проводились при разных нагрузках: 0,98; 0,49; 0,24 и 0,09 Н. Результаты измерений микротвердости покрытий, полученных при различных степенях реактивности α, представлены в табл. 2.

Таблица 1 – Измерений микротвёрдости (ГПа)

Подложка	α	Нагрузка Р, Н			
		0,09	0,24	0,49	0,98
сталь 12Х18Н10Т	0,65	11,02	5,39	3,26	2,80
	0,58	19,71	16,97	10,45	3,58
	0,53	15,56	13,19	8,47	3,27

По сравнению с микротвердостью подложки (3,59 ГПа), значения Н для нанесенных в стехиометрическом режиме покрытий увеличивается в 5,48 раз. Как следует из таблицы 1, величина микротвердости значительно зависит от условий нанесения. Наилучшие показатели твердости при умеренной нагрузке (Н изменяется от ~ 11 до ~ 20 ГПа) соответствуют стехиометрическому режиму нанесения со степенью реактивности α = 0,58.

Заключение. Проведенные исследования показали, что структура и механические свойства покрытий существенно зависят от условий их напыления. Пленки Ti-Al-N с дефицитом или избытком азота имеют столбчатую структуру, в то время как пленки стехиометрического состава имеют глобулярную структуру; установлено, максимальное значение твердости (19,7 ГПа) соответствуют пленкам с глобулярной структурой стехиометрического состава. Таким образом, полученные экспериментальные результаты доказывают возможность эффективного использования защитных покрытий Ti-Al-N в промышленности, включая режущие инструменты и иную оснастку для металлообработки.

1. Бурмаков, А.П. Спектроскопическая система контроля расхода газов и содержания примесей в процессе магнетронного осаждения пленок / А.П. Бурмаков, В.Н. Кулешов // Журнал прикладной спектроскопии. – 2007. – Т. 74. № 3. – С. 412 – 416.

УДК 001.892.001.13

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «УМНАЯ КУХНЯ»

Зайцева Е.Г., Михайловский В.В., Ткачев Д.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Началом проектирования технической системы (ТС) можно считать техническое предложение, где излагаются основные идеи по внедрению изменений в ТС по отношению к предыдущему варианту. Эти идеи возникают на основе анализа патентов, публикаций и других источников информации. Количество и технический уровень таких идей может варьироваться бессистемно, поэтому в некоторых случаях разрабатываемые изделия являются бесперспективными.

Целью настоящего исследования является прогнозирование ТС «умная кухня» на основе построения иерархии ТС и использования законов развития ТС [1,2,3].

ТС «умная кухня» выполняет следующие функции: преобразование продуктов в пищу, хранение продуктов и пищи. Иногда имеет место выполнение и третьей функции – обеспечение употребления продуктов и пищи. В свою очередь, первая функция делится на две: механическое преобразование продуктов и их термическая обработка.

С учетом трех перечисленных функций ТС «умная кухня» можно рассматривать как надсистему (НС) состоящую из трех ТС, причем первая ТС (для преобразования продуктов в пищу) состоит из двух подсистем (ПС): для механического преобразования продуктов и для их термической обработки.

Механическое воздействие предусматривает отделение неиспользуемой части продуктов, измельчение твердых продуктов, разделение или соединение твердой и жидкой фракций, утилизацию остатков продуктов.

Первая функция выполняется чаще всего вручную, в случае автоматического выполнения требуется дополнительная ручная обработка (функция картофелечистки в комбайне). В соответствии с законом перехода в надсистему главный показатель качества ТС со временем растет сначала медленно, потом быстрее (возможна аппроксимация прямой) затем снова происходит замедление его роста. В качестве главного показателя ТС для отделения неиспользуемой части продуктов примем отношение количества подлежащих удалению частей продукта к общему количеству удаленного продукта. Очевидно, что для ручных инструментов (ножи) и механических бытовых устройств (картофелечистка в комбайне) этот коэффициент составляет не более 50%, Для промышленных ТС, например устройства для одновременного удаления сердцевины болгарского перца изменением давления, он может быть и выше. Применение закона полноты частей системы обнаруживает отсутствие или недостаточно высокий уровень развития системы управления, Анализ ТС на основе других законов (адаптивности, перехода на микроуровень, повышения степени вепольности и т.д.) также свидетельствует о неисчерпанных резервах собственного развития. На основании вышеизложенного можно утверждать, что совершенствование ТС для отделения неиспользуемой части продуктов будет связано с введением привода, системы управления, заменой одного рабочего органа (лезвия), большим количеством лезвий (переход на микроуровень), имеющих возможность переориентироваться в пространстве во время обработки. Следующим этапом совершенствования систем в соответствии с законом увеличения степени вепольности является замена механической обработки воздействиями другой физической природы, управлять которыми проще.

ТС для измельчения твердых продуктов, разделения или соединения твердой и жидкой фракций в настоящее время представлены кухонными комбайнами либо отдельными элементами с электрическим и ручным приводом (мясорубки, соковыжималки, терки, миксеры и блендеры для молочных коктейлей. Показателем качества для этих ТС является их производительность (отношение массы переработанных продуктов ко времени переработки с учетом вспомогательных операций). На современном этапе развития ТС указанного назначения основное время обработки незначительно, но велико время сборки, разборки, чистки. Кроме того, в большинстве случаев в системе управления отсутствуют устройства для точного определения необходимого времени обработки. Поэтому дальнейшее совершенствование ТС для измельчения твердых продуктов, разделения или соединения твердой и жидкой фракций будет связано с совершенствованием подсистем для вспомогательных операций, а также введением в систему управления устройства для точного определения необходимого времени обработки. Аналогично предыдущей ТС, в перспективе возможно не механическое воздействие на продукты, а применение других физических полей.

В соответствии с законом перехода в надсистему при достижении главными показателями максимально достижимых значений ТС для отделения неиспользуемой части продуктов и ТС для измельчения твердых продуктов, разделения или соединения твердой и жидкой фракций, объединятся в общую систему, Эта новая

НС не обязательно будет системой для механического преобразования продуктов, т.е. преобразование может осуществляться физическими полями другой природы.

Утилизация остатков продуктов в настоящее время в современных кухнях не производится. Система удаления отходов, представляет собой сочетание емкости для мусора внутри кухни, общего мусоропровода или бака для мусора, транспорт для доставки мусора на свалки. Данная система не является экологически благоприятной. Поэтому целесообразно изменить функцию части данной системы внутри «умной кухни» на функцию утилизации с учетом того, что система утилизации выходит за пределы кухни. Таким образом, в «умной кухне» должен присутствовать начальный элемент утилизации. К нему можно предъявить следующие требования: отсутствие контакта остатков продуктов в любом агрегатном состоянии с помещением кухни, компактность, удобство перемещения отходов разных видов в остальные элементы системы утилизации. Соответственно в качестве главного показателя для ПС «начальный элемент утилизации» можно рассматривать произведение тех коэффициентов: коэффициента изоляции от внешней среды, коэффициента компактности и коэффициента дифференциации отходов. Первый из них представляет отношение количества собранных отходов к количеству отходов в любом агрегатном состоянии, проникающих в единицу времени в окружающую среду. Второй коэффициент есть отношение объема отходов к объему емкости для их содержания. Третий равен отношению количества дифференцированных отходов к общему количеству отходов. Значение первого коэффициента в настоящее время невелико, т.к. емкости для мусора не герметичны, газообразная составляющая отходов проникает в окружающую среду. Второй коэффициент можно принять равным примерно 50 %. Так как конструкция емкостей не предусматривает дифференцирования отходов, третий коэффициент практически равен 0. Следовательно, значение главного показателя элемента утилизации является низким, и соответственно этот элемент должен быть повергнут значительному усовершенствованию.

Необходимо отметить, что вышеизложенное относится и к устройствам для утилизации, входящим в состав ТС для хранения продуктов и пищи, а также для обеспечения употребления продуктов и пищи.

Термическое воздействие на продукты осуществляется следующими способами: контактное воздействие с нагретой или холодной средой через емкость или жидкость, конвекция (непосредственное воздействие воздушной среды), воздействие инфракрасным или СВЧ излучением.

ТС для выполнения этих функций представлены как комбинированные устройства: печь СВЧ с функциями конвекции и гриля, электроплита с этими же функциями. Чаще встречаются устройства, выполняющие лишь одну функцию, в том числе мультиварки и пароварки. В качестве главного показателя этой ТС можно рассматривать отношение массы обрабатываемых продуктов к затраченной энергию. Эта энергия представляет произведение мощности устройства и времени обработки. Увеличение главного показателя может быть достигнуто за счет уменьшения времени обработки при точном определении момента окончания процесса, оптимальном согласовании пространственных и временных параметров теплового поля.

Закономерной тенденцией развития ТС для преобразования продуктов в пищу будет являться объединение в ней двух систем: для механического преобразования продуктов и для их термической обработки. Примером такой системы является «хлебопечка», т.к. она выполняет одновременно две функции - преобразование продуктов и их термическую обработку.

Хранение продуктов и пищи осуществляется ТС «холодильник», «упаковка», «шкафы для хранения продуктов», «устройства утилизации просроченных продуктов и пищи». Эти ТС предназначены для обеспечения необходимых условий хранения: создания соответствующих режимов по температуре, освещенности, влажности, срокам хранения. Если холодильник является в определенной степени развитой технической системой, то вторая, третья и четвертая ТС находятся на начальной стадии своего развития. Анализ главных показателей ТС этих систем, показывает, что перспективным является совершенствование ТС «упаковка», связанной с внешними ТС в торговле и транспортировке., а также объединение вышеуказанных ТС.

Выполнение третьей функции (обеспечение употребления продуктов и пищи) осуществляется ТС «мебель» (столы, стулья), «посуда», «устройства обработки посуды», «устройства утилизации остатков продуктов, пищи и посуды». Указанные ТС также имеют низкие значения главных показателей и соответственно большой потенциал с точки зрения дальнейшего развития.

1. Мещеряков, Р.В. Информационные иерархические системы // Известия Томского политехнического университета. – 2009. - Том 314, вып. № 5, - С, 150 -154
2. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. – М.: Советское радио, 1979. – 116 с.
3. Джонс, Дж. Методы проектирования. - М.: Мир, 1986 - 326 с.

УДК 51-73

БИОСЕНСОР СО ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ НАНОПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Змитрович Т.В.[1], Захлебаева А.И.[2], Горох Г.Г.[2], Таратын И.А.[1,3], Хатько В.В.[1]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный университет радиоэлектроники и информатики Минск, Республика Беларусь
[3]ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», Минск, Республика Беларусь

Биосенсор - это устройство, включающее биологический чувствительный элемент, тесно связанный с преобразователем либо интегрированный с ним. В основу описанных к настоящему времени конфигураций биосенсоров положено принципиально новое объединение хорошо известных ранее и не связанных друг с другом подходов. Одним из новейших подходов является использование встречно-штыревых электродов, для детектирования микроорганизмов. Основными преимуществами таких сенсоров являются их малые габариты, высокая чувствительность и быстрый отклик. Многие сенсоры созданы на основе модифицированных электродов [1]. Существует два типа биологических сенсоров на основе встречно-штыревых электродов: емкостные и резистивные, отличающиеся чувствительно-распознающим слоем. В емкостных сенсорах чувствительный слой действует как диэлектрик между двумя параллельными штыревыми электродами, в резистивных - чувствительный слой является резистором между двумя электродами. Откликом таких устройств является соответственно изменение емкости или сопротивления [2].

Конструкция биосенсора. Конструкция встречно-штыревого датчика схематично представлена на рисунке 1, параметры датчика определяются длиной и шириной электродов, зазором между электродами и их количеством. Величина сигнала пропорциональна площади поверхности всего массива, а фоновый шум пропорционален площади электродов.

Отношение сигнал – шум может быть увеличено за счет уменьшения ширины электродов, вследствие влияния объединения сферической и вертикальной диффузии носителей в области электродов. Близость электродов приводит к увеличению чувствительности и малому времени отклика. Повышение величины сигнала и соотношения сигнал-шум является результатом увеличения площади поверхности электродов за счет увеличения их толщины и выбора материала электродов [2]. Для лучшего понимания функционирования биосенсора со встречно-штыревыми электродами на рисунке 2 показано строение бактерии и представлена эквивалентная схема измерения импеданса с бактерией на гребенке.

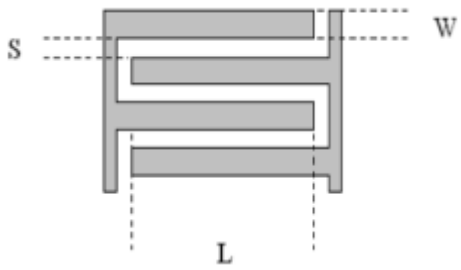
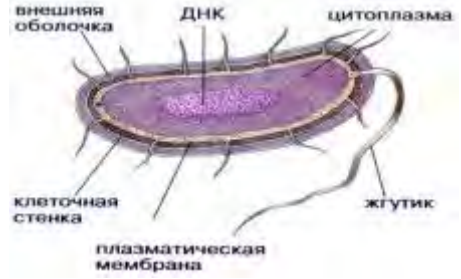
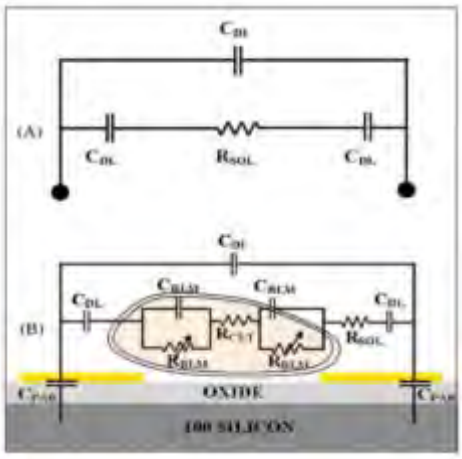


Рисунок 1 – Конструкция встречно-штыревого биосенсора:L – размер перекрытия электродов; S – ширина зазора; W – ширина электрода



а)



б)

Рисунок 2 – Строение бактерии (а) и эквивалентная схема (б) измерения импеданса резистивного биосенсора в растворе (А) и с бактерией (В) [3]

Удельное сопротивление цитоплазмы бактерии составляет ~10^6 Ом/см^2, емкость двухслойной липидной мембраны ~1 мкФ×см^2. Эти электрические характеристики вызывают изменение сопротивления и емкости между штыревыми электродами. На рисунке 2б представлена эквивалентная схема, используемая для измерения

импеданса электродов в растворе (A), где C_{DL} – емкость двойного слоя между электродом и электролитом, C_{DI} – диэлектрическая емкость электролита, R_{sol} – сопротивление раствора. Здесь также представлена эквивалентная схема (B) для бактерии, взаимодействующей с антителами, иммобилизованными на поверхности сенсора. Она включает в себя сопротивление бактерии, которое в свою очередь состоит из сопротивления цитоплазмы – R_{cyt} и сопротивления мембраны клетки $R_{blm.}$ Также цепь включает в себя емкость клеточной мембраны – C_{blm} и паразитную емкость C_{par}, возникающую вследствие границы раздела между электродами и кремниевой подложки [3].

При расчете оптимальной конструкции электродов, обеспечивающих максимальное соотношение сигнал-шум для резистивного и емкостного микробного сенсора, использовали соотношения, полученные в работе [3], которые связывают ширину электрода (W), ширину зазора (S) между электродами, их длину (L) и количество (N). Для биосенсора резистивного типа была разработана конструкция, имеющая следующие параметры: W= 50 мкм, S= 7 мкм, L= 4000 мкм, N= 40 шт., активная область датчика – 10,4 мм^2. Для емкостного биосенсора: W= 50 мкм, S= 15 мкм, L= 4000 мкм, N= 40 шт., активная область датчика – 9,12 мм^2. Биосенсор размером 7×8 мм имел контактные площадки к проводникам размером 1,75×2,7 мм. На рисунке 3 представлено изображение кристалла с биосенсорами резистивного (а) и емкостного типа (б).

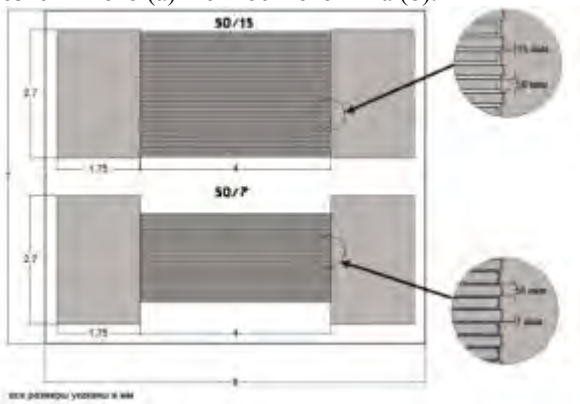


Рисунок 3 - Схематическое изображение кристалла с биосенсорами резистивного (а) и емкостного типа (б).

Технология изготовления биосенсора. Были разработаны технологические маршруты изготовления биосенсоров на основе платформы со встречно-штыревыми электродами для детектирования микроорганизмов резистивным и емкостным методами. Алгоритм маршрута для емкостного биосенсора представлен на рисунке 4.

Рисунок 4 – Алгоритм технологического маршрута изготовления биосенсора емкостного типа

Разработанные биосенсоры предназначены для измерения количества микроорганизмов имеющих следующие размеры: *Staphylococcus saprophyticus* – 0,905 мкм; *Escherichia coli B* - 2,236 мкм; *Salmonella typhimurium LT2* - 3,125 мкм; *Bacillus subtilis* - 4,693 мкм.

1. Власов, А.И. Бионаноинженерия / А.И. Власов, А.А. Денисов, К. А. Елсуков. - Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 215 с.
2. Bard, A.J. Electromechanical methods and applications, second ed. / A.J Bard, L.R. Faulker. – New York: L.R., 2001. – 156 p.
3. Radke, S. Design and fabrication of an impedimetric biosensor / S. Radke, E. Alocilja. – IE Sens, - 2004. – 440 p.

УДК 681.2

НЕПРЕРЫВНЫЙ Yb:YAG ЛАЗЕР ДЛЯ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ БЕЗ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

Ивашко А.М[1]., Кисель В.Э[2]., Ясюкевич А.С[2], Кулешов Н.В[2].,
Демеш М.П.[2], Руденков А.С[2]., Гусакова Н.В. [2]
[1]ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, НИЦ оптических материалов и технологий Минск, Республика Беларусь

Разработка и изготовление лазеров, работающих в режиме непрерывной генерации с выходной мощностью в несколько ватт в спектральной области около 1,06 мкм является тривиальной задачей, если лазерная система стационарна и работает в условиях незначительного колебания температур, либо при использовании системы термостабилизации. Однако, при создании стабильной лазерной системы с мощностью не менее 2 Вт в спектральной области около 1,06 мкм, работающей в условиях механических нагрузок в широком температурном диапазоне без термостабилизации, с низким энергопотреблением, малыми габаритными размерами и массой, а также мгновенным выходом на рабочий режим с рабочим циклом в несколько минут возникает ряд проблем, как с работоспособностью системы, так и со стабильностью ее характеристик. Для решения поставленной задачи нами был предложен лазер на кристалле Yb:YAG с диодной накачкой в микрочип конфигурации без термостабилизации.

В алюмо-иттриевом гранате, который является оптически изотропным кристаллом с высокой теплопроводностью и хорошими механическими свойствами, ион Yb^{3+}обладает широкой полосой поглощения в спектральной области от 910-950 нм с пиками вблизи 915 нм и 940 нм, что коррелирует с длиной волны мощных лазерных диодов номиналом 940 нм даже при ее сдвиге с изменением температуры.

Работа при воздействии механических нагрузок в широком диапазоне температур без термостабилизации неизбежно приведет к разъюстировкам при использовании сложных конфигураций резонатора, и, следовательно, к нестабильности характеристик всей системы. Поэтому, по нашему мнению, самой надежной и простой в данных условиях является микрочип конфигурация, в которой зеркала резонатора нанесены на торцы активного элемента.

Численное моделирование работы микрочип лазера на кристалле Yb:YAG при непрерывной диодной накачке проводилось в рамках системы балансных уравнений. По результатам численного моделирования было определено, что оптимальным для работы микрочип лазера в широком температурном диапазоне является выходное зеркало с коэффициентом пропускания выходного зеркала 5% на длине волны генерации. Для данного выходного зеркала на рис.1 представлена зависимость мощности излучения генерации от длины волны накачки и длины активного элемента.

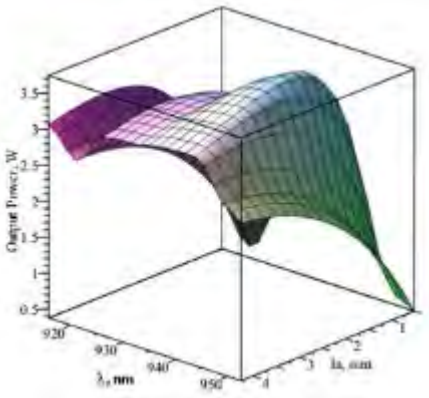


Рисунок 1 – Зависимость выходной мощности от длины волны накачки и длины активного элемента при оптимальном зеркале

При накачке в области максимального поглощения иона Yb^{3+} максимальное значение мощности генерируемого излучения по результатам расчета достигается при длине активного элемента около 1,5мм, в то время как для минимумов поглощения Yb^{3+} максимальное значение мощности достигается при длине активного элемента около 4мм. В связи с отсутствием системы термостабилизации неизбежна работа лазера в зонах минимального поглощения иона Yb^{3+}, поэтому предпочтительным является использование «длинного» активного элемента, обеспечивающего большую стабильность выходной мощности. Однако, сразу следует сказать, что ограничения на габариты «боевой» системы позволяли использовать активные элементы длиной только до 3 мм.

Для подтверждения результатов численного моделирования в климатической камере было проведено макетирование микрочип лазера. Для этого были изготовлены три активных элемента длиной 2,5мм, 2,75мм и 3,0мм, на параллельные полированные торцы которых были нанесены зеркала резонатора: «глухое» с коэффициентом отражения 100% на длины волн 1030-1050 нм и коэффициентом пропускания больше 98% на

длины волн 910-960 нм, и выходное зеркало, с коэффициентом пропускания 5% на длине волны генерации. В качестве источника накачки использовался лазерный диод с номинальной длиной волны 940 нм. Мощность излучения лазерного диода поддерживалась на одном уровне, обеспечивающем падающую на активный элемент мощность накачки 6 Вт во всем температурном диапазоне. Для лазерного диода и активного элемента в ходе экспериментов использовался только пассивный теплоотвод на элементы их крепления.

Генерируемое излучение регистрировалось за пределами климатической камеры измерительной головкой LM10 с измерителем мощности LabMax-TOP Coherent. Измерение мощности микрочип лазера для каждой температуры производилось на 5с (время переходных процессов для измерительной головки с измерителем мощности составляло приблизительно 4с) с момента подачи питания на диод. Т.к. требования к рабочему временному интервалу для законченной системы выше, при исследовании предельная повышенная температура была сдвинута до +65^{0}С.

Первым исследуемым образцом был активный элемент длиной 2,5мм. Результат эксперимента приведен на рис.2 как зависимость мощности генерируемого излучения от длины волны накачки.

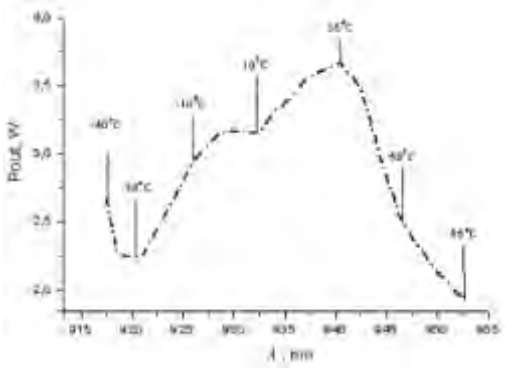


Рисунок 3 – Мощность излучения генерации от длины волны накачки для активного элемента 2,5мм

Для данного активного элемента максимальное значение выходной мощности составило 3,67 Вт при температуре +35^{0}С, минимальное значение мощности было 1,93 Вт при температуре +65^{0}С. Кроме того, наблюдался локальный минимум при температуре -30^{0}С с мощностью 2,23Вт. Длина волны генерируемого излучения во всем температурном диапазоне практически была постоянной и колебалась вблизи 1048нм.

Полученные результаты уже практически удовлетворяли требованиям к лазерной системе. Небольшая нехватка мощности генерируемого излучения наблюдалась только для предельных положительных температур. Поэтому для двух оставшихся активных элементов исследование было проведено только при положительных температурах, результаты которого в сравнении с активным элементом длиной 2,5 мм показаны на рис.3.

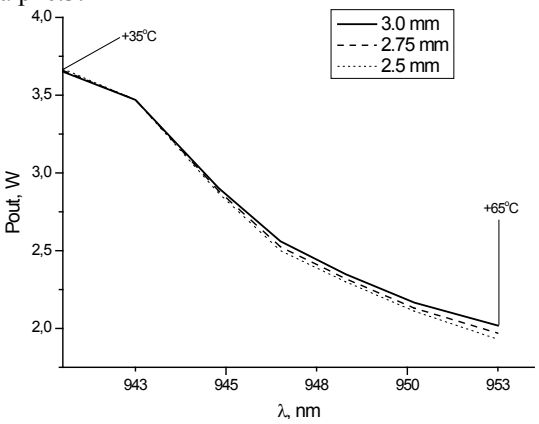


Рисунок 3 – Выходная мощность лазера для активных элементов разной длины

В максимуме поглощения вблизи пика 940нм разница по выходной мощности для разных активных элементов была минимальна, Активный элемент длиной 2,5 мм в этой точке был лучшим. По мере роста температуры, а соответственно и ухода с пика поглощения, появляется разница в выходной мощности, при этом для большей длины активного элемента наблюдается большая мощность. Для активного элемента длиной 3 мм при +65^{0}С мощность излучения на выходе лазера составила 2,02 Вт, что на 4,6% больше, чем для активного элемента длиной 2,5мм. Длина волны генерируемого излучения для активных элементов 2,75 и 3,0мм была идентична длине волны для активного элемента 2,5мм.

Т.о, использование кристалла Yb:YAG длиной 3мм позволяет реализовать режим непрерывной генерации на длине волны около 1048нм в широком температурном диапазоне без принудительной термостабилизации с выходной мощностью не менее 2 Вт. А для стабилизации выходной мощности излучения на одном уровне во всем температурном диапазоне оправданным будет использование системы с автоматической подстройкой тока питания лазерного диода в зависимости от мощности генерируемого излучения, что позволит изготовить компактный, стабильный, слабо подверженный разъюстировкам источник лазерного излучения без принудительной термостабилизации, работающий в условиях механических и климатических воздействий.

УДК 621.9.048

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РЕЗКИ МАТЕРИАЛОВ ПРОВОЛОКОЙ С ПОВЕРХНОСТЬЮ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЕЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ

Киселев М.Г., Габец В.Л. Богдан П.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В предшествующих исследованиях [1-3] использование электроконтактной обработки (ЭКО) поверхности проволочного инструмента изучалось с точки зрения ее влияния на придание ему режущей способности при выполнении операции распиливания материалов, твердость которых ниже твердости материала проволоки.

Специфической особенностью формируемых на поверхности инструмента лунок является наличие по их краям характерных наплывов металла, выходящих за исходный диаметр проволоки. В процессе ЭКО они образуются в результате выброса расплавленного металла из лунки и его последующего затвердевания по ее краю в месте пересечения с поверхностью проволоки. В принципе, эти наплывы металла на поверхности проволоки оправданно рассматривать как режущие элементы, способные в процессе распиливания разрушать (срезать) материал заготовки, твердость которого ниже твердости металлической проволоки, отказавшись при этом от использования абразивного материала. Следовательно, в этом случае применение электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента направлено на придание непосредственно ей режущей способности.

Важным является то, что размерами и формой получаемых наплывов (режущих элементов), а соответственно, режущей способностью инструмента, можно эффективно управлять за счет изменения режимов и условий осуществления электроконтактной обработки исходной поверхности проволоки. Результатами экспериментальных исследований [4] доказано, что такой инструмент позволяет достаточно эффективно осуществлять распиливание заготовок из материалов, твердость которых ниже твердости стальной (У8А) проволоки, в частности, дерева, кости, органического стекла и углеситалла.

Специфической особенностью наплывов, получаемых на исходной поверхности проволоки являются их малые геометрические размеры. Так зависимость высоты наплывов от напряжения электроконтактной обработки приведена в таблице 1.

В связи с малым размером наплывов металла, являющихся по сути микролезвиями, и выполняющих операцию резания, определение механизма резания, участвующих в процессе резания поверхностей и углов является затруднительным.

Таблица 1 – Высота наплывов металла

Напряжение накопительного конденсатора, В	Высота наплывов металла на модифицированной поверхности проволочного инструмента, мкм
36	4
42	5
75	18

Поскольку такая информация является весьма важной для изучения процесса резания материалов с использованием проволоки с модифицированной поверхностью, а также определения характеристик самой проволоки как инструмента, было решено со всей ответственностью подойти к изучению этого вопроса и определить метод, который бы это позволил.

Одним из таких методов является моделирование, которое в данном случае представляется наиболее простым и объективным. Так, создав увеличенную модель режущих элементов проволоки, становится возможным провести визуальное наблюдение за процессом, кино- и фотосъемку с использованием средств объективного контроля.

Первоначально с использованием электронного микроскопа были сделаны фотографии поверхности проволоки после ее электроконтактной обработки (рисунок 1).

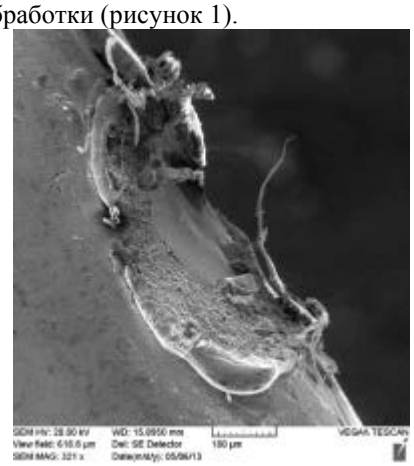


Рисунок 1 – Фотография поверхности проволоки после обработки

После тщательного анализа геометрии образовавшейся поверхности были приняты следующие допущения:

- в связи с малым размером наплывов по сравнению с диаметром проволоки при модели-

ровании за цилиндрическую поверхность проволоки принять плоскую поверхность пластины;

- в связи со сложностью использования высокого напряжения для получения на поверхности наплывов большой высоты (для уверенного наблюдения и четкой записи требуется по крайней мере 2-3 мм) вместо электроконтактного метода для получения наплывов использовать механический;

- в связи с трудностью механического формирования выступающих элементов на образце из стали У8А использовать латунные заготовки.

В качестве образцов использовались пластины толщиной 0,8 мм из латуни. С помощью гвоздя (ГОСТ 4028-63) на пластине пробивалось сквозное отверстие. Заусенцы материала, выгнувшиеся в направлении пробоя с обратной стороны пластины и являлись моделью наплывов на поверхности проволоки.

Фотография пластины после пробоя показана на рисунке 2.

Рисунок 2 – Фотография пластины, являющейся моделью проволоки

Для исследований было изготовлено пять образцов, отличающихся высотой выступающих заусенцев, являвшихся режущей частью, а также углом пробоя по отношению к плоскости пластины, таким образом моделируя различные формы поверхности и углы резания.

Значения высот режущей части приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения высот режущей части на полученных образцах.

№ образца	1	2	3	4	5
Высота режущей части, мм	1,9	2,65	2,3	2,35	3,15

В качестве заготовок для резания использовались образцы из таких материалов, как оргстекло, фольгированный текстолит, воск, дерево, сплав Вуда. Такое разнообразие материалов позволило оценить взаимодействие инструмента в различных условиях, при различной силе резания, а также проанализировать следы, оставленные инструментом как на твердой, так и на мягкой и вязкой поверхностях.

При проведении экспериментов образец устанавливался на определенной высоте с расчетом, что толщина срезаемого слоя окажется в пределах 0,5-1 мм, жестко закреплялся и протягивался с равномерной скоростью вдоль поверхности заготовки.

Следы, оставленные при резании показаны на рисунке 3

Рисунок 3 – Следы резания, оставленные на поверхности заготовки

Также для полноты описания процесса проводилось фотографирование стружки, оставленной в процессе резания (рисунок 4).

Рисунок 4 – Фотография стружки

Таким образом, была разработана методика проведения моделирования процесса резания материалов, с помощью проволоки с поверхностью, модифицированной путем электроконтактной обработки, проведена серия экспериментов и получены данные, описывающие данные процесс.

1. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Богдан П.С. Модификация исходной поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности путем применения электроконтактной обработки. Вестник Белорусско-Российского университета №1(34) 2012.
2. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Монич С.Г., Богдан П.С. Влияние способа выполнения электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на его режущую способность. Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого №3(50), Гомель – 2012
3. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Новиков А.А., Москаленко А.В., Богдан П.С. Методика и оборудование для оценки режущей способности проволочного инструмента. Метрология и приборостроение №1 2012.
4. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Богдан П.С. Влияние режимов электроконтактной обработки поверхности на ее режущую способность, износостойкость и прочность на разрыв. Вестник БРУ №2 (39) 2013 с. 55-62.

УДК 621.922.025.048.6

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ВДАВЛИВАНИЯ ИНДЕНТОРА В ШАРЖИРУЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

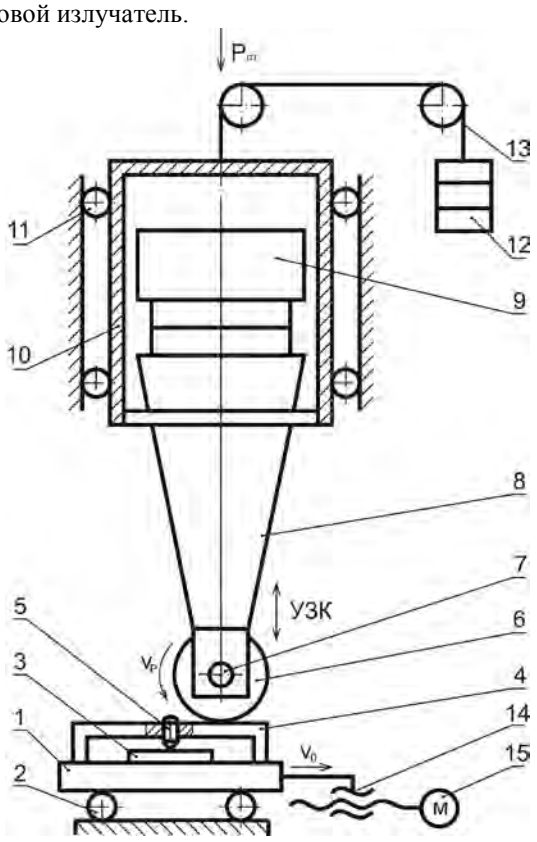
Киселев М.Г., Габец В.Л.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Результатами предшествующих исследований [1-4] установлено, что эффективным способом повышения качества шаржирования распиловочных дисков является сообщение вращающемуся деформирующему инструменту ультразвуковых колебаний, направленных перпендикулярно обрабатываемой поверхности заготовки. В этом случае имеет место периодические ударное взаимодействие контактирующих поверхностей, благодаря которому процесс шаржирования протекает в режиме виброударного втирания алмазных зерен, который в сравнении с традиционным втиранием обеспечивает более высокую степень насыщения ими поверхности заготовки, т.е. более высокое качество ее шаржирования.

Цель данной работы заключалась в создании экспериментального оборудования и разработке методики определения глубины вдавливания твердосплавного индентора имитирующего алмазное зерно, в металлическую поверхность основания при введении ультразвуковых колебаний накатному ролику, перпендикулярно этой поверхности и в обычных условиях (без введения ультразвуковых колебаний).

На рис. 1 представлена принципиальная схема экспериментальной установки, примененной в исследованиях.

Она состоит из подвижной каретки *1*, установленной на шариковых направляющих *2*, обеспечивающих ее плавное перемещение в горизонтальном направлении. На каретке закрепляется испытуемый образец *3* в виде прямоугольного параллелепипеда, изготовленного из свинца (аналог жесткопластического основания). С кареткой связана опорная плита *4*, имеющая отверстие, в которое с гарантированным зазором устанавливается твердосплавный (ВК6) индентор *5* диаметром d = 3 мм (аналог абразивного зерна). Своей заточенной конической частью (угол при вершине $2\beta = 90°$) он контактирует с поверхностью свинцового образца, а его противоположный, скругленный конец взаимодействует с поверхностью накатного ролика *6* в процессе качения последнего по поверхности опорной плиты. Ролик установлен по скользящей посадке на оси *7*, которая закреплена на выходном торце концентратора *8* пьезокерамического ультразвукового излучателя *9* и корпус *10* смонтирован на подвижной части шариковых направляющих *11*, обеспечивающих перемещение излучателя вдоль вертикальной оси. Статическое усилие прижатия ролика $P_{ст}$ к поверхности опорной плиты создается за счет аттестованных грузов *12*, которые через трособлочную систему *13* связаны с подвижной частью шариковых направляющих, на которой закреплен ультразвуковой излучатель.



1 – подвижная каретка; *2* – шариковые направляющие; *3* – испытуемый образец; *4* – опорная плита; *5* – твердосплавный индентор; *6* – накатной ролик; *7* – ось; *8* – конический концентратор; *9* - преобразователь ультразвуковых колебаний; *10* – корпус; *11* – шариковые направляющие; *12* – аттестованные грузы; *13* – трособлочная система; *14* – передача винт-гайка; *15* – электродвигатель.

Рисунок 1 – Установка для определения глубины внедрения индентора накатным роликом при сообщении ему ультразвуковых колебаний

Посредством передачи винт-гайка *14* и двигателя постоянного тока *15* каретке *1* сообщалось продольное перемещение с регулируемой скоростью перемещения.

Методика проведения экспериментов включала в себя последовательное выполнение следующих действий. Свинцовый образец с тща-

тельно отполированной поверхностью закреплялся на каретке, затем на нее устанавливалась опорная плита с индентором таким образом, чтобы его скругленная часть выступала над поверхностью плиты на величину радиуса скругления конца индентора. После этого каретка отводилась в исходное положение, при котором ролик находился в контакте с поверхностью опорной плиты на расстоянии нескольких миллиметров от места установки в ней индентора. С помощью сменных аттестованных грузов устанавливалось требуемое значение статического усилия прижатия ролика к поверхности опорной плиты. После этого каретке сообщалось перемещение с заданной скоростью, и в результате воздействия ролика на выступающую из опорной плиты скругленную часть индентора происходило вдавливание его конической вершины в поверхность свинцового образца.

Для выполнения каждого последующего эксперимента свинцовый образец переустанавливался на каретке таким образом, чтобы вдавливание индентора происходило на новом участке его поверхности. В одной серии экспериментов вдавливание индентора осуществлялось в обычных условиях качения ролика, а в другой - при сообщении ему ультразвуковых колебаний с частотой 21,8 кГц и амплитудой от 2 до 6 мкм в направлении перпендикулярном поверхности образца. Скорость движения основания изменялась в пределах от 0,12 до 1,2 м/мин, статическое усилие прижатия ролика к поверхности образца от 20 до 40 Н.

После завершения экспериментов, свинцовый образец снимался и с помощью двухкоординатного измерительного прибора ДИП – 1 (дискретность отсчета 0,5 мкм) измерялись диаметры, полученных на его поверхности отпечатков (рисунок 2). За окончательное значение этого параметра принималось среднее арифметическое результатов трех измерений диаметра отпечатка $d_{отп}$, после чего вычислялась глубина его внедрения $h = \frac{d_{отп}}{2tg\beta}$.

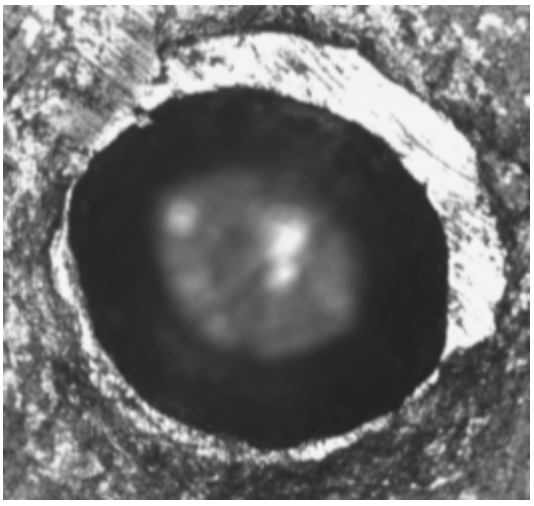


Рисунок 2 – Фотография отпечатка, полученного на поверхности образца

1. Киселев, М.Г. Повышение эксплутационных показателей распиловочных дисков путем их ультразвуковой обработки / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, С.С. Савицкий // Алмазы и сверхтвердые материалы. – 1983. - №12. С. 5-6.
2. Киселев, М.Г. Повышение эксплутационных показателей распиловочных дисков / М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, И.А. Касьяненко // Порошковая металлургия. - 1998. - Вып.21. - С. 23-26.
3. Киселев, М.Г. Определение оптимальных режимов двустороннего шаржирования с ультразвуком боковых поверхностей распиловочных дисков по их абразивной способности / М.Г. Киселев, А.А. Новиков, Д.А. Степаненко // Вестник БНТУ. – 2005. - №3. С. 34-39.
4. Киселев, М.Г. Влияние режимов шаржирования распиловочных дисков с ультразвуком на их режущую способность / М.Г. Киселев, А.А. Новиков //Вестник Полоцкого государственного университета. – Серия В, Прикладные науки. Промышленность. – 2008. С. 35-42.

УДК 615.477.21-23

СТЕНД ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ

Киселев М.Г., Габец В.Л., Есьман Г.А., Шарков Д.Р.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Протезирование - комплекс медико-социальных мероприятий, направленных на возмещение анатомических и функциональных дефектов человека с помощью протезно-ортопедических средств и приспособлений. При этом главная задача протезирования - максимально возможное восстановление функций утраченного органа и возвращение человека к активной трудовой деятельности.

В настоящее время практически все уровни ампутаций конечностей обеспечены средствами протезирования. Поэтому одной из важнейших социальных задач на сегодня является более полное удовлетворение запросов инвалидов,

престарелых и нетрудоспособных граждан – весьма многочисленной группы равноправных членов общества, имеющих свои специфические нужды.

Качество протезирования зависит от степени совершенства отдельных узлов, которые должны отвечать высоким требованиям прочности, износостойкости и безопасности, что определяет такие важнейшие потребительские качества протеза, как безопасность в использовании, надёжность в эксплуатации, срок службы. Поэтому перед вводом их в эксплуатацию они должны пройти ряд испытаний [1].

В соответствии со стандартом СТБ ИСО 10328-2003 «Протезирование. Испытания конструкции протезов нижних конечностей» можно выделить следующие типы испытаний коленных модулей: испытание на кручение, испытание стопора сгибания коленного узла, испытание замка коленного сустава. Каждое испытание можно проводить в статическом и циклическом вариантах нагружения. При статическом варианте нагружения можно провести испытания на отказ и на прочность.

Статические испытания состоят из проверочных испытаний и испытаний до разрушения.

Эти испытания проводят с целью подтвердить прочностные характеристики несущей конструкции протеза в условиях типового жесткого нагружения, возникающих в экстремальных ситуациях при эксплуатации. Статические испытания завершают, если образец удовлетворяет требованиям проверочных испытаний до разрушения.

Циклические испытания представляют собой приложение к образцу повторяющейся нагрузки, возникающей при нормальной ходьбе, с последующими заключительными статическими проверочными испытаниями.

Циклические испытания завершают, если:

- образец разрушился или
- образец выдержал заданное количество циклов нагружения без разрушения и удовлетворяет требованиям заключительных статических проверочных испытаний.

Для ускорения получения объективных данных был разработан стенд для испытаний коленных модулей (далее стенд), характер испытания, на котором приближен к условиям нагрузки протезов в опорный период шага [2].

На рисунке 1 изображена схема испытаний замкового моноцентрического коленного модуля РБ-15-03-40-00 с помощью разработанного стенда на статическую прочность и цикличность для условий нагружения 1 и 2 в соответствии с СТБ ИСО 10328-2003.

На рисунке 2 изображена схема статического испытания стопора сгибания с помощью разработанного стенда на примере моноцентрического замкового коленного модуля РБ-15-03-40-00.

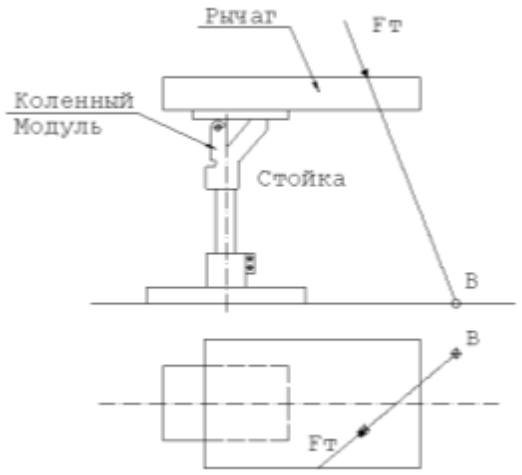


Рисунок 1- Схема испытаний замкового моноцентрического коленного модуля РБ-15-03-40-00 на статическую прочность и цикличность

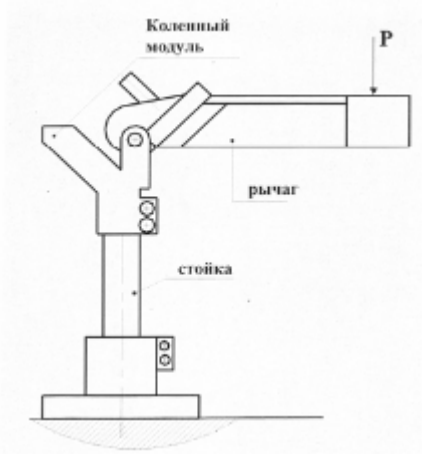


Рисунок 2 - Схема статического испытания стопора сгибания моноцентрического замкового коленного модуля РБ-15-03-40-00

Испытательное оборудование должно проходить аттестацию, по крайней мере, раз в год, и при этом следует хранить все записи о калибровках. Тестовое оборудование должно контролировать прикладываемую наивысшую тестовую силу F до ±1%, в циклических тестах тестовое оборудование должно контролировать частоту теста до ±10%, каждое смешение должно устанавливаться в пределах ±1мм.

Информация о методе, применяемом для измерения точности, должна быть записана в тестовом отчете в соответствии с СТБ ИСО 10328-2003.

В процессе эксплуатации стенда были выявлены следующие недостатки: использование программируемого контроллера ПЛК, что увеличивает стоимость; габаритные размеры что приводит к неоправданно большому запасу производительности; использование датчика давления с

токовым выходом для регулирования силы воздействия на испытуемый образец, что обуславливает большое влияние на процесс измерения условий окружающей среды; длинная цепь преобразования, состоящая из полости гидроцилиндра, подводящих трубопроводов, надклапанных областей, фильтра, бака с жидкостью, датчика давления, АЦП, что, несомненно, приводит к большим потерям на пути движения измеряемой информации.

В схему управления стендом были внесены следующие изменения: управление теперь осуществляется на основе микроконтроллера, что уменьшило габариты и стоимость, а в качестве датчиков силы использованы тензодатчики, которые позволили измерить усилие непосредственно в точке ее приложения.

1. СТБ ИСО 10328-2003. Протезирование. Испытания конструкции протезов нижних конечностей. Введ. 19.03.2003. – Минск: Госстандарт, 2003.
2. Стенд для испытаний коленных модулей протезов нижних конечностей / М.Г. Киселев [и др.] // Метрология и приборостроение. Информационный сборник. Минск. - 1999, № 4. - С. 68-70.

УДК 621.792.4

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЕЕ ШЕРОХОВАТОСТИ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время активно проводятся исследования по использованию различных способов модификации поверхности имплантатов с целью обеспечения высокой механической прочности их закрепления в костных тканях организма [1-3]. Так, наряду с традиционно применяемыми способами поверхностной обработки металлических имплантатов (струйно-абразивная и дробеструйная) [4-7], предлагается использовать электроконтактную обработку в сочетании с электрохимической и ультразвуковой обработками. В этом случае за счет действия электрической эрозии модифицированная поверхность представляет собой совокупность перекрывающих друг друга лунок, а электрохимическая обработка, позволяет получить микрорельеф лунок с плавным сопряжением между ними. При этом подведение в зону обработки ультразвуковых колебаний позволяет интенсифицировать протекающий процесс модификации. Полученная таким образом поверхность характеризуется отсутствием направленных следов обработки, т.е. формируется так называемая «безразличная» шероховатость, и, в отличие от струйно-абразивной обработки, исключается ее шаржирование. При этом установлено, что за счет изменения режимов электроконтатной, электрохимической и ультразвуковой обработки можно в широких пределах управлять параметрами формируемого на металлической поверхности имплантата микрорельефа.

В отличие от размерной электроэрозионной обработки, когда основным технологическим показателем является интенсивность съема припуска с заготовки, в данном случае таким показателем является получение заданных параметров регулярного микрорельефа модифицированной поверхности, которые формируются в результате воздействия на нее серии электрических импульсов. Для решения этой задачи необходимо располагать данными, отражающими связь между параметрами микрорельефа модифицированной поверхности, режимами ее комплексной обработки и получаемыми при этом параметрами шероховатости и прочностными характеристиками. Определению этих зависимостей посвящена данная работа.

На рисунке 1 показано конструктивное исполнение металлического образца имплантата. Он выполнен в виде плоской шайбы, имеющей две наружных цилиндрических поверхности разного диаметра и центральное отверстие. Торцевая поверхность Б и прилегающий к ней буртик служат для закрепления образца в приспособлении при обработке (модификации) его рабочей поверхности А, которая представляет собой кольцеобразную дорожку шириной 7,5 мм. Важно отметить высокую технологичность предложенной конструкции, так как изготавливается образец с использованием только токарной обработки.

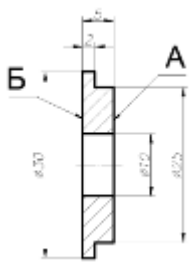


Рисунок 1 – Конструктивное исполнение металлического образца имплантата

Обработка образцов проводилась по схеме, приведенной на рисунке 2.

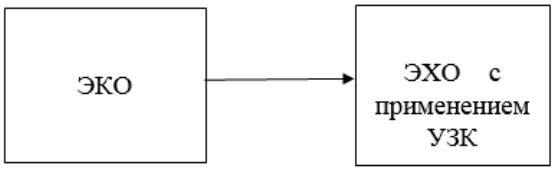


Рисунок 2 – Схема обработки металлического образца имплантата

Приведенная обработка включала в себя две стадии, одна из которых представляла собой электроконтактную обработку образцов (ЭКО), а вторая – электрохимическая (ЭХО) с применением ультразвуковых колебаний (УЗК).

Более подробно технологическая схема второй стадии представлена на рисунке 3.

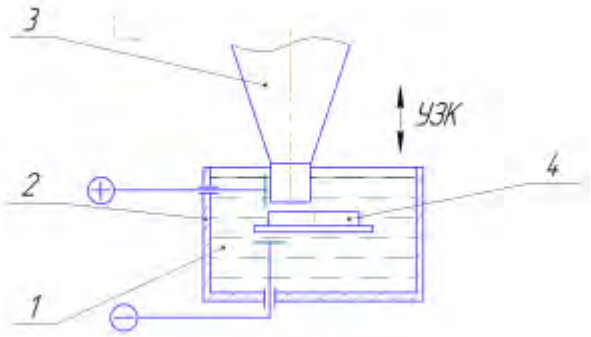


Рисунок 3 – Технологическая схема ЭХО с применением УЗК

ЭКО проводилась при напряжении накопительного конденсатора 100 В проволочным электродом-инструментом

После чего образец металлического имплантата 4, подключенный к отрицательному «-» полюсу источника питания, помещался в емкости 2, заполненной электролитом 1 (2,5 % NaCl). Кроме того в электролит к обрабатываемой поверхности образца подводился ультразвуковой преобразователь, который излучал ультразвуковые колебания с частотой 22 кГц и являлся положительным «+» электродом.

Следует отметить, что расстояние между образцом и ультразвуковым преобразователем было таким, чтобы не допустить электрического пробоя между ними, т.е. чтобы не провести повторно электроконтактную обработку.

В результате такой обработки были получены образцы, фотография которых приведена на рисунке 4.

Из фотографий установлено, что поверхность 1, подвергшаяся комплексной обработки, существенным образом отличается от поверхности 2, обработанной путем только ЭКО.

Измерение параметров шероховатости поверхности образцов проводилось с помощью профилографа-профилометра Taylor Hobson согласно МИ 40-75 «Методика выполнения измерений параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73 при помощи приборов профильного метода». В частности, определялись значения следующих параметров Ra – среднее арифметическое отклонение профиля, Rz – высота неровности профиля по десяти точкам, Sm - средний шаг неровности профиля.

Рисунок 4 – Фотография образцов после комплексной обработки

Из сравнительного анализа экспериментальных данных установлено, что под воздействием ЭХО и УЗК параметры шероховатости уменьшаются (рис.5). В частности, для случая, когда ЭКО проводилась при 40 В, установлено, что в результате последующей ЭХО и УЗО обработки параметр Ra уменьшается в 1,18 раза (с 10,7 до 9,02 мкм), параметр Rz - в 1,1 раза (с 34,81 до 31,51 мкм), а параметр Sm - в 1,34 раза (с 583 до 436 мкм).

Кроме параметров шероховатости были определены также прочностные характеристики по методике, суть которой заключается в том, что в качестве имитатора костной ткани используется пемза, что позволяет обеспечить постоянные и близкие к реальным условия ее взаимодействия с фиксирующим материалом (стоматологический цемент «Уницем»).

В результате выполнения таких экспериментальных исследований установлено, что прочность соединения имитатора костной ткани с поверхностью металлического образца как на отрыв, так и на сдвиг при увеличении напряжения в межэлектродном промежутке между ультразвуковым преобразователем и обрабатываемом образцом уменьшаются (рис.5). Данное обстоятельство связано с тем, что проведенная ЭХО и УЗО сглаживают микрорельеф модифицированной поверхности, тем самым уменьшая ее удельную поверхность и удельную емкость.

В частности, установлено, что механическое напряжение сдвига от поверхности образца металлического имплантата при комплексной обработке ЭХО и УЗО при 40 В уменьшается в 1,03 раза (с 0,624 до 0,608 МПа), а механическое напряжение отрыва – в 1,03 раза (с 0,468 до 0,453 МПа). При проведении комплексной обработке ЭХО и УЗО при 80 В механическое напряжение сдвига уменьшается в 1,48 раза (с 0,624 до 0,421 МПа), а механическое напряжение отрыва – в 1,46 раза (с 0,468 до 0,32 МПа).

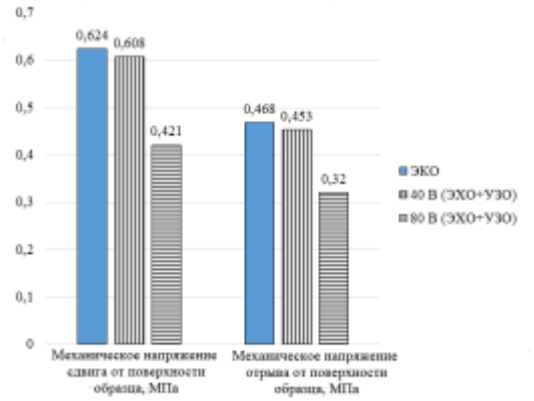


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости прочностных показателей образцов металлических имплантатов от режимов комплексной обработки

Таким образом, применяя в сочетании с ЭКО ЭХО с УЗК можно целенаправленно управлять параметрами шероховатости поверхности образцов металлических имплантатов.

1. Петров Ю.Н., Дехтярь Л.И., Сафронов И.И. и др. Влияние технологических режимов механизированного электроискрового легирования на качество получаемой поверхности // Электронная обработка материалов. – Кишинев. – 1965. № 3. с. 45-49.
2. Соколов И.А. Механизация процесса электроискрового легирования // Электронная обработка материалов. – Кишинев. – 1975. № 1. с. 33-34.
3. Андреев В.И., Ситало В. Г. И др. Технологические возможности применения вращающихся электродов-инструментов для ЭИЛ // Электронная обработка материалов. – Кишинев. – 1990. № 2. С. 85—87.

УДК 62-531.7

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕЕ РАСПИЛИВАНИЯ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Ямная Д.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Операция распиливания кристаллов алмаза выполняется на специальных распиловочных секциях, работающих по принципу гравитационной подачи заготовки [1]. Последняя закрепляется на одном конце качающегося рычага (стрелы) и за счет придания ему неуравновешенного состояния прижимается к режущей кромке распиловочного диска. Однако такая технологическая схема обработки отличается низкой производительностью выполнения операции, а топография распиленной поверхности характеризуется наличием на ней однонаправленных рисок (следов обработки). Для их удаления применяется последующая операция шлифования поверхности площадок распиленных полуфабрикатов, что приводит к возрастанию безвозвратных потерь алмазного сырья.

Вместе с тем, на сегодня отсутствуют экспериментальные данные, позволяющие количественно оценить влияние параметров такого движения заготовки на интенсивность ее распиливания и качество обработанных поверхностей [2,3].

Целью настоящей работы явилось получение экспериментальных данных, отражающих эффективность применения циркуляционного движения заготовки на повышение уровня выходных показателей процесса ее распиливания.

Методика проведения экспериментальных исследований. Эксперименты по распиливанию образцов проводились на модернизированной промышленной распиловочной секции, фотография общего вида которой приведена на рисунке 1.

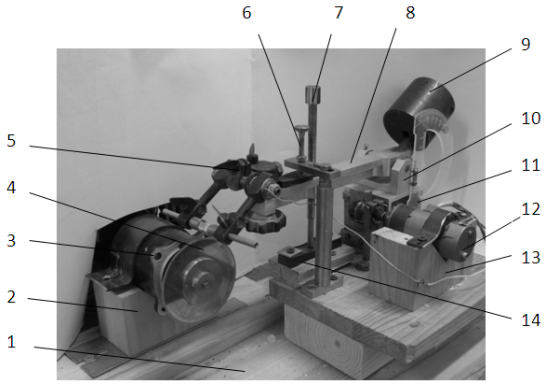


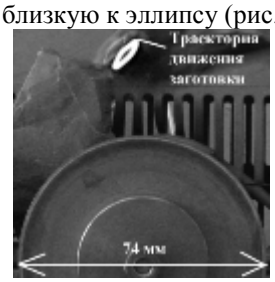
Рисунок 1 – Фотография общего вида модернизированной промышленной распиловочной секции

Она состоит из основания 1, на котором в призме 2 закреплен электродвигатель 3, с установленном на его валу распиловочным диском 4. Стрела 8 с регулировочным винтом 7 установлена в кронштейне 10 на опорах верчения, обеспечивающих ее поворот относительно оси качания с минимальным трением. На одном конце стрелы смонтирован узел крепления кристалла (образца) 5, а на другом установлен узел противовеса 9. Кронштейн жестко связан с верхней (подвижной) частью плоскопараллелограмного

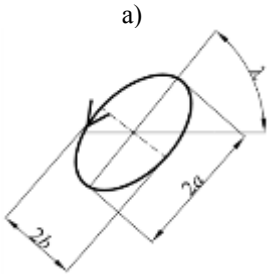
подвеса 11, образованного двумя закаленными упругими стальными (У8А). В установочной призме 13, прикрепленной к основанию секции, с помощью хомута закреплен электродвигатель постоянного тока, на валу которого установлен узел привода вращения распиловочного диска, состоящего из электродвигателя постоянного тока 12, с закрепленным на его валу эксцентриком. Призма установлена таким образом, чтобы при вращении эксцентрика его рабочая часть постоянно контактировала с упором, жестко связанным с подвижной частью упругого подвеса узла качания стрелы, в результате чего последнему сообщаются колебательные смещения вдоль горизонтальной оси. Кроме того, в модернизированном варианте секции дополнительно к нижнему 14 применен верхний упругий ограничитель 6 вертикальных перемещений стрелы.

В основе механизма придания заготовке двухмерного циркуляционного движения лежит то обстоятельство, что в процессе распиливания центр тяжести противовеса расположен выше оси качания стрелы. Поэтому при вращении эксцентрика, она совершает колебательные смещения вдоль горизонтальной оси и одновременно вертикальные (по дуге окружности) смещения, обусловленные возникающим под действием виброускорений переменного относительно оси качания стрелы динамического момента.

При определенной интенсивности возбуждения такой колебательной системы, в ней устанавливается режим двухстороннего виброударного взаимодействия стрелы с упругими ограничителями, в результате чего заготовка совершает в плоскости распиливания двухмерное циркуляционное движение, траектория которого (рис. 2а) имеет форму близкую к эллипсу (рис. 2б).



а)



б)

Рисунок 2 – Фотография траектории циркуляционного движения заготовки (а); оцениваемые параметры эллиптической траектории (б)

Причем параметрами траектории этого движения, включая размеры малой (2b) и большой (2a) осей эллипса, а также углом λ между большой осью и горизонталью, можно целенаправленно управлять как за счет изменения частоты вынужденных колебаний, сообщаемых узлу подвеса стрелы, так и путем изменения зазора между ней и верхним ограничителем. Так, увеличение этих параметров режима распиливания сопровождается возрастанием угла λ и повышением отношения малой и большой осями эллипса, т.е. он как бы расширяется и одновременно поворачивается в сторону вертикальной оси [6].

На рисунке 4 приведена диаграмма, отражающая влияние частоты вынужденных колебаний f, сообщаемых узлу подвеса стрелы, на значение интенсивности распиливания образцов i.

Рисунок 4 – Диаграмма зависимости интенсивности распиливания образцов при обработке в обычных условиях (f = 0) и при сообщении узлу подвеса стрелы вынужденных колебаний различной частоты

Из анализа полученных данных видно, что во всех случаях с повышением частоты вынужденных колебаний интенсивность распиливания образцов возрастает. При этом, чем ниже твердость материала образца, тем выше значение i как при его обработке в обычных условиях, так и при использовании колебаний. Важно отметить то обстоятельство, что степень влияния колебаний на повышение интенсивности распиливания образцов с увеличением их твердости возрастает. Так, для стеклянного образца отношение значений интенсивности его распиливания с применением колебаний частотой 4 Гц и в обычных условиях составило 1,21, для нефрита - 1,34 и для яшмы - 2,16. Наличие такой зависимости дает основание полагать, что предложенная технология также позволит существенно повысить интенсивность распиливания сверхтвердых материалов, включая кристаллы алмаза, т.е. материалов с твердостью по шкале Мооса 9-10 единиц.

Влияние частоты вынужденных колебаний на значение параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образцов отражают данные, представленные на рисунке 5.

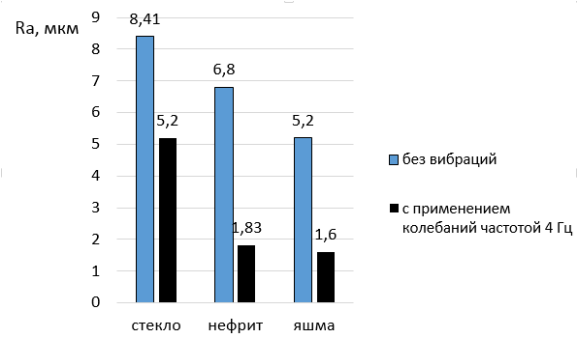


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образцов при их обработке в обычных условиях и при сообщении узлу подвеса стрелы вынужденных колебаний частотой 4 Гц

Из них следует, что применение в процессе обработки вынужденных колебаний позволяет существенно повысить качество распиленной поверхности образцов. Так, в результате их действия значение параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образцов снизилось по сравнению с обработкой в обычных условия для стекла в 1,61; для нефрита – в 3,7 и для яшмы – в 3,25 раза. Причем с увеличением твердости обрабатываемого материала степень влияния колебаний на повышение качества распиленной поверхности образцов возрастает. Это позволяет прогнозировать еще более высокую эффективность их влияния на повышение качества распиленных поверхностей при обработке сверхтвердых материалов.

1. Епифанов, В.И. Технология обработки алмазов в бриллианты / В.И. Епифанов, А.Я. Лесина, Л.В.Зыков; под ред. В.И. Епифанова. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.
2. Дроздов, А.В. Повышение производительности и качества распиливания сверхтвердых кристаллов путем сообщения заготовке вынужденных колебаний: Автореф. дис. канд. техн. наук. Мн., 2005. – 21 с.
3. Киселев, М.Г. Повышение интенсивности и качества распиливания твердых сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двухмерного циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д.А. Ямная // Вестник БНТУ. – 2011. – № 5. – С. 36–40.

УДК 62-531.7

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И РАСПИЛИВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЕЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ДВИЖЕНИИ

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Ямная Д.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Операция распиливания сверхтвердых материалов широко применяется на многих технологических операция получения заготовок из сверхтвердых материалов, включая монокристаллы алмаза. Основными требованиями, предъявляемыми к данной операции являются высокая производительность и хорошее качество распиленной поверхности. Для решения первой задачи авторами [1] предложено сообщать обрабатываемой заготовке двумерное циркуляционное движение относительно режущего инструмента, что обеспечивает повышение уровня ударно-фрикционного взаимодействия распиливаемых образцов с режущим инструментом. Однако для комплексного обоснования разработанного способа важно оценить влияние такого движения заготовки на качество распиливаемой поверхности, которое во многом определяется степенью проявления полирующего эффекта, возникающего при взаимодействии распиленных участков заготовки с боковыми сторонами распиловочного диска. Чем больше путь их относительного перемещения, тем сильнее сглаживаются микронеровности, сформированные на участке взаимодействия торцевой поверхности диска и зоны пропила заготовки. При этом указанный путь скольжения в данной точке заготовки определяться как произведение скорости перемещения данной точки относительно вращающегося распиловочного диска на время контакта точки с боковой поверхностью режущего инструмента. Поэтому в работе стояла задача оценить характер изменения скорости движения точек на поверхности распиливаемой заготовки, движущейся по циркуляционной траектории относительно вращающегося распиловочного диска.

С этой целью использовалась схема распиливания (рисунок 1). Распиловочный диск 2, представлялся как окружность с центром в точке О с координатами (0, 0) и радиусом R = 38 мм, а обрабатываемый кристалл 1 моделировался квадратом со стороной a = 5 мм, ориентированным на ребро относительно торцевой поверхности диска 2 на расстоянии L = 40 мм от центра диска до ближайшей к нему точки А заготовки.

При циркуляционном распиливании каждая точка заготовки, включая А, перемещается по эллиптической траектории с размерами ее

большой и малой осей соответственно w и h. Оценим путь скольжения точки А, как первой начинающей взаимодействие с боковой поверхностью инструмента. При традиционном распиливании данная величина будет определяться из уравнения

$$L(t) = \omega t(R - S_{\text{ðàä}}t) = \omega Rt - \frac{\sqrt{2}a}{t_{\text{ðàñ}}}t^2,$$

где ω –частота вращения диска, мин-1;

$S_{\text{ðàä}} = \frac{\sqrt{2}a}{t_{\text{ðàñ}}}$ - радиальная подача заготовки на распиловочный диск, мм/мин;

$t_{\text{ðàñ}}$ – время распиливания заготовки, с.

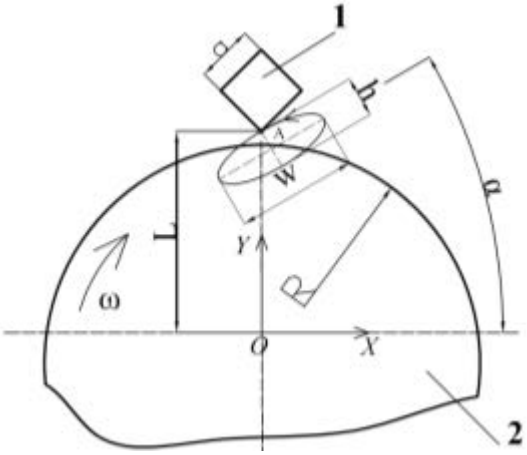


Рисунок 1 – Схема для математического моделирования процесса распиливания кристаллов сверхтвердых материалов:
1 – обрабатываемый кристалл;
2 – распиловочный диск

При движении точки А по эллиптической траектории ее координаты вычислялись с помощью программы MathCAD согласно уравнениям

$$\begin{cases} x_{\text{j}} = w\cos(j\frac{\pi}{180}) + x_0 \\ y_{\text{j}} = h\sin(j\frac{\pi}{180}) + y_0 \end{cases},$$

где x_0, y_0 – координаты начального положение точки А, совпадающие в центром эллиптической траектории и определяемые как

$$x_0 = 0,\ y_0 = R.$$

j = от 0 до 360 – текущий угол наклона радиус-вектора в градусах.

Одновременно вычислялся угол βj наклона касательной к эллипсу в каждой точке с координатами xj и yj, который одновременно являлся углом наклона к оси OX скорости движения точки по данной траектории.

Для переноса и поворота траектории векторы X и Y перемножались на ряд матриц направляющих косинусов, а значение угла β'j наклона касательной увеличивались на угол α поворота эллиптической траектории

$$\beta_{\text{j}} = \begin{cases} arctg(x_{\text{j}}h^2 / y_{\text{j}}w^2) \text{ åñëè } y_{\text{j}} \neq 0; \\ 90^{\text{o}} \text{ åñëè } y_{\text{j}} = 0 \text{ è j=0}; \\ -90^{\text{o}} \text{ åñëè } y_{\text{j}} = 0 \text{ è j} \neq 0; \end{cases}$$

В случае распиливания заготовка опускается к центру распиловочного диска и одновременно при этом совершает циркуляционное движение. Результирующая траектория движения точки А заготовки относительно распиловочного диска приведена на рисунке 2.

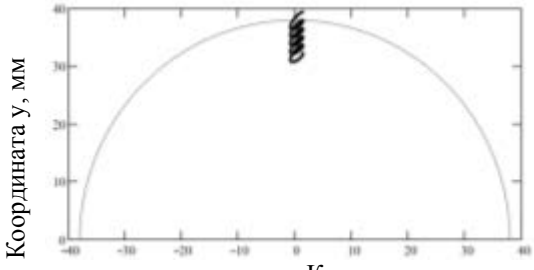


Рисунок 2 – Циркуляционная траектория движения точки А при распиливании заготовки

Для учета такого движения к каждой координате Y (второй столбец матрицы Resh) вычиталась поправка Δj вычисляемая по формуле

$$\Delta_{\text{j}} = R - \frac{\sqrt{2}aj}{360 \cdot t_{\text{ðàñ}} \cdot f},$$

ãäå j=0...$360 \cdot (t_{\text{ðàñ}} \cdot f)$, f – частота движения точки по циркуляционной траектории (в расчета принималась равной 5 Гц). Использование такой поправки позволяло учесть перемещение заготовки к центру режущего инструмента при условии, что полное распиливание осуществится за время tрас.= 300 секундам.

В результате расчета получена матрица, содержащая координаты перемещения в пространстве точки А за время ее полного распиливания. После такой обработки определялась величина скорости перемещения точки А по циркуляционной траектории на каждом ее участке в соответствии с формулой

$$V_{\text{j}} = \frac{\sqrt{\left(x_{\text{j+1}} - x_{\text{j}}\right)^2 + \left(y_{\text{j+1}} - y_{\text{j}}\right)^2}}{\Delta t},$$

где $\Delta t = \frac{1}{360 \cdot f}$ время прохождения точки в течение одной итерации.

Одновременно на каждом участке результирующего движения точки А определялась линейная скорость вращения Vкр распиловочного

инструмента и угол γ ее наклона к оси OX. Для этого использовались следующие формулы

$$\gamma_j = 90^o - arctg(\frac{y'_j}{x'_j}),$$

$$V_{êðj} = \omega\sqrt{x'^2_j + y'^2_j}.$$

Результирующая относительная скорость определялась как

$$\overline{V}_{îòí} = \overline{V}_{êð} + \overline{V},$$

или в скалярной форме для каждого участка заготовки

$$V_{îòí\,j} = \sqrt{V_j^2 + V_{êðj}^2 + 2V_jV_{êðj}\cos(\beta_j + \gamma_j)}.$$

При этом основное влияние на полирующий эффект оказывает вертикальная составляющая скорости скольжения, так как топография поверхности на участтке взаимодействия торцевой поверхности режущего инструмента и участком пропила заготовки характеризуется наличием однонаправленных рисок, параллельных оси OX (рисунок 1). Сглаживание таких микронеровностей как раз и осуществляется вертикальной составляющей скорости относительного скольжения, вычисляемой для каждого участка сформированной траектории движения как по формуле

$$V_{âåðòj} = V_{îòí\,j}\sin(\beta_j + \gamma_j).$$

На рисунке 3 показано разложение в спектр Фурье данной составляющей в пределах одного цикла циркуляционного движения.

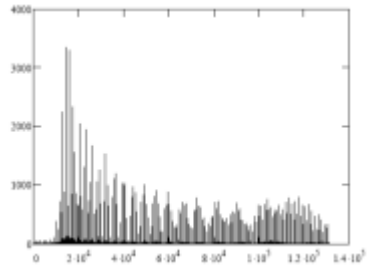


Рисунок 3 – Разложение в спектр Фурье вертикальной составляющей скорости скольжения

Как видно в изменении вертикальной составляющей присутствует широкий спектр частот. Это позволяют судить об эффективном сглаживании микронеровностей в широком диапазоне частот вращения режущего инструмента.

1. Киселев, М.Г. Повышение интенсивности и качества распиливания твердых сверхтвердых материалов путем сообщения заготовке двухмерного циркуляционного движения / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, Д.А. Ямная // Вестник БНТУ. – 2011. – № 5. – С. 36–40.

УДК 530.182

К ПРОБЛЕМЕ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

Князев М.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Вопрос об интегрируемости нелинейных уравнений в частных производных уже многие годы привлекает внимание исследователей [1]. Актуальность данного вопроса обусловлена тем, что нелинейные модели явлений и процессов в самых различных областях приобретают все возрастающее значение. Среди них особо выделяются так называемые существенно нелинейные модели, нелинейные уравнения движения которых допускают решения типа солитонов или солитоноподобных объектов. Использование существенно нелинейных моделей позволяет описать принципиально новые закономерности поведения изучаемых систем. Однако до настоящего времени строгий математический критерий интегрируемости таких уравнений отсутствует.

Нелинейное уравнение в частных производных считается интегрируемым, если для него можно построить не только решение в виде одиночного солитона (или антисолитона), но и решения, произвольного порядка, представляющее собой связанное состояние произвольного числа солитонов и/или антисолитонов. В этом случае для системы, описываемой интегрируемым уравнением, существует бесчисленное множество законов сохранения, соответствующих каждому из решений [2].

В качестве возможного критерия интегрируемости предлагались различные условия: наличие преобразований Бэклунда, критерий Пенлеве, интегрируемость по Хироте, условия симметрии, представление с использованием интегрального уравнения и ряд других. Наиболее распространенным и широко используемым в настоящее время является критерий интегрируемости, согласно которому нелинейное уравнение в частных производных будет интегрируемым, если для него существует пара операторов Лакса. Однако ни один из предложенных критериев не является универсальным, каждый из них имеет ограниченную область применения [3, 4].

Важной особенностью интегрируемых нелинейных уравнений является выполнение условия энергетического баланса между механизмами протекания различных процессов, учитываемых в таких уравнениях. Например, дисперсия всегда

приводит к расплыванию волнового пакета. С другой стороны, нелинейные члены, присутствующие в уравнении, обуславливают его сжатие. Реализация в системе каждого из таких механизмов требует некоторых затрат энергии, причем может происходить как поглощение, так и выделение энергии.

Одним из способов установления баланса между различными механизмами является учет в системе процессов диссипации энергии (трение, затухание и другие процессы, при которых происходит рассеяние энергии). С физической точки зрения такой подход вполне правомерен, так как подобные процессы присутствуют практически во всех явлениях, за исключением, пожалуй, сверхтекучести, сверхпроводимости и неразрушающих квантовых измерений. Учет диссипации может проводиться разными способами и оказывается весьма эффективным.

Рассмотрим, например, широко распространенную практически во всех областях физики теорию φ^4. Нелинейное уравнение движения в этой теории имеет вид

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} - \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} - m\varphi + \lambda\varphi^3 = 0, \qquad (1)$$

где m и λ – некоторые константы. Это уравнение является неинтегрируемым и для него существует только решение в виде одиночного кинка [5]

$$\varphi(x,t) = \frac{m}{\sqrt{\lambda}} tanh\left[\frac{m}{\sqrt{2}}\left(\frac{x-vt-x_0}{\sqrt{1-v^2}}\right)\right], \qquad (2)$$

где v – скорость движения кинка, $|v| \ll 1$, причем считаем, что скорость света $c = 1$; x_0 – начальная фаза. Решение в виде антикинка получается изменением знака для функции $\varphi(x,t)$.

Учет диссипации в уравнении (1) можно произвести, включив в него слагаемое, пропорциональный скорости изменения функции $\varphi(x,t)$. Это позволяет записать уравнение (1) в виде [6]

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} + \alpha\frac{\partial\varphi}{\partial t} - \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} - m\varphi + \lambda\varphi^3 = 0, \qquad (3)$$

где $\alpha = const > 0$ – коэффициент диссипации. Уравнение (3) является интегрируемым. Для него можно построить не только решение в виде кинка

$$\varphi(x,t) = \frac{1}{2}\left\{1 + tanh\left[\frac{\left(9+2\alpha^2\right)^{1/2}}{4\alpha}(x - \frac{3t}{\left(9+2\alpha^2\right)^{1/2}}\right) + \eta_1^{(0)}\right]\right\}, \qquad (4)$$

где $\eta_1^{(0)}$ –начальная фаза решения, но и любое другое решение, соответствующее связанному состоянию произвольного числа кинков и/или антикинков.

Несмотря на то, что система описываемая уравнением (3), уже не является консервативной, и расчет скорости потерь энергии показывает, что ее величина является конечной со временем, в системе формируется энергетический баланс за счет свойств бесконечной среды.

Другой пример успешного учета диссипативных процессов для построения интегрируемого уравнения дает нелинейная упругопластическая модель, описывающая свойства конструкционных материалов.

В этой модели реализуется процедура усреднения локальной деформации по некоторому объему структурной ячейки материала, при условии, что размеры такой ячейки малы по сравнению с характерным размером задачи. В результате текучесть материала оказывается зависящей не только от приложенного напряжения и деформации, но и от градиента деформации второго порядка [7].

Возмущения $\varepsilon(x,t)$ однородного напряженно-деформированного состояния на стадии разупрочнения описываются уравнением вида [8]

$$\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial t^2} = \frac{d\sigma}{dx}\cdot\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial x^2} - \delta^4\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial x^4}. \qquad (5)$$

Нелинейность уравнения обусловлена членом вида $\frac{d\sigma}{dx}$, что предполагает наличие решений солитонного типа.

Однако даже в простейшем нелинейном (квадратичном) приближении для диаграммы материала $\sigma(x)$ данное уравнение не имеет локализованных решений типа одиночного солитона. Решение, подобное двухсолитонному, удается построить только при условии компенсации мнимых частей его односолитонных составляющих. Фактически, это решение типа бризера. Оно локализовано по пространственной переменной и осциллирует во времени. При построении такого решения требуется вводить ограничения, которые носят скорее математический характер и мало связаны с изучаемой физической моделью.

Для данной модели учет диссипативных процессов уже не удается провести так просто, как это было сделано в уравнении (1). Это можно объяснить сложным химическим составом и структурой материалов, для описания которых она используется.

Для конструкционных материалов характерны как существенная пространственная неоднородность, так и неодинаковые интенсивность и скорость протекания разупрочнения по всему объему материала. Поэтому наряду с общим учетом диссипации энергии со временем, возникает необходимость учета потерь энергии вследствие структурной неоднородности материала.

Следовательно, в уравнение (5) необходимо добавить слагаемое, определяемое скоростью изменения величины $\varepsilon(x,t)$ не только во времени, но также и по пространству, это приведет к появлению в уравнении слагаемого, пропорционального смешанной производной.

В результате уравнение движения для неоднородных возмущений напряженного состояния можно представить в следующем виде вид [9]

$$\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial t^2}+\alpha\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial x\partial t}=\frac{d\sigma}{dx}\cdot\frac{\partial^2\varepsilon}{\partial x^2}-\delta^4\frac{\partial^4\varepsilon}{\partial x^4}, \qquad (6)$$

где $\alpha = const > 0$ – коэффициент диссипации.

Данное уравнение при использовании квадратичного приближения для диаграммы материала на стадии разупрочнения является интегрируемым. Для него возможно построить любое солитонное решение, включая и односолитонное и решения, описывающие многосолитонные связанные состояния.

1. Интегрируемость и кинетические уравнения для солитонов: Сб. ст. / Под ред. В.Г. Барьяхтара, В.Е. Захарова, В.М. Черноусенко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 472 с.
2. Захаров, В.Е. Теория солитонов. Метод обратной задачи / В.Е. Захаров, С.В. Манаков,С.П. Новиков, Л.П. Питаевский. – М.: Наука, 1980. – 320 с.
3. Абловиц, М. Солитоны и метод обратной задачи / М. Абловиц, Х. Сигур. – М.: Мир, 1987. – 497 с.
4. Ablowitz, M.J. Solitons, nonlinear evolution equations and inverse scattering / M.J. Ablowitz,P.A. Clarkson. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991. – 391 p.
5. Раджараман, Р. Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля / Р. Раджараман. – М.: Мир, 1984. – 416 с.
6. Князев, М.А. Кинки в скалярной модели с затуханием / М.А. Князев. – Минск: Тэхналогія, 2003. – 115 с.
7. Кукуджанов, В.Н. Микромеханическая модель разрушения неупругого материала и её применение к исследованию локализации деформаций / В.Н. Кукуджанов // Механика твердого тела. – 1999. – № 5. – С. 72-87.
8. Мягков, Н.Н. О динамической локализации деформации в разупрочняющемся стержне / Н.Н. Мягков // Механика композиционных материалов и конструкций. – 1999. – Т. 5, № 3. – С 28-32.
9. Князев, М.А. Солитоны в нелинейной упругопластической модели / М.А. Князев. – Минск: БНТУ, 2013. – 221 с.

УДК 530.182

ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЯ В ВИДЕ ОДИНОЧНЫХ ВОЛН В МОДЕЛИ КАНА-ХИЛЛИАРДА

Князев М.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Модель Кана-Хиллиарда в последние годы приобретает все большую популярность. Она находит широкое применение для описания микроструктуры смесей полимеров [1], поверхностей кристаллов [2], систем с разделяющимися фазами во внешних полях [3], пространственно-временной хаотической динамики [4] и т.д. Особенностью данной модели является то, что в ней параметр порядка сохраняется глобально, в целом. Однако возможна такая ее модификация, в которой параметр порядка сохраняется только локально. В настоящей работе рассмотрена такая модифицированная модель Кана-Хиллиарда и описана попытка построения решения соответствующего уравнения движения при помощи одиночных «замороженных» (frozen) волн, т.е. волн, периодических по пространственной переменной и независящих от времени.

В (1+1)-мерном случае уравнение движения модифицированной модели можно записать в виде [5]

$$\phi_t+(\phi-\phi^3+\phi_{xx})_{xx}+\alpha\phi=0, \qquad (1)$$

где ϕ – параметр порядка; коэффициент α определяет отношение характерного размера областии, внутри которой сохраняется параметр порядка, к характерной толщине l полимера, образованного двумя цепями мономеров. Для производных использованы обозначения $\phi_t = \partial\phi/\partial t$, $\phi_{xx} = \partial^2\phi/\partial x^2$ и т.п. Решения в виде замороженных волн возникают при $0 \le \alpha \le 1/4$ [6]. Уравнение (1) для таких волн принимает вид

$$k^2\left(\bar{\phi}-\bar{\phi}^3+\bar{\phi}_{\xi\xi}\right)_{\xi\xi}+\alpha\bar{\phi}=0, \qquad (2)$$

где использована замена переменной $\xi = kx$ и $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число. Граничное условие имеет вид $\bar{\phi}(x+2\pi)=\bar{\phi}(x)$. Замороженные волны имеют место в случае слабой нелинейности, что позволяет в линейном приближении искать их в виде $\bar{\phi} = \varepsilon\cos(kx+p)$, причем амплитуда ε – малая величина; здесь p - фаза. Для нелинейного уравнения (2) решение можно представить в виде разложения в ряд по теории возмущений:

$$\bar{\phi} = \varepsilon\left(\bar{\phi}^{(0)} + \varepsilon^2\bar{\phi}^{(2)} + \cdots\right), \qquad (3)$$

$$k^2 = K^{(0)} + \varepsilon^2 K^{(2)} + \cdots \qquad (4)$$

Подставив соотношения (3) и (4) в уравнение (2), получим бесконечную систему линейных дифференциальных уравнений для определения всех функций $\bar{\phi}^i(\xi)$, где $i = 0, 2, 4, \ldots$ Используя требование периодичности решения по пространственной переменной, можно вычислить явно в ведущем порядке по ε и следующем за ним порядке функции $\bar{\phi}^{(0)} = \cos\xi$ и

$$\bar{\phi}^{(2)} = \frac{9K^{(0)}\cos 3\xi}{36K^{(0)}\left(1-9K^{(0)}\right)-4\alpha},$$

а также коэффициенты

$$K^{(0)} = \left(1 \pm \sqrt{1-4\alpha}\right)/2,$$

$$K^{(2)} = 3K^{(0)}/4\left(1-2K^{(0)}\right).$$

Уравнение в ведущем порядке по ε будет однородным, все остальные уравнения системы являются неоднородными. При этом функциональная зависимость правой части уравнения для функции $\bar{\phi}^{(2)}$ будет определяться только функцией $\cos 3\xi$, так как коэффициент при функции $\cos\xi$ принимается равным нулю, что и позволяет найти $K^{(2)}$. Таким образом, по крайней мере, в ведущем и следующем за ним порядках по ε удается разделить гармонические составляющие решения.

Однако эффективность используемой схемы построения решения $\bar{\phi}$ в виде одиночных волн, основанного на использовании теории возмущений, на этом исчерпывается. Для следующей в ряду (3) функции $\bar{\phi}^{(4)}$ получаем уравнение вида

$$K^{(0)2}\bar{\phi}^{(4)}_{\xi\xi\xi\xi} + K^{(0)}\bar{\phi}^{(4)}_{\xi\xi} + \alpha\bar{\phi}^{(4)} =$$

$$= \left[6K^{(2)}\bar{\phi}^{(0)}\bar{\phi}^{(0)2}_{\xi} - K^{(4)}\bar{\phi}^{(0)}_{\xi\xi} + 3K^{(2)}\bar{\phi}^{(0)2}\bar{\phi}^{(0)}_{\xi\xi} - \right.$$

$$\left. -K^{(2)2}\bar{\phi}^{(0)}_{\xi\xi\xi\xi} - 2K^{(0)}K^{(4)}\bar{\phi}^{(0)}_{\xi\xi\xi\xi}\right] - \left[K^{(2)}\bar{\phi}^{(2)}_{\xi\xi} + \right.$$

$$\left. +2K^{(0)}K^{(2)}\bar{\phi}^{(2)}_{\xi\xi\xi\xi}\right] + \left[12K^{(0)}\bar{\phi}^{(0)}\bar{\phi}^{(0)}_{\xi}\bar{\phi}^{(2)}_{\xi} + \right.$$

$$+6K^{(0)}\bar{\phi}^{(2)}\bar{\phi}^{(0)2}_{\xi} + 3K^{(0)}\bar{\phi}^{(0)2}\bar{\phi}^{(2)}_{\xi\xi} +$$

$$\left. + 6K^{(0)}\bar{\phi}^{(2)}\bar{\phi}^{(0)}_{\xi\xi}\bar{\phi}^{(0)}\right]. \qquad (5)$$

Если подставить в уравнение (5) явные выражения для $\bar{\phi}^{(0)}$, $\bar{\phi}^{(2)}$, $K^{(0)}$ и $K^{(2)}$, полученные в работе [5] и приведенные выше, то данное уравнение может быть записано в следующем виде

$$K^{(0)2}\bar{\phi}^{(4)}_{\xi\xi\xi\xi} + K^{(0)}\bar{\phi}^{(4)}_{\xi\xi} + \alpha\bar{\phi}^{(4)} =$$

$$= A\cos\xi + B\cos 3\xi + C\cos 5\xi, \qquad (6)$$

где A, B и C – некоторые коэффициенты, которые выражаются через $K^{(0)}$, $K^{(2)}$, $K^{(4)}$ и α. Явные представления для этих коэффициентов здесь не приводятся в виду их громоздкости.

Вследствие требования периодичности решения, коэффициент A можно положить равным нулю. Это позволяет сразу определить коэффициент $K^{(4)}$. Данный коэффициент равен

$$K^{(4)} = \frac{9K^{(0)}\left(1-3K^{(0)}\right)}{16(1-2K^{(0)})^3} +$$

$$+\frac{15K^{(0)2}}{\left[36K^{(0)}\left(1-9K^{(0)}\right)-4\alpha\right]\left(1-2K^{(0)}\right)}.$$

Для того, чтобы и в рассматриваемом в данном случае порядке по малому параметру ε произошло разделение гармонических составляющих решения, необходимо, чтобы при полученных выражениях для $K^{(0)}$, $K^{(2)}$, $K^{(4)}$ и при заданном значении α коэффициент B в уравнении (6) автоматически обращался в нуль. Этого, однако, не происходит. В результате получается, что правая часть уравнения для функции $\bar{\phi}^{(4)}$ будет определяться сразу двумя гармоническими составляющими, а именно, $\cos 3\xi$ и $\cos 5\xi$, т.е. как минимум двумя волнами. Это, в свою очередь, означает, что и решение уравнения (6) будет определяться вкладами от двух различных волн.

Таким образом, возникает ситуация в которой не удается соотнести ту или иную гармоническую составляющую только с одним порядком разложения по теории возмущений. Следовательно, подход к решению уравнения (2), основанный на теории возмущений и использующий представление решения в виде суперпозиции только одиночных волн, оказывается неудовлетворительным; его применение не позволяет построить решение.

Данный вывод согласуется с аналогичным выводом, полученным в [5]. В этой работе вычислены только функции $\bar{\phi}^{(0)}$ и $\bar{\phi}^{(2)}$. Показано, что, если подставить выражение для $K^{(0)}$ в выражение для $\bar{\phi}^{(2)}$, то последняя функция оказывается неограниченной при $\alpha = 9/100$, хотя, как показано в [6], при таком значении α решение в виде замороженных волн должно существовать.

Еще одним подтверждением того, что разложение по одиночным волнам не применимо, является поведение функции $\bar{\phi}(\xi)$ в окрестности точки, в которой производная от функции, описывающей поведение границы области существования решения, меняет знак $(\alpha \to 1/4)$. В

этой точке нарушается разложение для коэффициента k^2, определяемое соотношением (4).

Однако, наряду с возможностью построения решения в виде суперпозиции двухволновых составляющих, остается вопрос об устойчивости таких решений [5].

Известно, что для решений в виде одиночных волн, по крайней мере, с точностью до членов, определяемых функциями $\bar{\phi}^{(0)}$ и $\bar{\phi}^{(2)}$, можно найти область значений $\{\alpha, \lambda\}$, в которой они устойчивы. Здесь λ – длина «замороженной» волны; фактически, это период пространственной структуры решения. В тоже время решения двухволнового типа не устойчивы.

Описанную противоречивую ситуацию можно рассматривать как указание на то, что используемый метод построения решений в виде «замороженных» волн, основанный на применении теории возмущений, оказывается не достаточно эффективным, несмотря на то, что в задаче имеется естественный малый параметр ε. В результате линеаризации задачи теряется физическое содержание модели. Для поиска решения необходимо использовать другие методы, применяемые для существенно нелинейных уравнений.

1. Carter, W.G. Variational methods for microstructural-evolution theories / W.G. Carter, J.E. Taylor, J.W. Cahn // JOM-Journal of the minerals, metals & materials society. – 1997. – V. 49, № 12. – P. 30-36.
2. Saito, Y. Anisotropy effect on step morphology described by Kuramoto-Sivashinsky equation / Y. Saito, M. Uwaha // J. Phys. Soc. Japan. – 1996. – V. 65, № 11. – P. 3576-3581.
3. Yeung, C. Phase separation dynamics in driven diffusive systems / C. Yeung, T. Rogers, A. Hernandes- Machado, D. Jasnow // J. Statist. Physics. – 1992. – V. 66, № 3-4. – P. 1071-1088/
4. Golovin, A.A. Convective Cahn-Hilliard models: From coarsening to roughening / A.A. Golovin, A.A. Nepomnyashchy, S.H. Davis, M.A. Zaks // Phys. Rev. Lett. – 2001. – V. 86, № 8. – P. 1550-2001.
5. Benilov, E.S. Stability of frozen waves in the modified Cahn-Hilliard model / E.S. Benilov, W.T. Lee, R.O. Sedakov // Phys. Rev. E – 2013. – V. 87, № 3. – 032138.
6. Liu. F. Dynamics of phase separation in block copolymer melts / F. Liu, N. Goldenfeld // Phys. Rev. A. – 1989. – V. 43, № 9. – P. 4805-4810.

УДК 681.2

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА БАЗЕ TI-N В СОСТАВЕ ПОВЕРХНОСТНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НА СТАЛИ

Ковальчук А.В., Константинов С.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Повышение срока службы деталей приборов с одновременной минимизацией их массогабаритных параметров является актуальной и перспективной задачей современного приборостроения. В вопросах проектирования и обработки деталей, работающих в условиях трения, значительную роль играют материаловедческие аспекты. Сегодня одним из приоритетных направлений современного материаловедения применительно к вопросам упрочнения деталей приборов, прецизионного инструмента и других является разработка упрочняющих покрытий, защищающих рабочую поверхность от изнашивания, коррозии и механических повреждений. Особое внимание уделяется наноструктурированным многокомпонентным покрытиям ввиду уникального сочетания их свойств. За последнее десятилетие был разработан ряд твердых покрытий на основе металлоподобных тугоплавких химических соединений переходных металлов – нитридов, карбидов, боридов и других. Такие покрытия на стальной поверхности обеспечивают высокую нанотвердость и износостойкость, однако имеют узкую область практического применения, так как их эксплуатационные свойства ограничиваются усилием и нагрузкой, которую может выдерживать покрытие без продавливания. Следовательно, эффективные характеристики системы «конструкционная сталь – PVD покрытие» в большей степени зависят от свойств материала основы.

Композиты типа покрытие-подложка до сих пор слабо описаны теоретически, и важно выявить общие закономерности между микроструктурными особенностями и макроструктурными характеристиками [1, 2]. Следует отметить, что применительно к вакуумным PVD и CVD покрытиям, каждое покрытие обладает своим уникальным набором свойств для каждого конкретного сочетания с подложкой [3, 4]. Такие данные представляют значительный интерес.

Цель работы заключалась в установлении влияния предварительной упрочняющей химико-термической обработки на дюрометрические и трибологические свойства слоистых систем «сталь – PVD покрытие на основе TiN».

В ходе работы были исследованы микро- и нанотвердость PVD покрытий на основе TiN ле-

гированных алюминием на отожженных стальных подложках и подложках, упрочненных в результате химико-термической обработки.

Испытаниям подвергали образцы с покрытиями на подложках из упрочненной в результате карбонитрации (550–600 °С, 7 ч) и не упрочненной стали 12Х18Н9Т.

Значения микротвердости образцов получали при измерении твердости по методу восстановленного отпечатка при нагрузке на индентор 0,09–0,98 Н).

Установили, что микротвердость образцов после поверхностного упрочнения химико-термической обработкой и нанесением покрытия TiAlN 1,2–1,5 раза превышает соответствующий показатель после упрочнения посредством способа, включающего нанесение покрытия TiN и в 1,4–1,8 раза – включающего азотирование вместо карбонитрации. Это свидетельствует о том, что поверхностное упрочнение с одновременным насыщением стальной основы азотом и углеродом и легирование алюминием вакуумного покрытия повышает эффективную твердость слоистой системы и несущую способность непосредственно покрытия, которое вносит более существенный вклад в общую твердость поверхностной композиции.

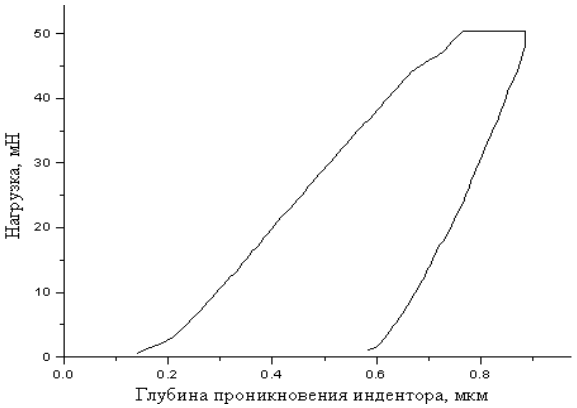
Таблица 1 – Результаты дюрометрических испытаний

Способ упрочнения	Микротвердость, МПа	Нанотвердость, МПа
Азотирование и нанесение покрытия TiN	14170	21040
Карбонитрация и нанесение покрытия TiN	16140	23950
Карбонитрация и нанесение покрытия TiAlN	19770	52880

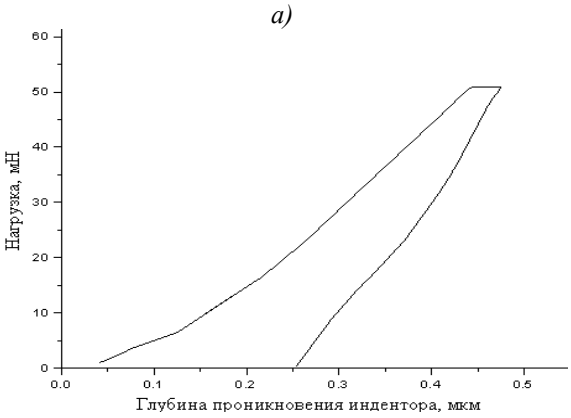
Это также подтверждают значения нанотвердости, которые показывают повышение нанотвердости покрытий в 1,7–2,5 раза. Это делает научно обоснованным снижение толщины покрытий в таких слоистых системах.

Значения нанотвердости получали при обработке кривых нагружения-разгрузки, полученных на приборе Nanoindenter G200 (MES Systems, USA) по методике Оливера-Фарра, с применением трехгранного алмазного индентора Берковича с радиусом закругления при вершине 20 нм при вдавливании наноиндентора на глубину до 200–300 нм.

Угол наклона разгрузочной кривой (1а) свидетельствует о хороших упругий свойствах покрытия, однако нанотвердость относительно низкая, покрытие продавливается. Нанотвердость – 28070 МПа, модуль упругости – 770 ГПа, жесткость – 2,47 Н/м. Малый угол наклона разгрузочной кривой (1б) свидетельствует о высокой упругости покрытия и его преимущественно вязком характере разрушения под действием нагрузки индентора. Нанотвердость – 52880 МПа, модуль упругости – 870 ГПа, жесткость – 1,48 Н/м.



а)



б)

а) – покрытие TiAlN на стали 12Х18Н9Т;
б) – покрытие TiAlN на стали 12Х18Н9Т после низкотемпературной нитроцементации

Рисунок 1 – Кривые нагружения-разгрузки образцов с покрытиями

Трибологические испытания проводили по схеме сухого трения скольжения «диск – плоскость», износостойкость (таблица 2) определяли по величине линейного износа за 1 ч при нормальной нагрузке 0,1 Н. Установили, что предварительная карбонитрация увеличивает время до появления остаточной деформации в подложке и несколько нивелирует влияние разности в твердости между подложкой и покрытием на эффективную твердость слоистой системы, а сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое подложки, полученные в результате карбонитрации, увеличивают время до появления усталостных трещин. Также при наступлении начала последовательного разрушения покрытия упрочненная подложка тормозит процесс развития очага разрушения и при полном разрушении

покрытия под контртелом работает дольше не упрочненной.

Износостойкость образцов по величине линейного износа после карбонитрации и нанесения покрытия TiAlN в 1,3–1,4 раза превышает соответствующий показатель после нанесения покрытия TiN и в 1,5–1,6 раза – покрытия TiN на азотированной подложке. Очевидно, что по величине потери массы эта разница больше.

Таблица 2 – Результаты трибологических испытаний

Способ упрочнения	Линейный износ, мкм
Азотирование и нанесение покрытия TiN	652
Карбонитрация и нанесение покрытия TiN	577
Карбонитрация и нанесение покрытия TiAlN	412

Таким образом, анализируемая система «PVD покрытие – упрочненная стальная основа» представляет собой новый композиционный материал, характеризующийся свойствами, в отдельности недостижимыми ни материалом покрытия, ни материалом подложки.

Предварительная химико-термическая обработка стальной подложки позволила до 7 раз повысить микротвердость и до 2,3 раза износостойкость рабочей поверхности композита. Это позволяет сделать научно обоснованным снижение толщины покрытий в рассмотренных слоистых системах без потери эксплуатационных свойств.

1. Воронин Н.А. Абразивная стойкость и несущая способность вакуумных ионно-плазменных покрытий. // Трение и износ, 1998. – Т.19 – №5. – С. 616–622.
2. Константинов В.М. Оценка износостойкости покрытия TiN на упрочненной и не упрочненной основе / В.М. Константинов, Ф.Ф. Комаров, А.В. Ковальчук, В.В. Пилько // Вестник БарГУ, 2013. – С.102–108.
3. Хоккинг М., Вассантари В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия: Получение, свойства и применение: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 518 с
4. Константинов В.М. Повышение жесткости металлической основы систем "конструкционная сталь – нитрид титана" / В.М. Константинов, А.В. Ковальчук, Г.А. Ткаченко // Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.: в 2 ч. – Минск: Белорусская наука, 2013. – Вып. 36, ч.2. – С. 152–161.

УДК 681.7.023.72

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОДНОВРЕМЕННОЙ ДВУСТОРОННЕЙ ОБРАБОТКИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЕНИСКОВ

Козерук А.С., Кузнечик В.О., Шамкалович В.И., Лаптева Е.О., Василевич А.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Предлагается высокоэффективная технология одновременной двусторонней обработки прецизионных отрицательных менисков, относящихся к маложестким труднообрабатываемым оптическим деталям.

С целью создания методики, которая позволила бы рассчитать наладочные параметры станка, разработана математическая модель процесса двусторонней обработки маложестких линз. При этом за основу принята гипотеза Ф. Престона [1], в соответствии с которой величина съема припуска пропорциональна скорости V скольжения детали относительно инструмента и давлению P в зоне контакта притирающихся поверхностей.

Определим выражение для расчета скорости скольжения V_{M} в произвольной точке М зоны контакта инструмента 1 и сферической детали 2 (рис. 1) с радиусом кривизны R. Вектор этой скорости запишем в виде [2]

$$\vec{V}_{\text{M}} = \vec{V}_{\text{M}}^{\text{д}} - \vec{V}_{\text{M}}^{\text{И}}, \qquad (1)$$

где $\vec{V}_{\text{M}}^{\text{д}} = \vec{\omega}_{\text{д}} \times \vec{R}_{\text{M}}$ и $\vec{V}_{\text{M}}^{\text{И}} = \vec{\omega}_{\text{И}} \times \vec{R}_{\text{M}} + \vec{V}_{\text{M}}^{\text{В–В}}$ – векторы абсолютной скорости соответственно детали и инструмента в рассматриваемой точке, вращающихся с угловыми скоростями $\omega_{\text{Д}}$ и $\omega_{\text{И}}$; $\vec{R}_{\text{M}}$ – вектор, начало которого расположено в центре О кривизны сферической поверхности, а конец – в точке М; $\vec{V}_{\text{M}}^{\text{В–В}}$ – вектор скорости возвратно-вращательного движения инструмента.

Из анализа рис. 1 видно, что центр С рабочей поверхности верхнего инструмента в любой момент времени обработки принадлежит, с одной стороны, сфере радиуса l_{AC} с центром в точке А, с другой – сферической поверхности детали. Пересечение двух сфер определяет окружность, плоскость которой перпендикулярна линии, соединяющей их центры. Таким образом, точка С в возвратно-вращательном движении перемещается по дуге окружности с центром на линии АО в плоскости, перпендикулярной этой линии. То же самое можно сказать применительно к любой

точке верхнего инструмента, а также плоскости треугольника ABO. Угловую скорость этого движения, вектор которой направлен вдоль оси AO, обозначим $\omega_{\text{B–B}}$. Тогда для точки М можно записать $V_{\text{M}}^{\text{B–B}} = \vec{\omega}_{\text{B–B}} \times \vec{R}_{\text{M}}$, причем $\omega_{\text{B–B}} = \dot{\Delta}$, где Δ – угол между вертикальной плоскостью AXZ неподвижной системы координат $AXYZ$ и плоскостью треугольника ABO, сторона AB которого представляет собой прямую, соединяющую шарнир A и шаровой наконечник поводка верхнего инструмента, а ось AX упомянутой системы координат проходит через точку О и шарнир А.

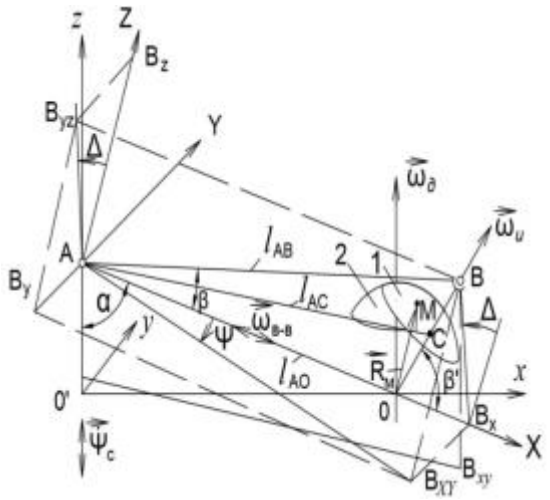


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения скорости скольжения в случае обработки линз

Определим скорость $\omega_{\text{B–B}}$.

Если координаты центра шарика B поводка верхнего инструмента в системе координат $AXYZ$ обозначить $X_{\text{B}}, Y_{\text{B}}, Z_{\text{B,}}$ то

$$\Delta = -\text{arctg}\frac{Y_{\text{B}}}{Z_{\text{B}}}, \qquad (2)$$

где $Y_{\text{B}} = X_{\text{B}}\text{tg}\psi\,; Z_{\text{B}} = l_{\text{AB}}\sin\beta\cos\Delta;\; X_{\text{B}} = l_{\text{AB}}\cos\beta$

$\beta = \arccos\dfrac{l_{\text{AB}}^2 + l_{\text{AO}}^2 - l_{\text{OB}}^2}{2l_{\text{AO}}l_{\text{AB}}}$ - угол между прямыми

$l_{\text{AO}} = \sqrt{x_O^2 + (h - z_{\text{À}})^2}$ и $l_{\text{AB}} = \sqrt{(l_5 + \text{M}_{\text{À}})^2 + l_6^2}$, имеющими общее начало на оси симметрии шарнира А и проходящими через точку О и центр шарика В соответственно; ψ – угол, определяющий положение штанги в плоскости AXY; $l_{\text{OB}} = R + h_{\text{È}}$ – расстояние между точкой О и шариком В; h и $z_{\text{À}}$ – расстояние от плоскости механизма шарнирного четырехзвенника до шарнира А и центра кривизны обрабатываемой сферической поверхности соответственно; $h_{\text{È}}$ – высота инструмента 7; l_6 – длина поводка 6; М – величина смещения поводка 6 от нулевого положения F_0 на штанге 5, а l_5 – расстояние от этого положения до центра шарнира А; x_G – расстояние между осями шарнира А и детали 8.

Используя приведенные обозначения, выражение (2) можно записать в виде

$$\Delta = -\arcsin(\text{ctg}\beta\,\text{tg}\,\psi). \qquad (3)$$

Установим связь между углами Ψ и ψ_{C}, последний из которых определяет положение штанги верхнего инструмента в горизонтальной плоскости и согласно конструкции станка равен [3] $\psi_{\text{C}} = \varphi_4 - \pi/2$, а

$$\text{tg}\psi = -\frac{Y_{\text{B}}}{X_{\text{B}}}, \qquad (4)$$

причем $Y_{\text{B}} = y_{\text{B}}$, где y_{B} – координата шарика В в горизонтальной плоскости xy системы координат $O'xyz$, ось x которой проходит через центр кривизны О сопряженных поверхностей детали и инструмента, а точка O' является пересечением оси x с вертикальной осью вращения звена 4 механизма шарнирного четырехзвенника.

Для определения координаты y_{B} запишем следующую систему уравнений [4]:

$$\left.\begin{aligned} &(x_{\text{B}} - x_{\text{A}})^2 + (y_{\text{B}} - y_{\text{A}})^2 + (z_{\text{B}} - z_{\text{A}})^2 = l_{\text{AB}}^2; \\ &(x_{\text{B}} - x_{\text{O}})^2 + (y_{\text{B}} - y_{\text{O}})^2 + (z_{\text{B}} - z_{\text{O}})^2 = l_{\text{OB}}^2; \\ &y_{\text{B}} = -x_{\text{B}}\text{tg}\psi_{\text{C}}, \end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

где $x_{\text{A}}, y_{\text{A}}, z_{\text{A}}$; $x_{\text{B}}, y_{\text{B}}, z_{\text{B}}$; $x_{\text{O}}, y_{\text{O}}, z_{\text{O}}$ – координаты точек соответственно A,B,O в горизонтальной плоскости xy: $z_{\text{A}} = h - z_{\text{À}}$ – значение координаты z_{A}.

Решив систему уравнений (5), с учетом выражений (2) и (3) можно вычислить скорость возвратно-вращательного движения верхнего инструмента, рассчитать скорость скольжения, а, следовательно, и срабатывание, пропорциональное параметру $Q = PV$, в произвольной точке на обрабатываемой поверхности в меридиальном сечении выпуклой и вогнутой линзы.

Расчет давления P проводился по методике, приведенной в [5].

При двусторонней обработке линз по методу свободного притирания на разработанном станке [6] наладочными параметрами, позволяющими управлять процессом формообразования высокоточных поверхностей, являются амплитуда возвратно-вращательного перемещения инструмента 1, угловая скорость линзы $\omega_{\text{ë}}$, угловая скорость входного звена исполнительного механизма станка ω_2, отношение угловой скорости

инструмента к угловой скорости линзы $\omega_и / \omega_л$ и диаметр инструмента $d_и$ [7].

В результате выполненных теоретико-экспериментальных исследований установлено, что для управления процессом одновременной двусторонней обработки на предлагаемом станке можно использовать одни и те же наладочные параметры технологического оборудования как для выпуклой, так и для вогнутой поверхностей, при этом эффективными наладочными параметрами, по сравнению с классическими приемами, могут быть отношение угловых скоростей инструмента и детали, а также изменение диаметра инструмента.

1. Preston E.W.// Journal of the Society Technology. – 1927. – N 11. – P. 214–256.
2. Филонов, И.П. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов / И.П. Филонов, Ф.Ф. Климович, А.С. Козерук. – Минск: ДизайнПРО, 1995. – 208 с.
3. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1988. – 639 с.
4. Козерук, А.С. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов на основе математического моделирования: дис. …д-ра техн. наук: 05.03.01, 05.02.08 / А.С. Козерук. – Минск, 1997. – 317 л.
5. Климович, Ф.Ф. Математическое моделирование процесса изнашивания сферических поверхностей / Ф.Ф. Климович, А.С. Козерук, И.П. Филонов //Оптический журнал. – 1997. – том 64, № 2. – С. 111–112.
6. Станок для одновременной двусторонней обработки линзы с пологими вогнутыми поверхностями: пат. 10724 Респ. Беларусь, МПК B 24B 13/00 / А.С. Козерук, В.Ф. Климович, А.А. Сухоцкий; заявитель Белор. нац. техн. ун-т. – № a20060117; заявл. 06.02.14; опубл. 10.30.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 3. – С. 170.
7. Козерук, А.С. Формообразование прецизионных поверхностей. Мн., 1997. – 176 с.

УДК 681.7.023.72

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Козерук А.С., Филонова М.И., Лаптева Е.О., Шлык В.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При обработке линз на финишных операциях по классической технологии их поочередно закрепляют за рабочие поверхности на металлическое наклеечное приспособление с помощью смолы. Из-за различных температурных коэффициентов линейного расширения металла, смолы и стекла происходит деформация линзы, что в конечном итоге приводит к возникновению погрешностей на ее обработанной поверхности. Во избежание этого явления предложен способ одновременной двусторонней обработки деталей данного типа [1], исключающей их крепление за исполнительные поверхности, и станок для реализации этого способа [2] (рис. 1, 2).

Такой станок состоит из двух секций, каждая из которых обеспечивает независимое и гибкое регулирование ее наладочных параметров в широких пределах при закреплении заготовки линзы за боковую нерабочую поверхность. Станок состоит из следующих основных элементов 1-4 - шарнирный четырехзвенник, 5 – штанга, 7 – верхний инструмент, 8 – линза, 9 – нижний инстумент.

Авторами установлена взаимосвязь закономерностей движения звеньев исполнительного механизма станка для одновременной двусторонней обработки деталей [2] с качеством обработанной поверхности, что позволит управлять процессом формообразования.

В результате исследований движения верхнего инструмента станка были получены следующие результаты. Скорость υ_C [3] центра C рабочей поверхности верхнего инструмента можно получить из выражения

$$\vec{\upsilon}_C = \left(\vec{\dot{\psi}}_C + \vec{\dot{\theta}}_C\right) \times \vec{l}_{AC}, \qquad (1)$$

где

$$\vec{\dot{\psi}}_C = (0 \quad 0 \quad \dot{\psi}_C)^T,$$

$$\vec{\dot{\theta}}_C = (\dot{\theta}_C \sin\psi_C \quad \dot{\theta}_C \cos\psi_C \quad 0)^T,$$

$$\vec{l}_{AC} = (l_{AC} \cos\theta_C \cos\psi_C \quad l_{AC} \cos\theta_C \sin\psi_C \quad l_{AC} \sin\theta_C)^T.$$

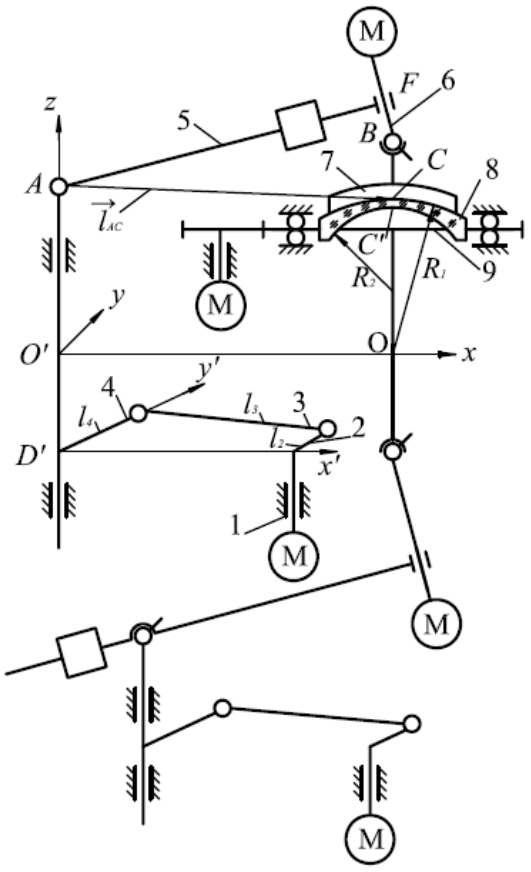


Рисунок 1 – Кинематическая схема станка для одновременной двусторонней обработки линз

Вектор $\vec{\psi}_C + \vec{\dot{\theta}}_C$ имеет следующие проекции на оси системы координат $O'xyz$: $\dot{\theta}_C \sin\psi_C$, $\dot{\theta}_C \cos\psi_C$, $\dot{\psi}_C$. Учитывая равенство (1), вектор $\vec{\upsilon}_C$ запишем в виде линейной комбинации ортов

$$\vec{\upsilon}_C = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{\kappa} \\ \dot{\theta}_C \sin\psi_C & -\dot{\theta}_C \cos\psi_C & \dot{\psi}_C \\ l_{AC} \cos\theta_C \cos\psi_C & l_{AC} \cos\theta_C \sin\psi_C & l_{AC} \sin\theta_C \end{vmatrix} =$$

$$= (-\dot{\theta}_C l_{AC} \cos\psi_C \sin\theta_C - l_{AC}\dot{\psi}_C \cos\theta_C \sin\psi_C)\vec{i} -$$
$$-(\dot{\theta}_C l_{AC} \sin\psi_C \sin\theta_C - l_{AC}\dot{\psi}_C \cos\theta_C \cos\psi_C)\vec{j} +$$
$$+(\dot{\theta}_C l_{AC} \sin^2\psi_C \cos\theta_C + l_{AC}\dot{\theta}_C \cos^2\psi_C \cos\theta_C)\vec{\kappa}$$

и введем обозначения

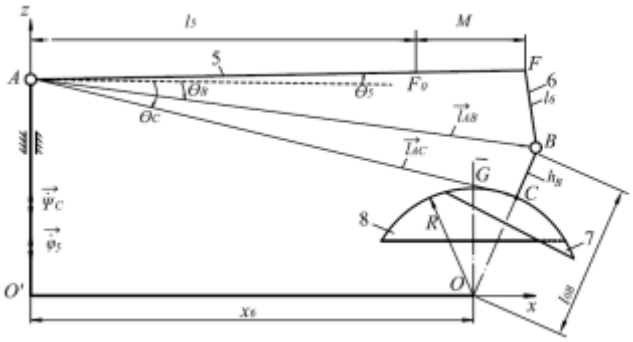
$$\upsilon_X = -\dot{\theta}_C l_{AC} \cos\psi_C \sin\theta_C - l_{AC}\dot{\psi}_C \cos\theta_C \sin\psi_C,$$

$$\upsilon_Y = -\dot{\theta}_C l_{AC} \sin\psi_C \sin\theta_C + l_{AC}\dot{\psi}_C \cos\theta_C \cos\psi_C,$$

$$\upsilon_Z = \dot{\theta}_C l_{AC} \sin^2\psi_C \cos\theta_C + \quad (2)$$
$$+ l_{AC}\dot{\theta}_C \cos^2\psi_C \cos\theta_C.$$

Тогда $\vec{\upsilon}_C = (\upsilon_X \quad \upsilon_Y \quad \upsilon_Z)^T$ и $\upsilon_C = |\vec{\upsilon}_C| = \sqrt{\upsilon_X^2 + \upsilon_Y^2 + \upsilon_Z^2}$.

а)



б)

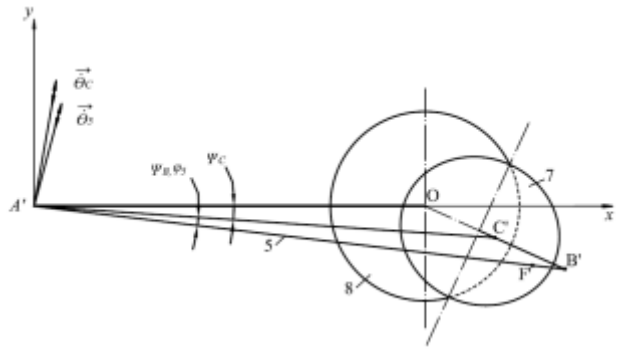


Рисунок 2 – Рабочая зона станка: а) вид сбоку, б) вид сверху

Проделав аналогичные операции, можно получить выражения для составляющих скорости $\upsilon_{C'}$ центра C' рабочей поверхности нижнего инструмента 9 [3].

Выполненное математическое моделирование геометрических и кинематических связей технологического оборудования для одновременной двусторонней обработки линз позволяет разработать методику расчета законов возвратно-вращательных движений инструментов в виде определенного алгоритма.

1. Способ одновременной двусторонней обработки деталей со сферическими поверхностями: пат. 7911 Респ. Беларусь, МПК B 24B

13/00/ А.С. Козерук, И.П. Филонов; заявитель БНТУ - № a 20030242; заявл. 2003.03.18; опубл. 2006.04.30// Офиц. бюл. / Нац. центр интел. собственности. – 2006. – №2. – С. 158.
2. Станок для одновременной двусторонней обработки линз с крутыми вогнутыми поверхностями: пат. 10726 Респ. Беларусь, МПК B 24B 13/00/ А.С. Козерук, И.П. Филонов, А.А. Сухоцкий, В.Ф. Климович, Е.С. Таболина; заявитель БНТУ - № a 20060589; заявл. 2006.06.14; опубл. 2008.06.30// Офиц. бюл. / Нац. центр интел. собственности. – 2008. – №3. – С. 76.
3. И.П. Филонов, Ф.Ф. Климович, А.С. Козерук. Управление формообразованием прецизионных поверхностей деталей машин и приборов. Мн., ДизайнПРО, 1995. – 208 с.

УДК 629.7

ИЗДЕЛИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Колаша С.С.[1], Фёдорцев Р.В.[2]
[1] ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь,
[2] Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В современной аэрокосмической технике широко используются различные полимерные композиционные материалы (ПКМ). В частности, при разработке и создании средств космического базирования целесообразно применение новых материалов, которые способны обладать стойкостью к воздействию внешних возмущающих факторов (ВВФ) космического пространства таким как: высокое давление и вибрационные нагрузки на этапе выведения на орбиту; резкие колебания температуры и глубокий вакуум, радиационное воздействие и проникновение микрочастиц в процессе полёта и т.д.

ПКМ состоят из двух или более компонентов, количественное соотношение которых должно быть сопоставимо. Один из компонентов образует непрерывную фазу, которая называется матрицей, другой компонент является наполнителем. Между ними создается адгезионное взаимодействие, которое обеспечивает монолитность материала.

В ПКМ матрица полимерная, а наполнитель представляет собой частицы и волокна, обладающие более высокими физико-механическими характеристиками по сравнению с полимерной матрицей.

Классификацию ПКМ можно осуществить по следующим признакам:

1. По природе матрицы:
   – термореактивная;
   – термопластичная;
   – гибридная.
2. По природе и форме наполнителя:
   – органические и неорганические вещества природного или искусственного происхождения;
   – дисперсно-наполненные композиты;
   – материалы на основе коротких и непрерывных волокон.
3. По функциональности и др [1].

Применение ПКМ позволяет снизить вес космического аппарата (КА) на 10…50% в зависимости от типа конструкции и, соответственно, сократить расход топлива, повысив при этом надежность изделия [2].

ПКМ является основным материалом для изготовления таких элементов конструкции КА как защитные кожухи антенн, трубчатые фермы, панели, брусья, несущие конструкции теплозащиты, каркасы солнечных батарей и другие несущие и вспомогательные элементы.

На рисунке 1 изображен адаптер, изготовленный из ПКМ, в ракетоносителе «Протон-М» для вывода тяжелых спутников на геостационарную орбиту.

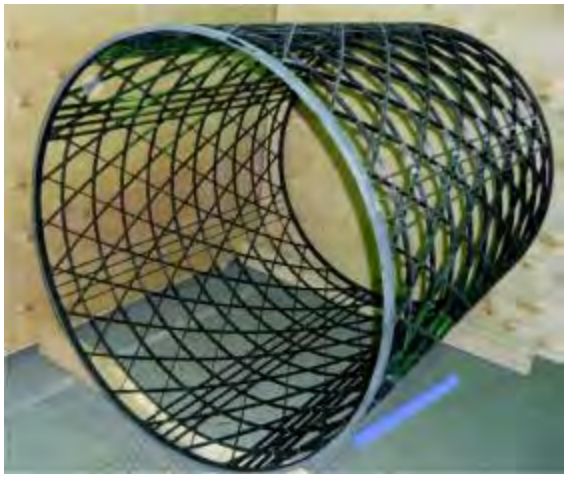


Рисунок 1 – Адаптер из ПКМ в ракетоносителе «Протон-М»

ОАО «Пеленг» при создании оптико-электронных аппаратов (ОЭА) космического базирования осуществляет комплексные исследования свойств ПКМ на различных стадиях проектирования с целью определения соответствия разрабатываемого изделия предъявляемым требованиям:

– аналитический метод (проверка КД на ОЭА в части обеспечения требований устойчивости к воздействию ВВФ);

– расчетный метод (математическое моделирование ВВФ на конструкцию ОЭА космического базирования в специализированных программных пакетах);

– экспериментальный метод (макетно-конструкторские, динамические, термовакуумные и другие испытания аппаратуры);

– комбинированные методы.

Основными методами получения необходимой информации при испытаниях являются расчетно-экспериментальный и экспериментальный. Сравнение полученных данных проводится методом сличения.

Для проверки разработанного ОЭА космического базирования на работоспособность при воздействии различных ВВФ принято проводить следующий ряд испытаний:

Таблица 1 – Режим испытаний изделия на вибропрочность

По оси Z							
Диапазон частот (Гц)		5 – 8	8–25	25–30	30–60	60–65	65–100
Амплитуда виброускорения при приемке, g (0...P)		1–3	3	3–5	5	5–3	3
По осям X, Y							
Диапазон частот (Гц)		5–8	8–30	30–35	35–60	60–65	65–100
Амплитуда виброускорения при приемке, g (0...P)		1,5–4,5	4,5	4,5–6	6	6–4,5	4,5
Скорость сканирования	при аттестации	2окт/мин.					
	при приемке	4окт/мин.					

1. Стойкость и устойчивость к климатическим ВВФ. Испытуемый ОЭА устанавливается в климатическую камеру, где его подвергают воздействию циклического изменения температуры. Проводят 18 температурных циклов из следующих друг за другом полуциклов испытаний на холодо- и теплоустойчивость в последовательности от 0°С до +40°С со скоростью изменения температуры 0,5 °С/мин при времени выдержки 4 ч.

2. Прочность к воздействию линейных перегрузок. Линейные перегрузки, действующие на ОЭА, в продольном направлении (в направлении Z) составляют 8g, в поперечном направлении (в направлении X/Y) – 3g. В соответствии с отраслевым стандартом если значение максимального линейного ускорения на аппаратуру не превышает 10g, то воздействие линейных перегрузок допускается подтверждать расчетным методом.

3. Прочность к воздействию широкополосных случайных и синусоидальных вибраций. Для проверки на конструктивную прочность при вибрационном воздействии проводится серия испытаний на вибростенде ES-70-480/BT1000M. ОЭА фиксируется так, как будет зафиксирован в КА, и подвергается вибрациям по трём осям разновременно в исследуемом диапазоне частот (обычно от 0 Гц до 2000 Гц или от 0 Гц до 3000 Гц). С установленных в различных частях конструкции акселерометров поступает информация о возникающих в конструкции виброускорениях. Так формируется механическая амплитудно-частотная характеристика, которая показывает резонансные частоты конструкции и максимальные уровни виброускорения, возникающие в ней. Параметры режима испытаний представлены в таблице 1.

4. Прочность к ударно-импульсным воздействиям. Испытание проводится при помощи ударно-импульсного силовозбудителя на режимах, представленных в таблице 2 и в форме ударного спектра, определенного при добротности Q=10 в трех взаимно перпендикулярных направлениях. При проведении испытаний осуществляется измерение виброускорений с помощью анализатора спектра Zet 017-U4 по трем осям в точках крепления ОЭА.

Таблица 2 – Режим воздействия ударно-импульсного нагружения на ОЭА

Диапазон частот, Гц	100–500	500–3000
Величина при аттестации (g) Q	10	
Точность воспроизведения	±6 dB/oct	
Направление нагрузки	По трем осям	
Количество ударов по каждой из осей	3	

Отрицательным фактором проведения указанных испытаний является то обстоятельство, что в ряде случаев изделие может частично или полностью утратить свою работоспособность, что повлечёт дополнительные финансовые и временные затраты, которые тем не менее будут способствовать усовершенствованию изделия путём изготовления новых деталей и узлов.

1. Кербер, М.Л. Полимерные композиционные материалы: структуры, свойства, технология: учеб. Пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: «Профессия», 2008. – 560 с.

2. Ракетостроение. Отраслевые решения. Холдинговая компания «Композит». Россия. Москва. 2009 – 2014. http://www.hccomposite.com/sectors/ 126/.
3. Сетчатые конструкции из органо-углепластиков. ФНПЦ ОАО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения». Россия. Хотьково. http://www.tsniism.ru/production_4.htm.
4. Коваленко, В.А Применение полимерных композиционных материалов в изделиях ракетно-космической техники как резерв повышения её массовой и функциональной эффективности. / В.А. Коваленко, А.В. Кондратьев – Журнал «Авиационно-космическая техника и технология», №5 (82), 2011. – С.14-20.

УДК 620.22

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИНЖЕКТОРА НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕМ

Кузнецова Т.А.[1], Ширяева Т.И.[1], Чижик С.А.[1], Кравчук А.С.[2], Мищак А.[3], Фриц М.[3], Чабан А.[3]

[1] Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2] Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
[3] Морская академия, Гдыня, Республика Польша

Для большинства деталей машин прочностные свойства поверхности являются определяющими для надежной работы всего механизма. Под прочностью материала понимают его способность сопротивляться разрушению в результате силового воздействия [1]. Характеристиками, позволяющими достоверно оценить прочностные свойства материалов, являются микротвердость и модуль упругости. В данной работе оценка изменения прочностных характеристик поверхностных слоев детали вследствие ее работы проводилась на примере деталей инжектора топлива (рисунок 1).

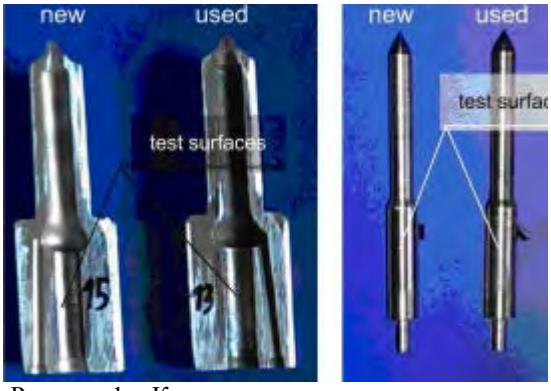


Рисунок 1 – Корпус и игла инжектора топлива

Внутренняя поверхность корпуса и наружная поверхность иглы подвергаются гидродинамическому давлению $12 \cdot 10^6$ -$18 \cdot 10^6$ Па. При использовании топлива низкого качества помимо общего давления добавляется воздействие примесных абразивных частиц размером от десятых долей микрометра до нескольких микрометров, что ведет к образованию царапин и углублений в зазоре между корпусом и иглой и может привести к разгерметизации узла и его разрушению ранее запланированных 6000 часов.

Для исследования изменения микротвердости и модуля упругости рабочих поверхностей корпуса и иглы ижектора топлива применяли наноиндентирование, основанное на локальном силовом воздействии с одновременной регистрацией деформационных откликов [2]. Для исследования зависимости прочностных свойств от расстояния до рабочей поверхности из образцов были изготовлены поперечные шлифы, одновременно обеспечивающие необходимую степень шероховатости для работы в режиме наноиндентирования. Исследования проводились на наноинденторе модели 750 Ubi фирмы Hysitron (США) путем внедрения алмазного наконечника Берковича, в виде трехгранной пирамиды с радиусом закругления острия 100 нм. Высокая точность позиционирования и малый радиус закругления острия индентора позволяют производить оценку механических свойств отдельных фаз многофазных материалов.

Для контроля качества исследуемой поверхности материала и точного выбора места индентирования были получены изображения топографии поверхности методом сканирующей зондовой микроскопии. Точность измерений обеспечивалась путем набора статистических данных в массиве из 20 точек на каждом поле. Индентирование проводилось с постоянной нагрузкой равной 5000 мкН по схеме: 10 с нагружение – 10 с разгружение. В результате внедрения в поверхность материала получали кривые нагружения-разгружения (зависимость силы от глубины внедрения) (рисунок 2), по которым проводился расчет микротвердости и модуля упругости по методу Оливера-Фарра. Метод Оливера-Фарра позволяет корректно определять микротвердость, контактную жесткость, модуль упругости, пластичность и другие характеристики материала с учетом реального закругления в вершине пирамидального индентора, упругого прогиба поверхности в области контакта,

жесткости силового контура прибора, дрейфов и др. [2].

На первом этапе исследования прочностных свойств измерения проводились на расстоянии порядка нескольких сотен микрометров от рабочей поверхности, предполагая, что свойства этих слоев материала не были подвержены изменениям в процессе работы. В случае корпуса, изготовленного из аналога стали ХН2, среднее значение микротвердости в массиве материала составило H_μ = 10,87 ± 0,48 ГПа, а модуля упругости Er = 199,00 ± 5,12 ГПа при средней глубине внедрения h = 143,77 нм. Значение микротвердости и модуля упругости иглы, изготовленной из аналога быстрорежущей стали марки Р12М5, составили соответственно H_μ = 14,26 ± 1,52 ГПа и Er = 233,86 ± 10,24 ГПа при средней глубине внедрения h = 121,02 нм. На втором этапе исследований выявлялся градиент прочностных свойств от рабочей поверхности деталей вглубь материала. Точки индентирования расставлялись на расстоянии 4 мкм друг от друга, начиная непосредственно от поверхности. Измерения проводились до тех пор, пока значения микротвердости и модуля упругости не достигали значений, зарегистрированных в массиве образца.

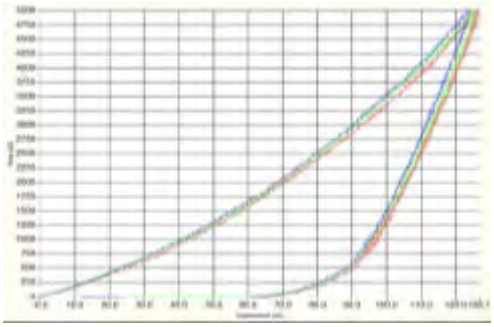
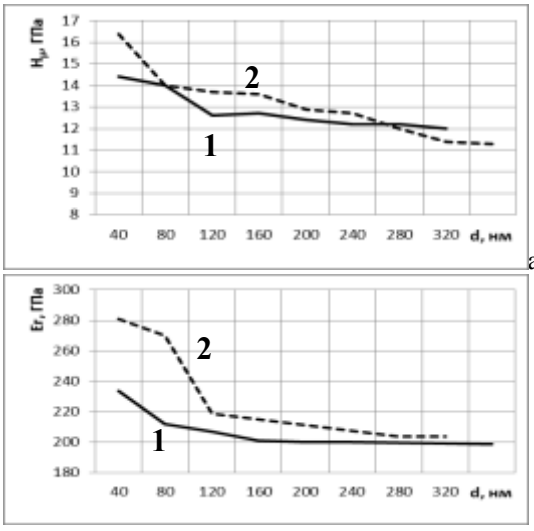


Рисунок 2 – Деформационная кривая нагружения – разгружения материала корпуса (ХН2)

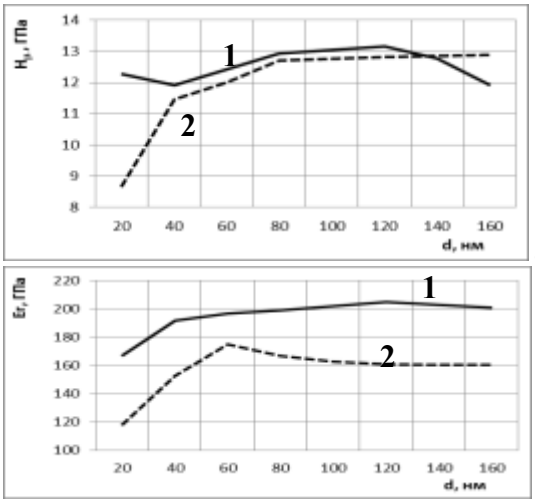
В исходном корпусе рост микротвердости на поверхности составил 15 %, модуля упругости менее 20 %, что связано с упрочнением поверхности в процессе формообразования детали. В исходной игле изменений по микротвердости на поверхности практически не зафиксировано. После эксплуатации у корпуса отмечен рост микротвердости в поверхностном слое более чем на 50 %, а модуля упругости на 40 %. У иглы после эксплуатации наблюдалось снижение микротвердости на 34 % а модуля упругости на 25 % (рисунки 3, 4).

Изменения прочностных свойств в поверхностных слоях не подвергавшихся рабочему воздействию корпуса и иглы были незначительны и, вероятно, объяснялись силовым воздействием в процессе изготовления.



а) изменение микротвердости; б) изменение модуля упругости; 1- исходная деталь: 2 – деталь после эксплуатации

Рисунок 3 – Зависимость механических свойств корпуса инжектора (ХН2) от расстояния до рабочей поверхности



а) изменение микротвердости; б) изменение модуля упругости; 1- исходная деталь: 2 – деталь после эксплуатации

Рисунок 4 – Зависимость механических свойств иглы инжектора (Р12М5) от расстояния до рабочей поверхности

Таким образом, выявлено влияние воздействия гидростатического давления в сочетании с абразивным износом на механические свойства поверхностных слоев деталей инжектора топлива. Экспериментально доказано, что корпус инжектора из стали - аналога марки ХН2 подвержен упрочнению в приповерхностных слоях, в отличии от иглы из стали- аналога Р12М5, склонной к разупрочнению. Разупрочнение Р12М5 связано с α-твердым раствором железа и не захватывает карбидную фазу. Причиной про-

тивоположного поведения поверхностей корпуса и иглы являются напряжения разного знака, возникающие на данных деталях под действием давления в процессе эксплуатации и различный фазовый состав иглы и корпуса.

1. Шульце, Г. Металлофизика / Г. Шульце. – М: Мир, 1971. – 603 с.
2. Головин, Ю.И. Наноиндентирование и его возможности / Ю.И. Головин. – М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.

УДК: 621.375.826

МИКРОПАРАМЕТРЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ПРИМЕСНЫМИ ИОНАМИ В КРИСТАЛЛЕ Tm,Ho:KY(WO$_4$)$_2$

Курильчик С.В.[1], Кулешов Н.В.[1], Зенькевич Э.И.[2]
[1]НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ, Минск, Республика Беларусь
[2]Кафедра технической физики БНТУ, Минск, Республика Беларусь

Для получения лазерной генерации в спектральной области около 2 мкм на кристаллах, соактивированных ионами Tm^{3+} и Ho^{3+}, как правило, используется накачка в полосу поглощения ионов тулия [1], в результате которой происходит заселение долгоживущего энергетического состояния $^3F_4$ (рисунок 1).

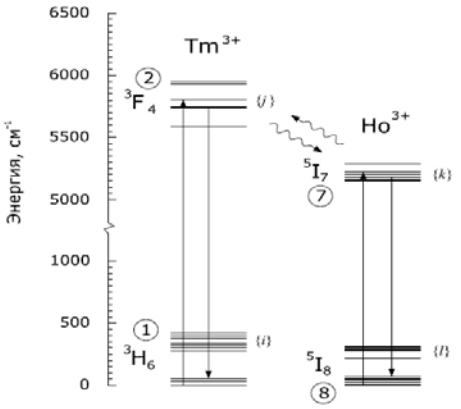


Рисунок 1 – Схема уровней ионов Tm^{3+} и Ho^{3+}

Вследствие близости энергии уровней $^3F_4$ тулия и $^5I_7$ гольмия имеет место безызлучательный перенос энергии на ионы гольмия, что открывает перспективы для получения генерации на переходе $^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ ионов гольмия [1]. Однако на эффективность генерации негативное влияние оказывает обратный перенос энергии с уровня $^5I_7$ гольмия на уровень $^3F_4$ тулия. Поэтому для оценки перспективности использования соактивированного материала в качестве активной среды лазеров, излучающих в области 2 мкм, весьма важным является определение параметров переноса энергии между примесными ионами.

Исследование параметров переноса энергии между примесными ионами проводилось для кристалла Tm,Ho:KY(WO$_4$)$_2$ с концентрацией ионов тулия 5 ат.% и гольмия 0,4ат.% в рамках теории индуктивно-резонансного переноса энергии Фёрстера-Декстера [2,3] в приближении диполь-дипольного межионного взаимодействия. В соответствии с данной теорией вероятность переноса энергии между отдельными ионом-донором и ионом-акцептором определяется выражением:

$$W_{ДА} = \frac{c_{ДА}}{r_{ДА}^6}, \qquad (1)$$

где $c_{ДА}$ - микропараметр переноса энергии для диполь-дипольного межионного взаимодействия, постоянный для данной среды; $r_{ДА}$ - расстояние между взаимодействующими ионами. Микропараметр переноса энергии $c_{ДА}$ выражается через время жизни возбужденного состояния иона-донора в отсутствии акцептора $\tau_Д$ и критическое расстояние взаимодействия $R_{ДА}$:

$$c_{ДА} = \frac{R_{ДА}^6}{\tau_Д}. \qquad (2)$$

Критическим расстоянием взаимодей-ствия называется такое расстояние между донором и акцептором в среде, при котором вероятность прямого резонансного переноса энергии равна вероятности спонтанной излучательной релаксации донора ($1/\tau_Д$). Выражения для критического расстояния взаимодействия $R_{ДА}$ и микропараметра переноса энергии $c_{ДА}{}^6$ определяются спектроскопичес-кими параметрами активных ионов в данной среде и, учитывая (2), могут быть записаны в следующем виде [3-5]:

$$R_{ДА}^6 = \frac{9c\tau_Д\kappa^2}{16\pi^4 n^2}\int \sigma_Д^{изл}(\lambda)\sigma_A^{погл}(\lambda)d\lambda, \qquad (3)$$

$$c_{ДА} = \frac{9c\kappa^2}{16\pi^4 n^2}\int \sigma_Д^{изл}(\lambda)\sigma_A^{погл}(\lambda)d\lambda \qquad (4)$$

где c - скорость света, n - показатель преломления среды, $\sigma_Д^{изл}(\lambda)$ - сечение вынужденного излучения донора, $\sigma_A^{погл}(\lambda)$ - сечение поглощения акцептора, κ^2 - ориентационный фактор, характеризующий взаимную ориентацию дипольных моментов переходов в доноре и акцепторе. В случае, когда взаимная ориентация доноров и акцепторов в среде случайная, но фиксированная и не меняется за время жизни иона в возбужден-

ном состоянии, что характерно в условиях кристаллической матрицы, ориентационный фактор κ^2=0,476 [4, 6].

Выражение под знаком интеграла характеризует степень перекрытия спектра поглощения акцептора и спектра излучения донора и определяет резонансную природу процесса переноса энергии. В случае кристалла Tm,Ho:$KY(WO_4)_2$ необходимо рассматривать два случая: прямой и обратный перенос энергии. В случае прямого переноса в качестве донора (Д) выступают ионы Tm^{3+}, а в качестве акцептора (А) – ионы Ho^{3+}. При обратном переносе энергии в качестве донора (Д) будут выступать ионы Ho^{3+}, а в качестве акцептора (А) – ионы Tm^{3+}. На основании формулы (1) можно получить выражение для отношения вероятностей прямого и обратного переноса энергии:

$$\frac{W_{HoTm}}{W_{TmHo}} = \frac{c_{HoTm}}{c_{TmHo}}. \qquad (5)$$

Усредненные по поляризации спектры поперечных сечений стимулированного излучения ионов Tm^{3+} и поглощения ионов Ho^{3+} в кристалле KYW, рассматриваемые в случае прямого переноса энергии (Tm→Ho), представлены на рисунке 2.

Рисунок 2 – Спектры поперечных сечений стимулированного излучения ионов Tm^{3+} и поглощения ионов Ho^{3+} в кристалле KYW

Усредненные по поляризации спектры поперечных сечений стимулированного излучения ионов Ho^{3+} и поглощения ионов Tm^{3+} в кристалле KYW для случая обратного переноса энергии, представлены на рисунке 3.

Путем численного интегрирования произведения спектров, представленных на рисунках 1 и 2, с использованием выражений (3) и (4) рассчитаны значения критического расстояния взаимодействия $R_{ДА}$ и микропараметра переноса энергии $c_{ДА}$ для случаев прямого и обратного переноса энергии. Полученные значения представлены в таблице 1.

Рисунок 3 – Спектры поперечных сечений стимулированного излучения ионов Ho^{3+} и поглощения ионов Tm^{3+} в кристалле KYW

Таблица 1 – Микропараметры переноса энергии в кристалле Tm(5ат.%),Ho(0,4ат.%):KYW

Направление переноса энергии	$R_{ДА}$, Å	$c_{ДА}$, $\times 10^{-40}$ см^6·с$^{-1}$	$\frac{W_{HoTm}}{W_{TmHo}}$
Tm→Ho	12,52	35,08	0,061
Ho→Tm	9,95	2,16	

На основании выражения (5) рассчитана величина отношения вероятностей обратного и прямого переноса энергии между ионами тулия и гольмия, которая составила 0,061, что находится в хорошем соответствии с аналогичными значениями параметра для других кристаллов, Tm,Ho:YAG [7-9] и Tm,Ho:YLF [7], и указывает на доминирование прямого переноса энергии в исследуемом кристалле.

Таким образом, в результате исследования определены микропараметры переноса энергии между ионами тулия и гольмия в кристалле Tm(5ат.%),Ho(0,4ат.%):$KY(WO_4)_2$, которые подтверждают перспективность использования кристалла в качестве активной среды лазеров, излучающих в спектральном диапазоне 2 мкм при накачке в полосу поглощения ионов Tm^{3+}.

1. A.A. Lagatsky, F. Fusari, S.V. Kurilchik, et.al. Applied Physics B. 97 (2), 321-326 (2009).
2. Förster, T. Annalen der Physik. 6 (2), 55-75 (1948).
3. Dexter, D. J. Chem. Phys. 21(5), 836-850(1953).
4. Lakowicz, J. R. Principles of Fluorescence Spectroscop, 3rd ed. – Kluwer Academic Press: New York, 2006. – 954.
5. J. Caird, et.al. J. Opt. Soc. Am. B. 8(7), 1391-1403 (1991).
6. I.Z. Steinberg, et.al. Annu. Rev. Biochem. 40, 83-114 (1971).
7. B.M. Walsh, et.al. J. Lumin. 75(2), 89-92 (1997).
8. S.R. Bowman, et.al. // IEEE J. Quantum Electron. 27 (9), 2142-2149 (1991).
9. R.R. Petrin, et.al. // Optical Materials. 1, 111-124 (1992).

УДК 612.424.4/615.82

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ СООБЩЕНИИ ЭЛЕКТРОДУ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Лабунь Е.И., Киселев М.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Повышение эффективности выполнения процедуры электростимуляции возможно путем сообщения электроду вынужденных колебаний [1]. Очевидно, что для раскрытия механизма сочетанного физиотерапевтического воз-действия и целенаправленного управления им, необходимо располагать данными, отра-жающими влияние на биомеханическое воздействие отдельно ударной и фрикционной фазами взаимодействия вращающейся лопасти с телом человека. На основании результатов проведенных экспериментов [2] было установлено наличие трех характерных стадий взаимодействия вращающейся лопасти массажера с поверхностью тела человека, а имен-но: ударной, фрикционной и релаксационной стадий. Также были определены временные параметры их протекания с учетом частоты вращения насадки и величины натяга лопастей относительно поверхности тела. Принципиально эти фазы отличаются условиями контактного взаимодействия поверхностей и, в частности, направлением их относительного перемещения. Так ударную фазу можно характеризовать периодически относительным движением, направленным перпендикулярно взаимодействующим поверхностям, а фрикционную – их безотрывным движением в тангенциальном направлении. Для удоб-ства анализа, предложено рассматривать вибрационное воздействие в виде двух основных типов воздействия: ударного и фрикционного. Совмещение двух этих видов позволяет оказывать особый вид механического воздействия – ударно-фрикционное. Такое разделение позволит оценить влияние направления и частоты сообщаемых электроду колебаний на процесс виброударного воздействия на тело пациента. Исследованию этих вопросов посвящена данная работа.

На рисунке 1 показан экспериментальный комплекс, примененный в исследованиях. Он состоит из трех основных блоков: блок электростимуляции, массажер ударно-фрикционного действия и блок генерации вынужденных колебаний электромагнита. На станине 8 располагаются регулируемые подставки 9, на которые волонтер помещает руку 1, на которой жгутом

фиксируется первый электрод 10 площадью около 2 см^2 в области гипотенара. К группе мышц сгибателей кисти в области верхней 1/3 предплечья с помощью магнитной стойки 3 подводится электромагнит со вторым электродом 2. Частота колебаний электромагнита регулируется при помощи генератора 5. Генерация электростимуляционных импульсных токов на электродах и их регистрация обеспечивается при помощи ПК 7 и специализированного ПО, а также звуковой карты 4 и усилителя 6. В данном случае используется массажер ударно-фрикционного действия 10. Благодаря оригинальной конструкции электромагнита, он обеспечивает возможность сообщения электроду колебательных смещений как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях, что, соответственно, воспроизводит ударное и фрикционное виды взаимодействия с поверхностью кожи человека. При использовании массажера ударно-фрикционного действия, вместо электромагнита на стойке, к мышце подводились лопасти с электродами. При этом электроды с лопастей 1-4 были отключены с целью создания периода полной релаксации мышцы.

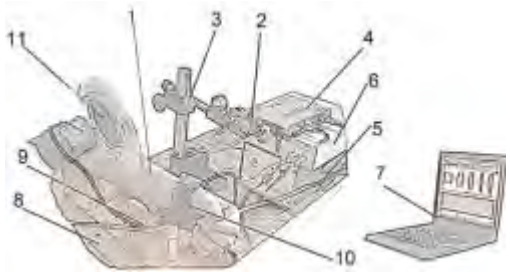


Рисунок 1 - Общий вид примененного в исследованиях экспериментального комплекса

Для удобства последующего описания и анализа данных, отражающих влияние направления сообщаемых электроду колебаний на процесс амплитудной модуляции электростимуляционных токов, примем следующие схемы (рисунок 2), условно обозначенные буквами А, Б, В и Г. При реализации схемы А электроду 1 сообщаются вертикальные колебания Ав, направленные перпендикулярно поверхности 2 тела человека, т.е. реализуются условия их периодического ударного взаимодействия. Схема Б характеризуется тем, что горизонтальные колебания Аг электроду сообщаются параллельно поверхности тела, а их контактирование протекает в условиях безотрывного фрикционного взаимодействия. Схема В принципиально отличается от предыдущих наличием вращательного движения лопасти, на которой расположен электрод, благодаря чему возникают последовательно протекающие

стадии ударного Ав и фрикционного Аг взаимодействия электрода с поверхностью тела человека. При этом, в зависимости от величины Н (расстояния от оси вращения до поверхности тела), изменяется площадь контакта. На схеме Г показан режим воздействия электрическим током без дополнительного механического воздействия на активный электрод.

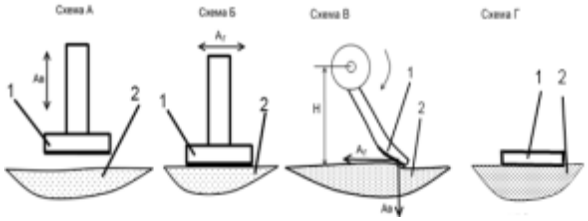


Рисунок 2 – Принципиальные схемы сообщения вынужденных колебаний активному электроду в процессе выполнения процедуры электростимуляции

Методика проведения экспериментов включала в себя последовательное выполнение следующих действий. Рука волонтера располагалась на регулируемых подставках в определенном положении, удобном для осуществления процедуры, при этом тыльная сторона руки была направлена вверх, кисть расслаблена. В области гипотенара фиксировался первый электрод. Второй электрод, смонтированный на электромагните (при работе по схемам А и Б), с помощью магнитной стойки подводился к области брюшка мышцы таким образом, чтобы обеспечивался электрический контакт между электродами через поверхность кожи волонтера в свободном положении электромагнита. Далее на электроды подавался импульсный ток синусоидальной формы с несущей частотой 1 кГц. Электроды смачивались 10% раствором хлорида натрия для обеспечения наилучшего режима электроконтакта. Напряжение доводилось до уровня, соответствующего ощущению вибрации от прохождения тока по телу, возникающего у волонтеров. (5-30В в зависимости от субъективных параметров волонтеров, несущая частота – 1кГц), при котором у волонтера присутствовало ощущение вибрации. После этого включался генератор колебаний электромагнита активного электрода, генерирующий колебания с частотой 22-30 Гц для режима фрикционного воздействия, а затем и для ударного соответственно. При использовании массажера ударно-фрикционного действия, процедуры выполнялась в аналогичных условиях. Эксперимент проводился в течение 7 дней, ежедневно. Время воздействия электростимуляционного тока – 300 секунд. Для оценки эффективности стимуляционного воздействия, до и после процедуры при помощи электронного кистевого динамометра замерялись динамометрические показатели, в частности, усилие сжатия кисти.

Для участия в эксперименте было выбрано одиннадцать волонтеров обоих полов, которые соответствовали следующим требованиям: отсутствие каких бы то ни было острых, текущих или хронических заболеваний, отсутствие избыточного веса, возраст от 21 до 30 лет.

На основании обобщенного анализа полученных данных, отражающих влияние сообщаемых электроду вынужденных колебаний на протекание процедуры электростимуляции установлено, что для достижения её наибольшей эффективности следует использовать колебательные системы, обеспечивающие ударно-фрикционный режим его взаимодействия с поверхностью кожи, в частности, массажер ударно-фрикционного действия.

1. Осипов, А.Н. Экспериментальная оценка анальгетического эффекта при сочетанном воздействии электростимуляции и ударно-фрикционного массажа/ А.Н. Осипов, М.Г. Киселев, Е.И. Лабунь//Научный журнал «Доклады БГУИР», Мн.: БГУИР, 2012. – №5. Стр. 5-8.
2. Киселев М.Г. Экспериментальная методика оценки анальгетического эффекта ком-плексного воздействия электростимуляции и ударно-фрикционного массажа и регистрации механической модуляции импульсных токов/ Киселев М.Г., Лабунь Е.И./ научно-технического журнала "Приборы и методы измерений" Мн.:БНТУ, 2012г. - №2(5), Стр. 95-99

УДК 681.2:658.511.4

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Лапига А.С., Выслоух С.П.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

При автоматизированном конструкторском проектировании деталей и изделий в целом все чаще используется 3D-моделирование так, как оно является наглядным, позволяет значительно улучшить качество проектирования и снизить его трудоемкость. Хотя использование 3D-моде-

лей как источника начальных данных при технологическом проектировании детали является менее популярным, поскольку явно отсутствует связь геометрических параметров детали с технологическими параметрами ее изготовления. Поэтому, как правило, при автоматизированном проектировании технологических процессов (ТП) механической обработки деталей и разработке управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) большая часть начальных данных, которые характеризуют форму и размеры поверхностей детали, задаются в режиме диалога, что требует значительных затрат времени и соответствующей квалификации технолога-проектировщика [1]. Поэтому разработка новых принципов, методик и алгоритмов для систем автоматизации проектирования технологических процессов с обеспечением их гибкости является актуальной и перспективной.

Для того чтобы повысить уровень автоматизации САПР ТП и улучшить качество проектных работ необходимо изменить подходы к построению таких систем. Процесс автоматизированного проектирования можно разделить на три основные этапы: получение массива начальных данных; обработка этих данных и поиск вариантов решений; поиск оптимального варианта решения по определенным критериям. Наиболее эффективным является комбинированный способ получения начальных данных, при котором часть информации получается из чертежа детали или ее 3D-модели (например, размеры поверхностей, их шероховатость, допуски и т.п.), часть – выбирается из базы данных (например, данные, необходимые для определения припусков на обработку или режимы резания), а часть данных, которые невозможно получить из чертежа детали или базы данных, указывается проектировщиком в режиме диалога (например, размеры заготовки, способ ее получения и т.п.).

При автоматизированном проектировании существует два основных способа анализа начальных данных и поиска вариантов решений поставленной задачи:

1) анализ входящих параметров выполняет САПР, а решение принимается самим проектировщиком – такой способ характерный для САПР низкого уровня автоматизации и требует значительных затрат времени;

2) анализ входящих параметров и нахождение решения выполняет САПР – такой способ является более эффективным и присущий для САПР высокого уровня автоматизации. При этом следует учесть, что любое решение или массив решений получаются на основе определенных алгоритмов, а каждый алгоритм представляет собой шаблон решения. Шаблонов может быть несколько – чем больше шаблонов, тем выше вероятность нахождения оптимального решения. В результате анализа начальных данных может быть не одно конкретное решение, а массив решений. Для нахождения одного оптимального варианта решения необходимо на основании определенных критериев выполнить оптимизацию, т.е. поиск одного конкретного решения, которое будет удовлетворять заданным критериям.

Предложено способ автоматизированного проектирования технологического процесса (ТП) механической обработки деталей, который позволяет в автоматизированном режиме из 3D-модели детали получить начальные данные, необходимые для проектирования ее ТП, а также разработанную технологию обработки поверхностей детали передать в систему автоматизированного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ. Алгоритм сочетания 3D-модели детали с технологией ее обработки можно представить в виде нескольких этапов. Первым этапом является распознавание 3D-модели, то есть деление данной 3D-модели на элементарные поверхности. Следующим этапом является сравнение 3D-модели обрабатываемой детали с 3D-моделью комплексной детали, для которой предварительно задается технология ее обработки. Данная методика основывается на представлении 3D-модели этих деталей как множеств их поверхностей. Выполняя пересечение этих множеств, возможно найти элементы, которые будут общими для обеих деталей. При этом создастся третье множество поверхностей, каждая из которых будет иметь связь с технологическими операциями ее изготовления. Третьим этапом является определение конкретного ТП изготовления заданной детали. Поскольку для комплексной детали технология ее механообработки – обобщенная, то технология обработки конкретной детали будет также обобщенной. Для конкретизации ТП механообработки поверхностей обрабатываемой детали используются дополнительные параметры такие, как допуск на обработку, шероховатость поверхности и т.п. Эти параметры могут задаваться или в 3D-модели обрабатываемой детали, или отдельно.

Описанный алгоритм возможно реализовать только в том случаи, когда 3D-модель детали определяется через определенные наборы связанных между собой геометрических элементов, которые могут обрабатываться САПР. Одним из подходов может быть применение принципов стандарта STEP и языка описания данных EXPRESS. 3D-модель, описанная с помощью прикладного протокола STEP, представляет собой структуру данных, состоящую из определенных взаимосвязанных объектов. Каждый объект – это геометрический элемент детали такой, как грань, поверхность и т.п. Прикладным протоколом в

STEP называют информационную модель определенного приложения, которая описывает с высокой степенью полноты множество сущностей, имеющихся в приложении, вместе с их атрибутами, и выражена средствами языка EXPRESS. Предполагается, что эта модель содержит в себе описание данных любой конкретной задачи соответствующего приложения, т.е. практические информационные модели прикладных задач оказываются частными случаями прикладных протоколов [2]. На основании данных прикладного протокола можно получить формы поверхностей детали, их размеры и взаиморасположение.

Используя принципы объектно-ориентированного подхода к описанию геометрических параметров детали и технологии ее изготовления как к единой информационной модели, можно каждую элементарную поверхность детали представить как некий объект. Такой объект будет иметь:

1) свойства, т.е. форму поверхности, ее размеры, шероховатость, точность и т.д.;

2) методы получения этой поверхности заданной формы, размеров и точности, т.е. совокупность технологических операций и переходов.

Любая деталь состоит из набора элементарных поверхностей и будет «потомком» нескольких таких элементарных поверхностей, а значит, будет иметь все те свойства и методы, которые определены для каждой из них. Для идентификации той или иной поверхности используются такие свойства как форма поверхности, ее размеры, пропорции, расположение относительно других поверхностей и т.д.

Также любой элемент ТП возможно представить как определенный объект (например, точение, инструмент, режимы резания и т.п.). В свою очередь любой объект имеет свои свойства. Например, объект «режимы резания» имеет такие свойства как подача, скорость и глубина резания. Кроме того, свойством объекта может выступать и другой объект (например, объект «технологический переход» выступает свойством для объекта «операция»). Таким образом производиться формализация технологического процесса, и создается определенная конкретная структура элементов технологического процесса, что позволяет обеспечить взаимосвязанность данных и легкость обработки информации. Для каждого объекта можно определить правила его описания, которые ограничивают его использование. Совокупность тех или иных объектов с их свойствами создают некую схему, т.е. область определения данных.

Представленная методика автоматизированного проектирования ТП механической обработки типовых поверхностей деталей приборов и машин на основе единой информационной модели детали на основании комплекса стандартов STEP позволяет сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Также одним из основных преимуществ использования стандарта STEP является то, что он задает способы реализации обмена данных, которые предоставлены в соответствии с полной моделью изделия, при этом они не зависят от программных продуктов и аппаратных средств, которые применяются участниками жизненного цикла изделия [3].

1. Митрофанов В.Г., Калачев О.Н. и др. САПР в технологии машиностроения: учебное пособие. – Ярославль: Яросл. гос. техн. ун-т, 1995. – 298 с.
2. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336с.
3. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления: учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.

УДК 621.365.46:621.396.6

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ПАЙКОЙ ПОВЕРХНОСТНО МОНТИРУЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ

Лаппо А.И., Ланин В.Л.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

По мере увеличения сложности выпускаемых модулей растет плотность монтажа поверхностно монтируемых компонентов. Обеспечение качественных паяных соединений вызывает необходимость в технологии и оборудовании групповой пайки компонентов на плате. С этой целью была выбрана технология инфракрасной (ИК) пайки, которая обеспечивает высокую скорость нагрева, возможность точного соблюдения заданного термопрофиля, что обеспечивает высокое качество паяных соединений с плотным поверхностным монтажом, при сохранении высокой производительности. При ИК пайке наиболее важными факторами являются: температура предварительного нагрева платы, температура пайки, время пайки, состав паяльной пасты, скорость охлаждения [1].

Для проведения процесса пайки была применена ИК паяльная станция с микроконтроллер-

ным управлением, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

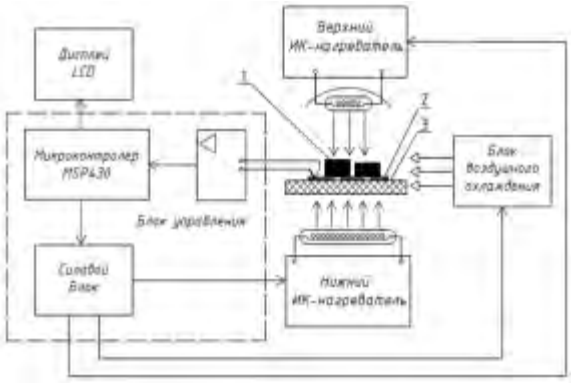


Рисунок 1 – Схема ИК паяльной станции: SMD компоненты (1), паяльная паста (2), плата (3)

В станции применен микроконтроллер семейства MSP430G2XXX фирмы Texas Instruments, имеющий встроенный 10-ти битный АЦП, откалиброванной частоты ЦПУ до 16 МГц, 16 битным RISC ЦПУ для обеспечения возможности быстрых вычислений с плавающей точкой, встроенный контроллер JTAG для обеспечения внутрисхемного программи-рования. Применение программируемого микроконтроллера позволяет автоматизировать процесс пайки с соблюдением заданного термопрофиля для различных составов паяльных паст, что в свою очередь обеспечит качество паяных соединений.

Для удобства оператора измеренная температура, а также текущие режимы пайки отображаются на жидкокристаллическом дисплее (ЖКИ). Структурная схема блока управления ИК станции представлена на рисунке 2.

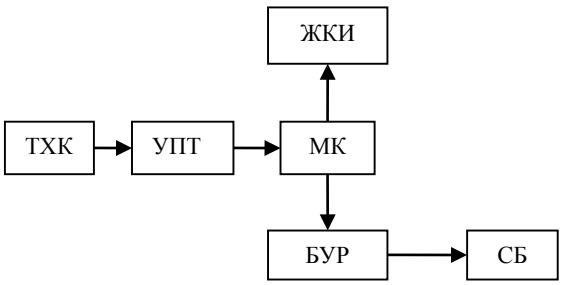


Рисунок 2 – Структурная схема блока управления ИК станции

Контроль температуры обеспечивается с измерением напряжения на выходе термоэлектрического преобразователя (термопара типа ХК, ТХК), сигнал с которой усиливается при помощи усилителя постоянного тока (УПТ) на основе операционного усилителя и поступает на микроконтроллер (МК). С помощью встроенного 10-ти битного АЦП последовательного приближения измеренный аналоговый сигнал преобразовывается в двоичную форму. Для минимизации ошибки измерения усиленный сигнал термопары измеряется 20 раз в секунду с последующим вычислением среднего значения. На основании значения измеренного сигнала, с помощью градуировочной таблицы вычисляется значение текущей температуры. Алгоритм вычислений оптимизирован для выполнения на микроконтроллерах семейства MSP430. Микроконтроллер формирует сигнал управления блоком электромагнитными реле (БУР), который в свою очередь управляет силовым блоком (СБ).

Термопрофиль пайки состоит из четырех этапов. На первой стадии осуществляется предварительный нагрев платы, предотвращающий коробление изделия при температуре расплавления припоя. Высокая скорость нагрева изделия до температуры активации флюса, может привести к разбрызгиванию мелких шариков припоя на поверхности платы, из-за повышенного газовыделения припойной пасты. Поэтому максимальная скорость предварительного нагрева устанавливается не более 2–4 °С/с [2]. Главным фактором второго этапа пайки является выдержка платы при температуре активации флюса в течение времени, необходимого для полного испарения флюсовой составляющей припойной пасты. По завершении цикла предварительного нагрева начинается третий этап – пайка электронных компонентов. Температура и время устанавливаются в соответствии с характеристиками используемых паяльных паст. Завершающим является этап охлаждения платы, в котором для качественной кристаллизации припоя применяют принудительное охлаждение со скорость 5°С/с [3].

В некоторых случаях, например. при демонтаже электронного компонента в корпусе большого размера, необходимо ограничить зону нагрева, чтобы исключить нагрев соседних установленных элементов, или в случаях, когда излишний нагрев элементов может вызвать их деградацию. С этой целью применен кольцевой отражатель ИК лучей, выполненный из листа отполированного алюминия в форме кольца диаметром 60 мм и высотой 50 мм. На основании полученных зависимостей (рисунок 3).можно сделать вывод о том, что время нагрева до температуры пайки от точки активации флюса сократилось на 42%, а применение кольцевого отражателя увеличило время пайки на 60%.

Для проверки качества паяных соединений проведен монтаж SMD компонентов (резисторов и конденсаторов в корпусах 0805, 1208 и SOT транзисторов) с применением программируемого ИК нагрева на печатные платы электронных модулей.

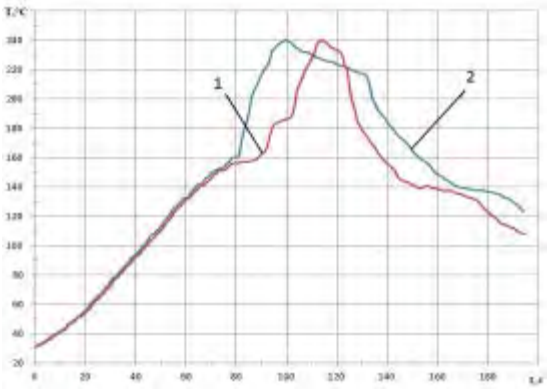


Рисунок 3 – Термопрофили ИК пайки: обычный нагрев (1), с кольцевым отражателем (2)

В результате анализа качества паяных соединений были выявлены незначительные дефекты, такие как образование на поверхности платы шариков припоя, что не является критичным, и только нарушает требования к эстетическому виду. На плате отсутствуют следы перегрева и коробления. При ручном управлении ИК нагревом возрастет возможность образования таких дефектов как: непропаи выводов, «надгробный камень», увеличивается вероятность перегрева как печатной платы, так и устанавливаемых компонентов.

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что для обеспечения высокого качества паяных соединений. необходимо использовать микроконтроллерное управление ИК паяльной станцией для групповой пайки поверхностно монтируемых компонентов на печатные платы.

1. Джюд, М. Пайка при сборке электронных модулей / М. Джюд, К. Бридли. – М.: Издат. дом «Технологии», 2006. – 416 с.
2. Ланин, В. Л. Инфракрасный нагрев в технологии пайки поверхностного монтажа / В.Л. Ланин // Технологии в электронной промышленности.– 2007. – № 3.– С. 38–42.
3. Ланин. В.Л. Электромонтажные соединения в электронике: технология, оборудование, контроль качества / В.Л. Ланин, В.А. Емельянов.– Минск: Интегралполиграф, 2013. – 406 с.

УДК 535.361

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМА, ЗАПОЛНЕННЫХ ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЕВРОПИЯ И ТЕРБИЯ

Литвинова А. О.
ФИАН им. П. Н. Лебедева, МГТУ им. Н. Э. Баумана
Москва, Российская Федерация

Оптические среды, которые характеризуются изменяющейся с периодом, сопоставимым с длиной волны электромагнитного излучения видимого диапазона, диэлектрической проницаемостью, классифицируются как фотонные кристаллы (ФК). ФК активно исследуются и находят применение в различных областях. ФК бывают одномерными, двумерными и трехмерными. Трехмерным фотонным кристаллом является глобулярный фотонный кристалл (ГФК), например искусственные опаловые матрицы, сформированные из глобул кремнезема (a-SiO_2) с диаметрами 200 - 800 нм. Такие ФК имеют строение в виде кубической гранецентрированной кристаллической решетки. Пространство между глобулами называют порами ФК и имеет размер порядка 50 – 150 нм. Присутствие пор позволяет вводить в образец ГФК различные молекулярные соединения. Таким образом, можно воздействовать на оптические свойства ГФК. Характерной особенностью ФК является формирование соответствующих разрешенных и запрещенных зон (стоп - зон) для фотонов. Таким образом, ФК представляют собой материалы с управляемыми оптическими свойствами. При заполнении пор ГФК редкоземельными элементами (РЗЭ) образуются материалы с люминесцентными свойствами. Одним из примеров является получение мезопористого стекла и квантитов при легировании РЗЭ европия (III) при разных режимах обжига. На сегодняшний день РЗЭ активно применяются для создания новых устройств, например, солнечных элементов или лазерных усилителей [1 – 2].

В данном исследовании ставится задача наблюдать низкочастотную конверсию электромагнитного излучения в области стоп – зон ГФК, заполненного РЗЭ (европий Eu^{3+} и тербий Tb^{3+}), при узкополосном ультрафиолетовом излучении.

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки. В работе были использованы следующие источники излучения: галогенная лампа, лазер с длиной волны генерации 266 нм, диоды 366, 382 и 410нм. От источников излучения (1) по оптоволоконному световоду (2) излучение подводится к закрытой кювете (3), в которой расположен образец (4) ГФК. По световоду (5), расположенному рядом с (2) отраженное излучение поступает в миниспектрометр типа монохроматора (6). Разрешение миниспектрометра составляло 2-3 нм при временных экспозициях 100 – 500 мс. Через USB кабель (7) цифровой сигнал поступает в компьютер (8) и проводится его обработка.

Образцы представляют собой пластинки 10x20x2 мм, состоящие из плотноупакованных сфер кремнезема. Заполнение пор ФК проводилось путем смачивания поверхности комплексами РЗЭ (европий Eu^{3+} и тербий Tb^{3+}) в течение часа при температуре 293 К. Широкополосным излучением галогенной лампы были зарегистрированы спектры отражения от поверхности роста ГФК (111), что позволяет установить спектральное положение стоп-зоны. От узкополосных источников (лазера и диодов) были получены спектры фотолюминесценции комплексов опалов и РЗЭ. На рис. 2 и рис. 3. приведены результаты экспериментальных измерений спектральных характеристик ГФК и РЗЭ европий Eu^{3+} и тербий Tb^{3+}, соответственно. На рис. 2 приведены спектры отражения и фотолюминесценции незаполненного и легированного ионами трехвалентного европия ГФК. Диаметр глобул ГФК 275 нм. На представленном рисунке пунктиром приведен нормированный спектр отражения широкополосного излучения галогеновой лампы, задающие спектральное положение стоп-зоны исследуемого фотонного кристалла: 598 нм. Спектральная ширина стоп-зоны составляла около 40 нм. Спектральная линия (2) соответствует спектру фотолюминесценции, полученному при возбуждении твердотельным лазером YAG:Nd^{3+} (длина волны излучения λ=266 нм). Линии в диапазоне 508 - 799 нм соответствуют электронным переходам Eu^{3+}. В частности, полоса 699 нм соответствует линии перехода европия с уровня D_0^5 на уровень F_4^7, 618 нм : $D_0^5 – F_2^7$; 591 нм: $D_0^5 – F_1^7$; 580 нм: $D_0^5 – F_0^7$; 547 нм: D_1^5 на уровень F_2^7; 536 нм: $D_0^5 – F_1^7$; 525 нм: $D_0^5 – F_0^7$. соответственно. Аналогично получаем для образца ГФК, заполненного трехвалентным тербием [3]. Диаметр глобул образцов опала 265 нм. Кривая 1 соответствует спектру фотолюминесценции Tb^{3+} в ГФК при возбуждении лазером с длиной волны генерации 266 нм. Линия 2 соответствует положению стоп – зоны образца, полученная при помощи широкополосного излучения. Аналогичные эксперименты были проведены с диодами с фиксированными длинами волн 366, 382 и 410 нм. Были рассмотрены образцы с разными диаметрами глобул ГФК.

Исследованы спектры отражения от поверхности роста (111) глобулярных фотонных кристаллов с различными диаметрами глобул при освещении узкополосным ультрафиолетовым и фиолетовым излучением лазера и светодиодов, а также широкополосным излучением галогенной лампы. Были обнаружены интенсивные узкие полосы, отличающиеся по спектральному положению от излучения коротковолновых источников возбуждающего света [5]. Спектральное положение полос соответствует спектральному положению стоп-зон и не зависит от длины волны возбуждения. Установлено, что при изменении диаметра глобул форма полосы отражения и ее связь с положением стоп-зоны опала сохраняются. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при воздействии на фотонный кристалл коротковолнового излучения происходит конверсия этого излучения в спектральную область стоп-зоны. При использовании ультрафиолетовых источников излучения происходит его переизлучение в красную и инфракрасную спектральную область на поверхности лигированного ГФК.

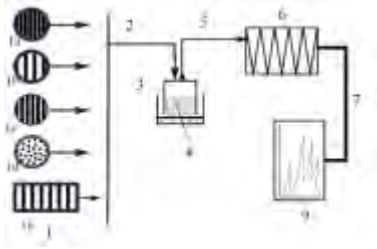


Рисунок1.– Схема экспериментальной установки

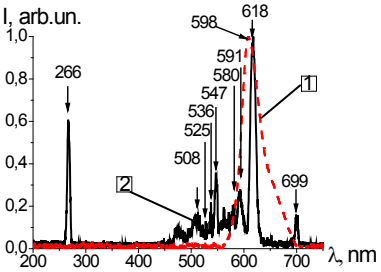


Рисунок 2 .– Спектры отражения от поферхности ГФК (1) и спектр люминесценции ГФК, поры которого заполнены Eu_2O_3, возбужденный лазером с длиной волны 266 нм (2)

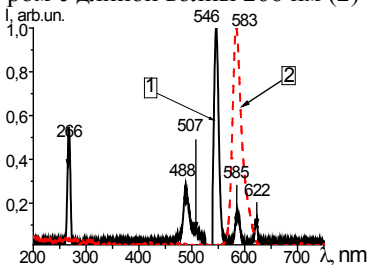


Рисунок 3 – Спектры отражения от поферхности ГФК (1) и спектр люминесценции ГФК, поры которого заполнены Tb_2O_3, возбужденный лазером с длиной волны 266 нм (2)

Микроскопический механизм процессов конверсии может состоять в реализации трёхфотонных параметрических процессов, а также в усилении широкополосной фотолюминесценции, обусловленной присутствием дефектов в кварцевой матрице в виде примесей РЗЭ. Форма полосы конверсии близка к спектру соответствующего отражения широкополосного излучения галогенной лампы. Наблюдается лишь небольшое сужение спектра конверсии по сравнению со спектром отражения широкополосного излуче-

ния. Однако вид спектра конверсии не зависит от длины волны возбуждающего света, но существенно изменяется при изменении диаметра глобул. Отметим, что в спектрах фотолюминесценции проявляются линии, соответствующие линиям перехода редкоземельных элементов. В области стоп – зоны ГФК они усилены. Таким образом, можно говорить об усилении эффекта конверсии из коротковолновой области в длинноволновую. Этот эффект связан с плотностью поверхностных состояний, возникающих на поверхности ГФК и 4f – структурой ионов европия (III) и тербия (III) [7-8].

Наблюдаемый эффект конверсии электромагнитного излучения в глобулярных фотонных кристаллах открывает возможность создания новых типов зеркал с селективным отражением света в заданной области спектра. Такие зеркала могут найти применения в лазерных резонаторах и других оптических устройствах. Кроме того, введение люминофоров в поры глобулярных фотонных кристаллов позволит создать нелинейно-оптические зеркала и новые активны среды, перспективные для лазерной генерации.

1. Gorelik V. S. Optics of globular photonic crystals // Laser Physics. – 2008. – Vol. 18, no. 12. – P. 386.
2. Joannopoulos J. D., Meade R. D., Winn J. N. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light. / Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1995.
3. Ельяшевич М. А. Спектры редких земель. / изд-во технико – теоретической литературы, Москва, 1953 г.,456 стр., стр. 411, 420, 425.
4 Виноградов А.П., А. В. Дорофеенко, А. М. Мерзликин, А.А. Лисянский. Поверхностные состояния в фотонных кристаллах. // УФН, Март, 2010, Том 180, № 3, 249-262.
4. Горелик В. С., Л. С. Лепнев, А. О. Литвинова. Конверсия электромагнитного излучения в глобулярных фотонных кристаллах SiO_2 при коротковолновом излучении. // Неорганические материалы, 2014, том 50, № 10, с. 1–5.

УДК 621.794.61:661.862'022

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОДБОРУ МАТЕРИАЛА И УСЛОВИЙ АНОДИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ОСНОВАНИЙ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ АНОДНОГО Al_2O_3 ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Литвинович Г.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

Разработки эффективных методов формирования покрытий поверхности металлов с заданным набором функциональных свойств, к числу которых относится и получение диэлектрических слоев Al_2O_3 на алюминии путем анодирования, требуют глубокого понимания механизма самого процесса и всех факторов, влияющих на состав и свойства получаемого продукта. Поэтому подбору марки алюминия для анодирования, подобно концентрации и составу электролита, его температуре, режимам и условиям проведения процесса, необходимо придавать первостепенное значение. Это объяснимо, т.к. чистота используемого материала, его состав, влияет на кинетику процесса анодирования, скорость роста и травления оксида, размерные параметры сформированной пленки, ее электрофизические свойства. Сразу отметим, что состав анодируемого алюминия определяет предельную толщину оксида алюминия d (Al_2O_3). Увеличение толщины Al_2O_3 затрудняет транспорт реагентов в зону его формирования и приводит к росту напряжения анодирования U_a, выделяемого тепла и скорости травления оксида. Для алюминия высокой чистоты рост U_a протекает плавно с увеличением d (Al_2O_3) до момента локальных прогаров.

В данной работе по изготовлению алюминиевых оснований с диэлектрическим слоем Al_2O_3 получены и сопоставлены результаты анодирования Al высокой, технической чистоты и его сплава в различных электролитах при нескольких значениях плотностей тока и длительностях процесса. На сформированных образцах измерены толщина слоя Al_2O_3, его пробивные напряжения. Осуществлен анализ и систематизированы полученные данные с целью дальнейшего информационного использования.

В работе использовался первичный алюминий высокой А99 и технической А5, А0 чистоты; его сплав АМг-2 (табл. 1). Образцы имеют три зоны анодирования размером 20х30 мм (рис.1). Анодирование осуществлялось в растворах 10%-ной щавелевой, 20%-ной серной и 1,2 М фосфорной кислот при плотностях тока j=10, 20 и 40 мА/см^2. Анодирование происходило с одной стороны образца. Для этого на образце первоначально формировалась тонкая пленка ~5 мкм анодного Al_2O_3 в соответствующем электролите, с целью увеличения адгезии, и после мойки, сушки, на его обратную сторону и разделительные полоски наносился маскирующий лак. Всего – 36 образцов.

Электрохимический процесс окисления алюминия проводился в двухэлектродной ванне с круговым Ni-катодом и охлаждаемым электролитом. Температура электролита поддержива-

лась в интервале 14-18°С, а на закрепленный в Ti-держателе вращающийся образец с источника постоянного тока подавалась заданная величина j_{const} (гальваностатический режим). Время анодирования в зонах 2 и 3 различалось по сравнению с 1-ой в 2 и 3 раза и рассчитывалось по формуле для данной j_a и толщин оксида Al_2O_3 равных 50, 100 и 150 мкм (в зонах 1, 2 и 3, соответственно).

$$d\,(Al_2O_3) = kj \cdot t = 0{,}03 \cdot j \cdot t,$$

где d – толщина Al_2O_3 в мкм; j – плотность тока анодирования в мА/см^2; t – время в минутах.

Таблица 1 – Химический состав подложек Al

№	Марка Al	Химический состав алюминия, % (по массе)							
		Al	Fe	Si	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti
1	А99	99,99	0,003	0,003	0,003	-	-	0,003	0,002
2	А5	99,5	0,30	0,25	0,02	-	-	0,06	0,015
3	А0	99,0	0,50	0,50	0,02	-	-	0,08	0,02
4	АМг2	осн.	0,40	0,13	0,01	1,75	1,16	0,03	0,01

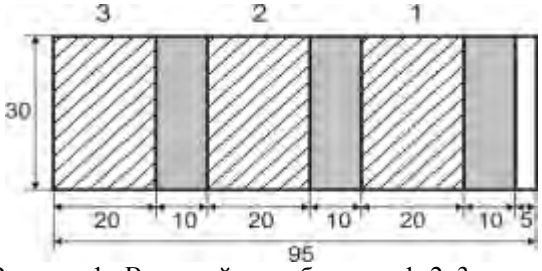


Рисунок 1– Внешний вид образцов: 1, 2, 3 – зоны анодирования 20х30 мм; 10х30 мм – замаскированные полоски; 5х30 мм – контактная площадка

На сформированных образцах измерялась толщина слоя Al_2O_3, осуществлялось ее сопоставление с расчетной величиной. Кроме того, измерялось значение пробивного напряжения $U_{пр.}$ оксида алюминия и прослеживалось его изменение от толщины d (Al_2O_3) и состава образца. Использована возможность отметить и оценить влияние примеси в образцах на сам процесс анодирования и изменение геометрических и электрофизических свойств Al_2O_3. Попытка сформировать образцы при j_a=50 мА/см^2 (в 1,2 М растворе H_3PO_4 уже при j_a=40 мА/см^2) в наших условиях оказалась безуспешной. При указанных значениях j_a с ростом толщины $d(Al_2O_3)$ наблюдается резкий рост U_a и прогар с быстро увеличивающейся площадью.

Анализируя полученные результаты можно сказать, что для электролитов щавелевой и серной кислот наблюдается закономерный рост напряжения анодирования с увеличением толщины оксида Al_2O_3 и он значительно меньший у образцов А99. У образцов, анодируемых в электролите фосфорной кислоты, такого роста U_a с толщиной Al_2O_3, мы не замечаем из-за существенного травления самого оксида алюминия. Увеличение j_a для данных толщин Al_2O_3 дает большую скорость роста $d(Al_2O_3)$. Это происходит благодаря сокращению времени процесса и уменьшению травления оксида Al_2O_3. Сопоставление величин $d(Al_2O_3)$ измеренных и расчетных показывает лучшее совпадение у образцов высокой чистоты А99 и А5 и А0, сформированных в водных растворах $H_2C_2O_4$ и H_2SO_4 кислот, и оно улучшается с ростом j_a. Для образцов, полученных в электролите фосфорной кислоты, следует отметить о значительном травлении Al_2O_3 и прогарах, которые возникают уже при j=10 мА/см^2 у всех образцов с небольшими отличиями. Относительно величины пробивных напряжений ($U_{пр.}$) мы имеем ее рост с увеличением толщины оксида Al_2O_3 и плотности тока при анодировании для всех используемых образцов. В основном, значение $U_{пр.}$ обусловлено плотным барьерным слоем Al_2O_3, лежащим между металлом и пористым оксидом Al, всегда сопутствующим процессу анодирования. Толщина этого тонкого и плотного барьерного слоя Al_2O_3 находится в прямо пропорциональной зависимости от напряжения анодирования U_a. С увеличением толщины этого барьерного слоя Al_2O_3 растет и $U_{пр.}$. Более высокие значения $U_{пр.}$ у наиболее чистых, беспримесных образцов, сформированных в электролите щавелевой кислоты. Присутствие примеси в образцах или продукта ее взаимодействия с компонентами электролита приводят к большим токам утечки, малым значениям пробивных напряжений (оксид Al_2O_3 формируемый в электролитах H_2SO_4 и H_3PO_4 кислот). О токах утечки следует заметить следующее, что у одних образцов мы фиксируем их на измеряемом приборе сразу после подачи потенциала на образец, для других фиксируется как бы потенциальный барьер. В этом проявляется, скорее всего, ряд факторов, таких как толщина и качество барьерного слоя Al_2O_3, наличие примеси в образце, встраиваемые в оксид Al анионы электролита и др. В завершение обязательно нужно дополнительно указать на то, что варьированием условиями и режимами анодирования, составом электролита и его концентрацией (в том числе комплексных), интервалом температур проведения процесса и т.д., можно достичь оптимальных параметров, т.е. раздвинуть границы исследуемых величин, но все это не противоречит полученным здесь результатам.

Таким образом, в выполненных исследованиях подтверждается факт ограничения роста толщины анодного оксида алюминия, которая отличается для образцов разной марки Al и зависит от электролита и его концентрации, температуры проведения процесса анодирования, а также режимов и условий формирования Al_2O_3. Большая толщина формируемого Al_2O_3 харак-

терна алюминию высокой чистоты и ее величина несколько увеличивается с повышением плотности тока анодирования. Здесь же наблюдается лучшее совпадение толщин $d(Al_2O_3)$ измеренных и расчетных, а также более высокие значения пробивных напряжений и меньшие токи утечки.

УДК 535.34, 535.37

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ШИРОКОПОЛОСНОЙ ИК-ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ: СТЕКЛОКЕРАМИКА С НАНОКРИСТАЛЛАМИ Ni^{2+}:$ZnAl_2O_4$ И КРИСТАЛЛЫ Bi^+:$CsCdCl_3$

Лойко П.А.[1], Романов А.Н.[2], Дымшиц О.С.[3], Трусов Л.А.[2], Втюрина Д.Н.[4], Корчак В.Н.[4], Скопцов Н.А.[1], Юмашев К.В.[1]

[1] *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация*

[3] *ГОИ им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

[4] *Институт химической физики им. Н.Н. Семенова, Москва, Российская Федерация*

Октаэдрически координированные ионы Ni^{2+} в кристаллах шпинели $MgAl_2O_4$ характеризуются широкой полосой люминесценции в области 1–1.4 мкм (максимум полосы соответствует длине волны излучения 1.15 мкм, а общая ширина на полувысоте FWHM более 200 нм). Эта люминесценция связана с излучательной релаксацией с низшего возбужденного состояния $^3T_{2g}$ в основное $^3A_{2g}$ и может возбуждаться излучением InGaAs лазерных диодов с длиной волны излучения 960 нм, соответствующей полосе поглощения $^3A_{2g}\rightarrow{}^3T_{2g}$.

Альтернатива сложной технологии синтеза монокристаллов – управляемое выращивание в стеклянной матрице наноразменых кристаллов шпинелей XAl_2O_4 (X = Zn, Mg, Li), содержащих ионы Ni^{2+}, путем вторичной термической обработки исходного никель-содержащего стекла. Под влиянием неоднородного уширения величина FWHM для полосы люминесценции достигает 250–300 нм, а искажение структуры шпинели приводит к смещению максимума полосы в области 1.1–1.3 мкм. Это обуславливает привлекательность таких материалов для широкополосного усиления лазерного излучения.

Стекла, поли- и моно-кристаллы с ионами висмута также обладают интенсивной люминесценцией в области 1–1.5 мкм (FWHM до 300 нм), а характерное время затухания люминесценции может составлять сотни мкс. Известны висмут-содержащие силикатные, боратные, фосфатные, хлоридные стекла, хлоридные кристаллы $KAlCl_4$, $KMgCl_3$, TlCl. Было показано, что ответственными за ИК люминесценцию в висмут-содержащих материалах являются соединения висмута в низкой степени окисления (субвалентные соединения): люминесценция была зарегистрирована для одновалентного катиона Bi^+, а также поликатионов Bi_5^{3+}, Bi_2^{4+}, Bi_8^{2+}. Это обуславливает интерес к висмут-содержащим кристаллам как активным средам для лазеров с перестройкой длины волны выходного излучения.

В настоящей работе по методу Бриджмена были получены монокристаллические образцы $CsCdCl_3$, легированные Bi^+. Синтез производился на основе хлоридов $CdCl_2$, CsCl, $BiCl_3$, которые смешивались в заполненном аргоном сухом боксе и помещались в кварцевый контейнер для роста кристаллов вместе с избытком металлического висмута. В процессе плавления, некоторое количество металлического висмута реагировало с трихлоридом висмута, образуя монокатион Bi^+ в расплаве, который в дальнейшем входил в состав кристалла $CsCdCl_3$ в виде изоморфной примеси замещения. Фотография полученных кристаллов показана на рисунке 1.

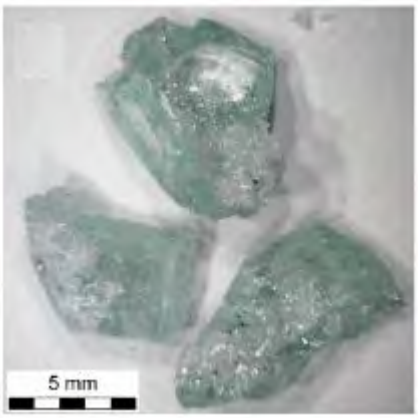


Рисунок 1 – Фотография синтезированных монокристаллов $CsCdCl_3$ с ионами Bi^+

Исследована широкополосная ИК люминесценция данных кристаллов, рисунок 2. Спектры фотолюминесценции регистрировались на монохроматоре ARC SpectraPro SP-305 при помощи InGaAs фотодетектора.

В работе также исследованы спектрально-люминесцентные свойства стеклокерамики с нанокристаллами Ni^{2+}: $ZnAl_2O_4$. В исходное цинково-алюмо-силикатное стекло, допированное оксидом никеля NiO (0.1–1 мол%), была введена смесь катализаторов кристаллизации, TiO_2/ZrO_2. Стекло синтезировалось при температуре ~1580 °C. Для формирования нанокристаллов исходное стекло подвергалось вторичной термообработке при температуре 800°C в течение 6ч (первая ступень) и при температурах 900–1100°C в течение

6 ч (вторая ступень). Выделение кристаллической фазы подтверждено методом РФА. Полученные образцы имели высокое оптическое качество, рисунок 3.

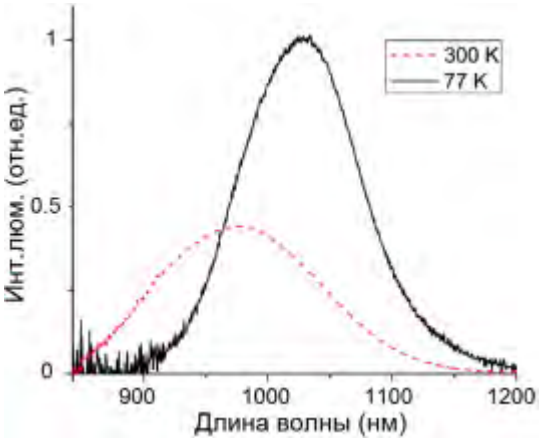


Рисунок 2 – Спектр ИК-люминесценции кристалла Bi^{+}:$CsCdCl_3$ (длина волны возбуждения 615 нм) при температурах 77 и 300 К.

Рисунок 3 – Фотография прозрачной стеклокерамики с нанокристаллами ганита Ni^{2+}:$ZnAl_2O_4$

Структура спектров поглощения образцов стекол, прошедших термообработку, определяется поглощением преимущественно октаэдрически координированных ионов Ni^{2+}, вошедших в кристаллы ганита (рисунок 4). Полосы в области 9800 $см^{-1}$, 12800 $см^{-1}$ и 15800 $см^{-1}$ связаны с переходами из основного $^3A_{2g}(^3F)$ состояния в возбужденные $^3T_{2g}(^3F)$, $^1E_g(^1D)$ (переход запрещен по спину) и $^3T_{1g}(^3F)$, соответственно. Это согласуется с поглощением «объемных» кристаллов шпинели Ni^{2+}:$MgAl_2O_4$, изоструктурных ганиту.

Часть ионов Ni^{2+}, входящих в кристаллическую фазу шпинели, находится в тетраэдрических позициях (доля тетраэдрически координированных ионов никеля в кристаллах шпинелей составляет 10-25%). Это видно по структурированию полосы в спектре поглощения, лежащей в области 15000–18000 $см^{-1}$. В частности, переход $^3T_{1g}(^3F)\rightarrow{}^3T_{1g}(^3P)$ для тетраэдрически коорд. ионов проявляется в виде полосы с максимумом ~16800 $см^{-1}$. Плохо разрешенная полоса с максимумом ~8900 $см^{-1}$ также связана с поглощением тетраэдрически коорд. ионов – переход $^3T_{1g}(^3F) \rightarrow {}^3A_{2g}(^3F)$.

Спектры люминесценции образцов стеклокерамики при возбуждении на длине волны 960 нм приведены на рисунке 4 (ИК люминесценция для исходных стекол отсутствует). При увеличении температуры термической обработки интегральная интенсивность люминесценции возрастает. Для стеклокерамики, обработанной при 800°C/6ч+1100°C/6ч, длина волны, соответствующая максимуму полосы люминесценции, составляет 1230 нм (ширина полосы на полувысоте FWHM – 250 нм). Люминесценция связана с излучательными переходами с нижнего возбужденного состояния октаэдрически координированных ионов Ni^{2+} (канал $^3T_{2g}$ (^3F) → $^3A_{2g}(^3F)$).

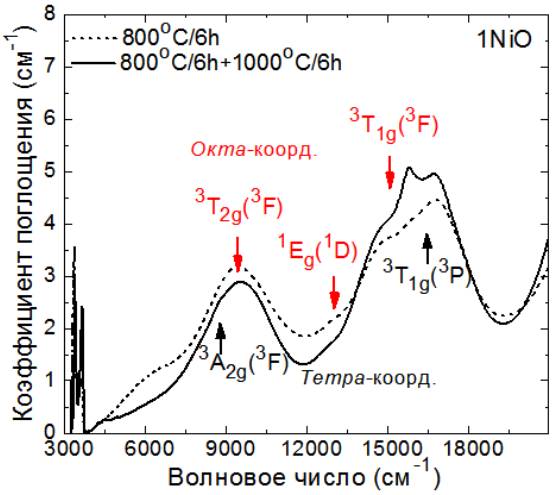


Рисунок 3 – Спектры поглощения стеклокерамики с нанокристаллами ганита Ni^{2+}:$ZnAl_2O_4$

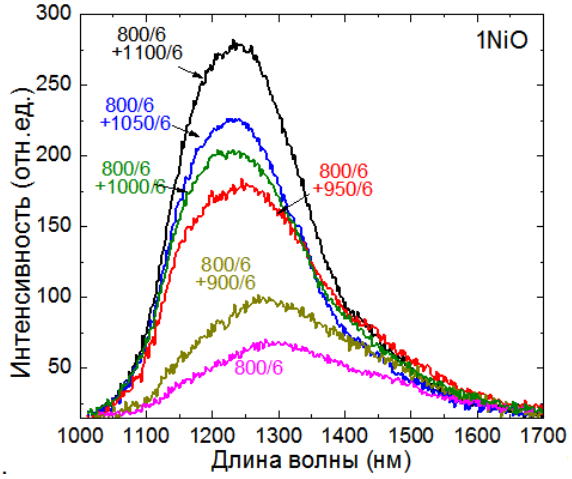


Рисунок 4 – Спектры люминесценции образцов ситаллов, содержащих наноразмерные кристаллы ганита Ni^{2+}:$ZnAl_2O_4$

Измерения времени затухания люминесценции в образцах никель-содержащей стеклокерамики показали, что данное время существенно зависит от концентрации NiO и достигает 100 мкс для концентрации 0.1 мол%.

Таким образом, в работе представлены данные по синтезу, исследованию оптического поглощения и люминесценции новых материалов

на основе стеклокерамики с нанокристаллами ганита Ni^{2+}:$ZnAl_2O_4$ и монокристаллов хлорида Bi^{+}:$CsCdCl_3$, перспективных для широкополосного усиления лазерного излучения, а также разработки активных сред лазеров с перестройкой длины волны выходного излучения.

Дымшиц О.С. благодарит РФФИ, грант 13-03-01289 А, за частичную поддержку работы.

УДК 621.1: 679.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ШАРИКОВ

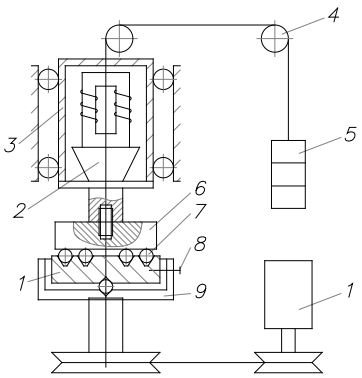
Луговой В.П., Волк Н.М., Луговая И.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

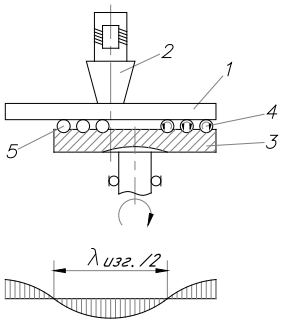
Использование ультразвука при абразивной обработке позволяет улучшить количественные показатели обработки поверхности в силу особенностей воздействия в зоне контакта детали и инструмента [1]. Повышение точности обработки могут быть достигнуты при комплексном управлении технологическими (скорость, давление, материала и размер абразивного зерна) и акустическими (амплитуда и частота колебаний) факторами. Каждый из них может оказывать благоприятное воздействие в определенных диапазонах и сочетаниях численных значений. Особый интерес при этом, представляет возможность управления процессом обработки воздействием ультразвука на динамику и кинематику скольжения контактирующих поверхностей

Особый интерес представляет вопрос о возможности управления точностью геометрической формы сферических поверхностей. К числу таких изделий относятся металлические шарики, используемые в различных отраслях техники, в частности, в при производстве подшипников качения, а также неметаллические, применяемые например в ювелирной промышленности для изготовления украшений из натурального камня, стекла и пр.

Сущность обработки шариков заключается в обкатке заготовок между двумя (тремя) дисковыми инструментами. Схема обработки шариков с использование ультразвука имеет некоторые особенности, заключающиеся в том, что распространение ультразвуковых волн по поверхности инструмента имеет волновой характер [2]. Подобный волновой характер распространения ультразвуковых колебаний в инструменте можно целенаправленно использовать для повышения геометрической формы. Один из инструментов присоединяется к источнику ультразвуковых колебаний таким образом, чтобы в инструменте возбуждается стоячая ультразвуковая волна, которая может оказать влияние на интенсивность обработки в зависимости от положения деталей в зоне обработки (рис. 1а). В этом случае процесс формообразования шариков зависит от расположением изделий относительно стоячей волны, возбуждаемой в материале инструмента. В результате шарики, обработанные на различных радиусах дорожек нижнего диска, имеют отличия и по размерам и по точности. В связи с этим эксцентричное положение инструментов относительно друг друга позволяет устранить этот недостаток тел качения [3], обеспечивая прохождение траектории движения шариков через различные зоны ультразвукового поля (рис.2). Очевидно, что это достигается изменением направления вращения шариков вокруг своих осей при пересечении различных зон акустической волны.



1-нижний диск, 2- ультразвуковой преобразователь, 3 –корпус, 4 - натяжной трос, 5 – противовес, 6- верхний диск.
Рисунок 1 – Схема обработки шариков с ультразвуком



1 – верхний диск, 2- ультразвуковой преобразователь, 3 – нижний диск, 4 – шарики
Рисунок 2 – Схема ультразвукового шлифования шариков с эксцентричным положением инструментов

От источника механических колебаний в верхнем диске возбуждаются изгибные колеба-

ния, имеющие волновой характер (рис.2). На инструменте возбуждалась резонансная изгибная волна частотой 21 кГц с одним узлом изгибных колебаний.

Рисунок 3 – Общий вид нижнего и верхнего инструмента

В результате доводки металлических шариков диаметром 3 мм было установлено, что использование ультразвуковых колебаний приводит к повышению производительности и точности геометрической формы обработанных поверхностей. Установлено, что благоприятное действие ультразвука обеспечивается за счет принудительного и ускоренного вращения шариков вокруг своих осей вызванных действием высокочастотных колебаний инструмента. При этом процесс абразивной обработки сопровождается улучшением качества обработанной поверхности [1].

В настоящей работе поставлена цель - исследовать влияние ультразвуковых колебаний на показатели процесса шлифования шариков, изготовленных из хрупких материалов: из природного камня и стекла.

Для проведения исследований был разработан станок с вертикальной осью вращения нижнего инструмента (рис.3).Верхний инструмент, соединен с преобразователем ультразвуковых колебаний. Станок позволяет осуществить сравнительные исследования обработки шариков без и с воздействием ультразвука на металлический инструмент с алмазоносным слоем. При этом станок позволяет смещать верхний инструмент в горизонтальной плоскости относительно нижнего инструмента, так как это показано на рис.2.

Второй вариант схемы обработки предусматривает возможность шлифования свободным абразивом заготовок, размещаемых в отдельных отверстиях- гнездах нижнего или верхнего инструмента рис.3.

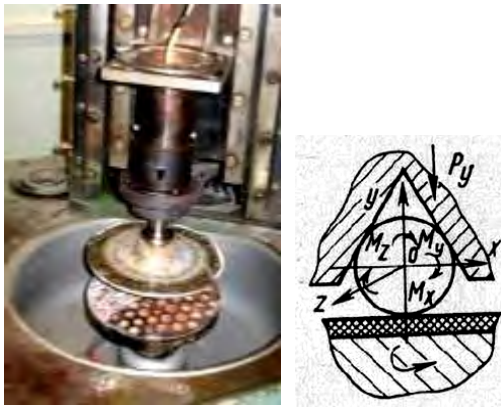


Рисунок 4 – Общий вид станка и схема обработки шариков

1. М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, В.А.Ибрагимов. Ультразвук в поверхностной обработке материалов.- Мн.: Тесей, 2001г – 420с.
2. В.П. Луговой. Автореферат диссертации. Мн. 1981г -16 с.
3. А.с. 664824 СССР, В24В,11/02. Устройство для доводки шариков. / М.Г.Киселев, М.Ю.Пикус, В.П.Луговой. Б.Д.Дисон. (СССР).

УДК 6671.1339.37

ОСОБЕННОСТИ УКРАШЕНИЙ ИЗ НЕДРАГОЦЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Луговой И.В., Луговая И.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Значительный удельный вес в ассортименте ювелирных изделий составляют украшения из недрагоценных материалов. Они значительно дешевле, пользуются широким спросом у покупателей и, существенно влияют на формирование эстетических вкусов. Отличие изделий из благородных и недрагоценных материалов заключается в основном в престижности украшений первой группы. В то же время украшения из недрагоценных материалов имеют определенные художественные достоинства и потому приобретаются для того, чтобы получить эстетическое удовольствие. На протяжении многих лет к таким украшениям сложилось неверное отношение как к второстепенным украшениям. По этой причине зачастую к дизайнерским проектам бижутерийных украшений предъявляют меньшие требования, чем к украшениям из драгоценных металлов.

Сопоставление систем композиционного построения украшений этих двух групп показывает, что композиции украшений из драгоценных материалов основаны на определенных установившихся классических принципах, а влиянию национальных культурно-исторических традиций они подвержены в малой степени. Однако анализ украшений из недрагоценных материалов показал, что по сложности

творческих задач, решаемых при проектировании, они не уступают изделиям первой группы и также требуют применения законов и правил композиции.

К особенностям проектирования и производства украшений из недрагоценных материалов относятся:

- стиль исполнения и особенности композиционного построения;
- быстрая смена моды;
- экономическая целесообразность из выпуска;
- разнообразие жанров художественного исполнения;
- широкое разнообразие материалов.

Бижутерийные украшения должны не просто копировать или имитировать оформление ювелирных изделий, а как недорогие аксессуары к современному костюму требуют постоянного поиска новых форм, обращения к новым нетрадиционным для ювелирных украшений материалам и способам их декоративной отделки. В связи с этим, особенностью украшений из недорогих материалов является подверженность быстрой смене моды.

Так же по этой же причине должно быть иным и стилевое развитие бижутерийных украшений с учетом особенностей технологических и декоративных свойств, эффектов и возможностей недрагоценных материалов. При этом стилевая направленность украшений должна быть ориентирована на стиль одежды.

В основе дизайна недорогих украшений лежат две отличительные черты стилевого развития: первая - это тенденции развития современного декоративно-прикладного искусства, а вторая - традиции народного творчества. Влияние первого фактора выражено в стремлении к конструкциям открытых, динамичных форм, активно взаимодействующих с окружающим пространством, что достигается различными приемами, в числе которых: использование подвижных и свободно размещенных звеньев в украшениях; переливающихся блеском цепочек и пр. Действие второго фактора сводится либо к использованию или повторению этнографических образцов объектов народного искусства, либо к творческому развитию и применению народных традиций в современных моделях.

Особенность недорогих и художественно оформленных украшений обусловлена желанием достигнуть экономическую целесообразность их производства, стремлением к быстрому сбыту и смене ассортимента изделий. Эта особенность должна быть учтена на ранних этапах проектирования, что позволяет расширить диапазон ассортимента благодаря разработке модулей серии, использованию унифицированных элементов подчиняющихся общей художественной идее. Такой подход позволяет разработать стилевое единство разнообразного ассортимента украшений, состоящего из типовых и унифицированных элементов и получить большое количество вариантов проектов и типовых решений. Унификация открывает новые возможности для разработки трансформируемых изделий, путем комбинирования типовых унифицированных элементов различными способами. Унификация позволяет повысить эффективность производства в результате сокращения сроков проектирования и изготовления, увеличения серийности, расширения специализации и кооперирования, повышения уровня ремонтопригодности и снижения стоимости продукции.

Объединяющим началом таких элементов является подобие конструкций и размеров исполнения, обусловленных эргономическими параметрами человека. Каждая из предложенных серий с общностью элементов, может быть представлена как отдельная коллекция, несущая определенную творческую идею.

Перспективным направлением производства недорогих украшений является расширение разнообразия жанров исполнения украшений, которое также позволит расширить ассортимент изделий для возможно потенциальных потребителей, среди которых преобладает молодежь, склонная к частой и быстрой смене моды. И в этих условиях разработка дизайна украшений для условий серийного производства должна предусматривать возможность переналадки технологий на освоение новых видов изделий. В этом направлении интересны идеи развития творческой фантазии при разработке трансформируемых украшений и применения, функционально трансформируемых элементов, позволяющих преобразовать вид украшения.

Большое разнообразие недорогих украшений разработано в последние годы благодаря применению новых материалов, не использованных ранее в технологии изготовления бижутерийных изделий. К ним следует отнести титан, полимерную глину, бисер, эпоксидную смолу и прочие материалы, которые привносят новизну в дизайн украшений.

Титан применяется в ювелирных изделиях и недорогих украшениях благодаря особому свойству изменять цвет при термообработке (рис.1). При постепенном нагревании он приобретает следующие цвета: золотистый, зеленый, фиолетовый, голубой, синий. Газопламенное нагревание образует на поверхности титана радужные цвета (цвета побежалости).

а *б*

в

г

д

а – полимерной глины, б – эпоксидной смолы, в – бисера, г – кости,
д – перламутра.

Рисунок 1 – Украшения из недрагоценных материалов

Полимерная глина — пластичная масса, похожая по внешнему виду и на ощупь на пластилин. Полимерные глины содержат основу из ПВХ, один или несколько видов жидких пластификаторов и красители. Пластификаторы придают ей пластичность в исходном состоянии,

которые впитываются в материал при нагреве от 100 до 130 °С, в результате чего материал твердеет и теряет пластичность. Пигменты или другие прозрачные компоненты добавляют к прозрачной основе для достижения цвета или прозрачности. Добавление слюды позволяет создать перламутровый или металлический эффект. Полимерная глина эффективно имитируют различные материалы и текстуры.

Существуют также полимерные глины со специальными эффектами: металлик, полупрозрачный, блестящий, цвет камня, светящийся в темноте. Широкое применение среди молодежи находят **украшения из эпоксидной смолы**, которую можно наносить на любую поверхность: стекло, металл (за исключением алюминия и оцинкованного железа), фаянс, силикон, крашеное дерево, пластик, кожу. Прозрачная эпоксидная смола позволяет получить различные украшения, похожие на стекло (рис. 1). Она обладает прочностью, не желтеет, не имеет запаха. Для придания блеска готовым изделия покрывают специальным лаком.

Эпоксидная смола может применяться также для изготовления светящейся бижутерии и витражных изделий. Разработаны клеи, которые обладают свойством накопления ультрафиолетового света с последующим фосфоресцированием в темноте и сумерках в течение восьми и более часов ярким голубым цветом.

Клей с перламутровым пигментом из мельчайших частичек натуральной слюды размером от 5 до 200 мкм дает особый цветовой эффект создается исключительно за счет явлений отражения, преломления и интерференции света без применения красителей.

Украшения из бисера крайне популярны благодаря своему необыкновенному многообразию и сочетанию с любым стилем одежды, а также возможности изготовить их собственноручно. Более сложные работы, выполненные из бисера порой не уступают в красоте украшениям из дорогих материалов (рис.1).

Интересным материалом для изготовления разнообразных произведений ювелирного искусства является кость — клыки моржа, бивни слона и мамонта, зуб кашалота и нарвала, кость домашних животных, кости крупных морских и домашних животных, рога оленей, антилоп, рог носорога, а также близкий по свойствам панцирь черепах. Существуют три основное техники работы с костью – фигурная, плоская и ажурная резка (рис.1). Украшения из кости в первую очередь являются символическим защитным талисманом. неприятности. В настоящее время они больше всего полюбились любителям экстремальных видов спорта.

Перламутр – внутренний слой раковин пресноводных и морских моллюсков, является органико-неорганическим композитом натурального происхождения. Главной отличительной особенностью перламутра является плоскостная структура, состоящая из нескольких слоёв шестиугольного пластинчатого арагонита, который размещён в несколько слоёв и способен преломлять свет самым оригинальным образом. Перламутр применяют для изготовления разнообразных изделий, в том числе в сочетании с металлами (рис.1).

УДК 621.382.019.3

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Манего С.А.[1], Бумай Ю.А.[1], Бобученко Д.С.[1], Трофимов Ю.В.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий» НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Оценка надежности оптоэлектронных устройств (ОУ) базируется на исследовании закономерностей развития механизмов деградации, приводящих к отказам того или иного типа. Выяснение причин деградации направлено, чтобы затем, целенаправленно воздействуя на них, уменьшить скорость и величину деградации. При исследовании деградации существует ряд аспектов, из которых следует выделить, выявление ранних признаков основной и ускоренной деградации.

Здесь мы рассмотрим основные подходы к обнаружению и выявлению ранних признаков деградации одноваттных светоизлучающих диодов (СИД) фирмы HELIO Optoelectronics Corp (HMHP-E1LR, HMHP-E1LG, HMHP-E1LU). Деградация СИД, как правило, оценивают по уменьшению величины интенсивности излучения света. Следует отметить, что при оптимальных температурных и токовых нагрузках уменьшение внешней эффективности излучения света во времени является для ОУ процессом достаточно длительным. Поэтому, при условии сохранения автомодельности механизмов деградации используется методика ускоренных испытаний (ГОСТ Р 51901-6-2005), позволяющая существенно уменьшить длительность испытаний. Известно, что температурная зависимость скорости деградации описывается определенной энергией активации ($E_{акт.}$). Для полупроводниковых

приборов соединений $A^{III}B^{V}$ энергия активации составляет от 0,5 до 0,8 эВ. Следует отметить, что скорость деградации существенно увеличивается с увеличением токовой нагрузки и превосходит ее при увеличение температуры окружающей среды. Ранее отмечалось [1], что изменение оптических и электрических параметров СИД во времени, обусловлено необратимыми физико-химическими процессами в полупроводниковом материале СИД и являются наиболее общей причиной деградации светоизлучающих устройств. Возможны также отказы катастрофического типа после длительного периода наработки.

В качестве показателя надежности СИД выбирают медианный ресурс – время наработки до наступления 20% уменьшения начальной интенсивности излучения светодиода. В ряде работ было установлено, что при температурах до 135 ºС выполняется условие автомодельности механизмов отказа, что позволяло проводить ускоренные испытания не превышающую ее. Поэтому при форсированных испытаниях выбирались такие условия при которых суммарное воздействие токовой и температурной нагрузки при которых температура активного слоя светодиодов не превышала максимальную температуру активной области (120 ºС) [2]. Энергия активации деградационного процесса составляла 0,6 эВ. Зависимость медианного ресурса определялась выражением /3/.

$$T_{20} = AJ^{-n} * exp(E_{акт.}/kT_a),$$

где A - постоянный коэффициент;

J - плотность тока;

n - показатель степени, равный примерно единице;

$E_{акт.}$ - энергия активации;

k - постоянная Больцмана;

$T_{a.}$ - температура активного слоя.

Исследуемая партия светодиодов фирмы HELIO Optoelectronics Corp. Содержала по 2 светодиода красного, голубого, зеленого и ультрафиолетового цвета свечения. На все светодиоды подавался стабилизированный ток I_F = 330 mA. В форсированном режиме температура окружающего воздуха выбиралась, чтобы температура активной области не превышала 130 ºС. Температура активной области измерялась относительно комнатной по сдвигу максимума спектра излучения с учетом температурного коэффициента ширины запрещенной зоны InGaN, равного 0,4 мэВ/К. Периодичность измерения оптических и электрических параметров светодиодов (не реже одного раза в сутки). Затем строились графики зависимости логарифма интенсивности люминесценции от времени наработки для всех СИД. На рисунке 1 приведены зависимости интенсивности люминесценции (в относительных единицах) светодиодов от времени. Графики показывают, что после начального периода приработки (около 120 ч.) зависимость интенсивности люминесценции от времени имеет вид

$$I = I_1 * exp[-(t-t_1)/\tau_ф)]$$

где I_1 – интенсивности люминесценции СИД после приработки в течение времени t_1,

$\tau_ф$ – постоянная времени форсированной деградации.

Постоянная времени $\tau_ф$ является интегральной характеристикой деградационных процессов, которая определяется на линейном участке графика:

$$\tau_ф = (t_2-t_1)/ln(I_1/I_2)$$

где I_1 – интенсивности люминесценции в момент времени t_1,

I_2 – интенсивности люминесценции в момент времени t_2.

Для номинального режима постоянная времени получается умножением постоянной времени деградации на коэффициент ускорения K_y:

$$\tau = \tau_ф K_{y,}$$

Коэффициент ускорения при известной энергии активации E_a рассчитывают по формуле

$$K_y = \exp(E_a/kT_н)/exp(E_a/kT_ф),$$

где $T_н$ и $T_ф$ – температуры при нормальном и форсированном режимах, соответственно.

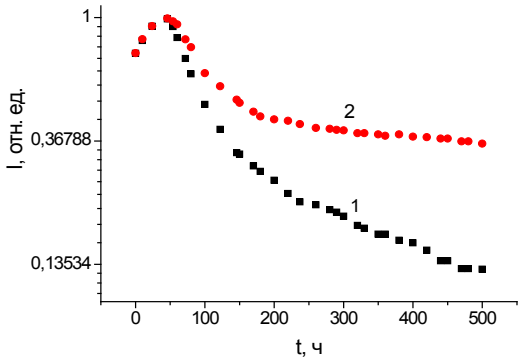


Рисунок 1 – Зависимость логарифма относительной интенсивности люминесценции светодиодов от длительности ускоренных испытаний (t): 1 - HMHP-E1LR(красный), 2- HMHP-E1LG(зеленый).

Следует отметить, что ультрафиолетовые светодиоды HMHP-E1LU деградировали, проработав всего 110 ч., что не позволило оценить средний срок службы ультрафиолетовых светодиодов. Фотографии светодиодов красного и

зеленого свечения после 400 ч испытаний приведены на рисунках 2 и 3.

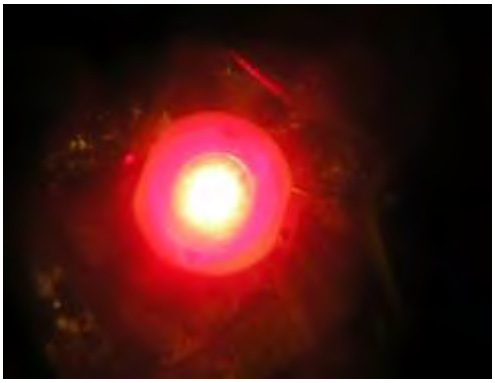


Рисунок 2 – Светодиод HMHP-E1LR, время испытаний 400 ч.

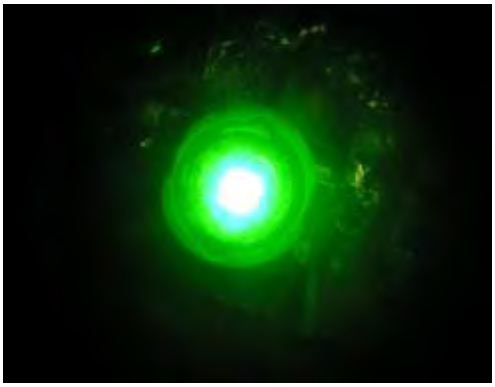


Рисунок 3 – Светодиод HMHP- E1LG, время испытаний 400 ч

Как видно из фотографии на поверхности чашки, фокусирующей излучение, образуются пузырьки силикона, которые уменьшают отражательную способность поверхности чашки. Поэтому при оценке интенсивности излучения светодиодов было учтено уменьшение отражательной способности чашки (интенсивность уменьшалась на 10%).

Таким образом, исследованы деградационные процессы в светодиодах фирмы HELIO Optoelectronics Corp (HMHP-E1LR, HMHP-E1LG, HMHP-E1LU) при токовых и температурных нагрузках. Определен коэффициент ускорения для красных(HMHP-E1LR) и зеленых (HMHP-E1LG) светодиодов Ку=330. Средний срок службы светодиодов (HMHP-E1LR, HMHP-E1LG) τ = 48675 ч. Обнаружено, что после 400 ч наработки при форсированных испытаниях на поверхности металлизированного диффузора образуются пузырьки силикона.

1. Манего С.А. Анализ переходных тепловых процессов в светодиодах / С.А. Манего, С.И. Лишик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8 Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 15 апреля 2010 г. / под ред. Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюка, А.С. Калиниченко – Минск: БНТУ, 2010. – Т.3 – С.349.
2. Helixeon - Color Series Documents. No.: DS-04-09-01. Mode of access: http://www.heliopto.com/en/product.htm - Data of access: 09.03.2014.
3. Егоров Л.П., Никофоров С.С., Воротинский В.А. Форсированные испытания для оценки надежности светоизлучающих приборов. Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы.-1989.-№7.-С.113-116

УДК 621.382

ИМПУЛЬСНАЯ ФОТОННАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛИЦИДОВ ПЛАТИНЫ ДЛЯ СБИС

Маркевич М.И.[1], Чапланов А.М.[2], Щербакова Е.Н.[1]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Создание высококачественных быстродействующих полупроводниковых приборов и сверхбольших интегральных схем (СБИС) требует внедрения в технологию их изготовления новых материалов. Одним из наиболее перспективных материалов современной микроэлектроники являются силициды металлов. Силициды различных металлов нашли широкое применение в изделиях твердотельной электроники в качестве материалов выпрямляющих и омических контактов, а также токопроводящих элементов интегральных схем [1, 2].

Одним из распространенных материалов данного класса является силицид платины, отличающийся большей высотой потенциального барьера с кремнием n-типа проводимости (0,82 В) и легкостью получения путем твердофазной реакции с кремнием. Использование силицида платины в таких изделиях силовой электроники, как диоды Шоттки позволяет получать структуры с малыми обратными токами, высокими пробивными напряжениями и максимальной температурой эксплуатации до 200°С [3].

Отличительной особенностью изделий силовой электроники является большая площадь структуры, которая может достигать десятков

квадратных миллиметров, что обусловливает значительные механические напряжения структур, полученных твердофазной реакцией с кремнием при термическом воздействии. Снизить механические напряжения можно используя импульсную фотонную обработку (ИФО). Влияния параметров БТО на процесс формирования структуры может упростить технологические процессы и существенно повысить качество синтезированных материалов [4,5].

Режимы термообработки существенно зависят от плотности энергии и длительности обработки. Выделяют три наиболее важных случая [4]:

- адиабатический режим (10^{-10}-10^{-6} с) реализуется в диапазоне коротких световых импульсов;

- режим теплового потока (10^{-6}-10^{-2} с) реализуется, когда за время импульсной фотонной обработки область диффузионного перераспределения тепла становится больше толщины слоя, в котором происходит поглощение излучения, но не распространяется на всю толщину образца [4];

- режим теплового баланса (10^{-2}с и более) реализуется, когда тепловой фронт достигает необлучаемой стороны образца и выравнивает температурный профиль по толщине.

Увеличение длительности импульса выше 0,1 с приводит практически к равномерному нагреву пластины по всей ее толщине, разность температур не превышает 1°С [4]. Это допускает, что при проведении расчетов температуры при таких режимах ИФО можно считать температуру по толщине пластины постоянной.

Перспективность импульсной фотонной обработки в режиме теплового баланса связана с равномерным нагревом пластины по толщине, что обеспечивает отсутствие ее деформаций. При такой обработке кремниевой пластины и гетероструктур на основе кремния с использованием секундных импульсов следует учитывать потери тепла на излучение от самой пластины. Процесс нагрева гетероструктуры Pt/Si импульсами секундной длительности можно описать при допущениях [4]:

- импульс излучения имеет прямоугольную форму;

- перед облучением температура гетероструктуры постоянна по всему объему;

- отсутствует теплообмен между пластиной и подложкодержателем;

- отсутствуют градиенты температуры по всем координатам.

Процесс нагрева исследуемой структуры может быть описан уравнением теплового баланса [4]:

$$\rho c h \frac{dT}{dt} = (1-R)E - 2\varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4), \quad (1)$$

где ρ – плотность кремния, c – теплоемкость кремния, h –толщина структуры, E- плотность мощности светового потока, падающего на структуру, R- отражательная способность, T_0 – температура окружающей среды, t – время, ε – степень черноты, σ – постоянная Стефана-Больцмана, T - температура.

В данной работе исследовалось изменение температуры от времени в системе Pt/Si при импульсной фотонной обработке излучением ксеноновых ламп, что необходимо для выбора режимов синтеза силицида платины.

Быстрый термический отжиг проводился ксеноновыми лампами на установке УОЛП-1М в вакууме при остаточном давлении в рабочей камере $3 \cdot 10^{-3}$ Па.

Характерные зависимости изменения температуры от времени в исследуемых режимах приведены на рисунках 1-2.

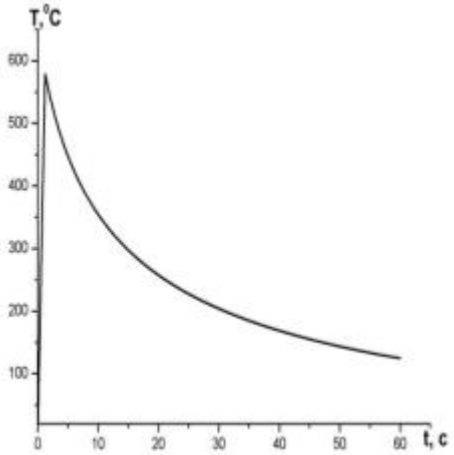


Рисунок 1 – Зависимость температуры от времени при длительности импульса 1,2 с, плотности энергии 170 Дж/см^2.

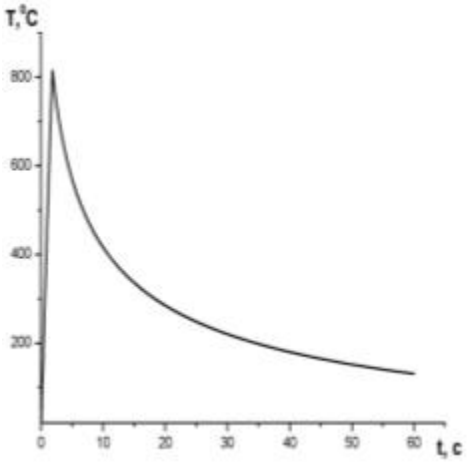


Рисунок 2 – Зависимость температуры от времени при длительности импульса 1,8 с, плотности энергии 255 Дж/см^2.

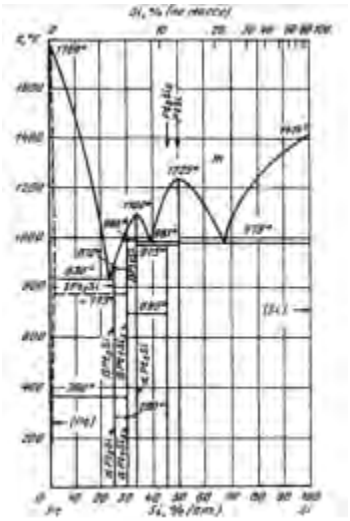


Рисунок 3 – Диаграмма состояния платина-кремний

Из приведенных рисунков видно, что в процессе импульсной фотонной обработки происходит резкий подъем температуры за короткий промежуток времени. Из рисунков 1 и 2 следует, что за время 1,2 с и при плотности энергии 170 Дж/см^2 температура достигает ~ 580°С, а при плотности энергии 255 Дж/см^2 и длительности воздействия 1,8 с температура достигает ~ 810°С. При достижении такой температуры в обрабатываемых гетероструктурах согласно диаграмме состояния платина-кремний (рисунок 3) создаются условия для формирования силицидов платины.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены режимы импульсной фотонной обработки для формирования на кремнии тонких пленок сидицидов платины.

1 Мьюрарка, Ш. Силициды для СБИС/ Ш. Мьюрарка -М., : Мир. - 1986. -176 с.
2 Formation of platinum-based silicide contacts: Kinetics, stoichiometry, and current drive capabilities /G. Larrieu [et al.] //J. Appl. Phys. - 2003. -V. 94, № 12.- P. 7801–7810.
3 Особенности формирования границы раздела Si/PtSi в диодах Шоттки для силовой электроники /А.С. Турцевич [и др.] //Доклады БГУИР. - 2003. - №4 (16).- С.53-58.
4 Пилипенко, В.А. Быстрые термообработки в технологии СБИС /В.А Пилипенко. - Минск: Изд. центр БГУ. - 2004. - 531 с.
5 Иевлев, В.М. Формирование пленок силицидов металлов методами импульсной фотонной обработки /С.Б. Кущев//Вес. ВГТУ. Сер. Материаловедение.- 1997.- Вып.1.- С.8-12.

УДК 616.1; 615.4

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМООБРАБОТАННОЙ НИТИНОЛОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Минченя В.Т.[1], Савченко А.Л.[1], Минченя Н.Т.[1], Минченя А.В.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь имеется и все возрастает потребность в расходных материалах для сосудистой хирургии. Это связано с ростом сердечно-сосудистых патологий и появлением новых методик их лечения. Такие методики связаны с использованием специальных эндопротезов и других изделий, выполненных из никелида титана (нитинола) – стентов, стентграфтов, клапан-содержащих стентов, фильтров-ловушек и др. Все эти изделия представляют собой достаточно сложные по форме пространственные структуры, получаемые гибкой из нитиноловой проволоки с использованием дополнительных операций сварки, соединения пластическим деформированием с помощью трубок. На настоящий момент такие изделия в Республике Беларусь практически не производятся, а иностранные образцы имеют крайне высокую стоимость, что делает операции с их использованием недоступным широким массам пациентов. Разработка технологий формообразования нитиноловых структур позволит внедрить их в производстве импортозамещающих аналогов медицинских изделий.

Технология формообразования изделий из нитинола должна обеспечивать заданные механические характеристики изделий, поэтому при выборе режимов термической обработки требуется оперативная оценка упругих свойств. В конечном итоге это позволит установить связь между параметрами термообработки (температурный режим, химический состав среды) и механическими параметрами (жесткость, упругий и остаточный гистерезис) и даст возможность управлять процессом формообразования. Для экспериментальных исследований выбрана форма образца в виде кольца из нитиноловой проволоки, полученное гибкой с соединением концов стальной трубкой. Такая форма является наиболее простым симметричным контуром, из которого формообразованием при определенных

температурных параметрах могут быть получены другие более сложные формы.

Ранее было разработано устройство для оценки радиальной жесткости нитинолового каркаса стент-графта [1], схема которого показана на рисунке 1.

Стентграфт помещается на призму 4 и сжимается плоской пружиной 1 до определенного диаметра. По прогибу пружины, который измеряется датчиком перемещения 2, можно получить силу, необходимую для сжатия, либо зависимость силы от деформации. Вертикальное перемещение плоской пружины по направляющим 5 осуществляется с помощью микровинта 3.

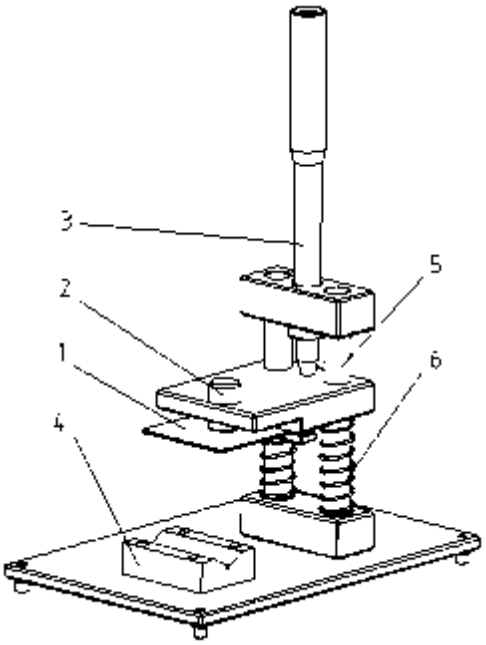


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Недостатком описанной конструкции является достаточно высокая трудоемкость градуировки, трудность определения действительной жесткости самих опорных элементов и оценки остаточного гистерезиса образца, хотя наличие электрического датчика перемещения позволяет автоматизировать процесс измерений. Поэтому для установления влияния геометрических параметров, температуры отжига нитинола, температуры окружающей среды на радиальную жесткость кольцевых элементов нами предложена другая конструкция устройства представленная на рисунке 2. Кольцо из нитинола 1 укладывается в прозрачный держатель 2, состоящий из двух плоскопараллельных пластинок и призматической опоры. Держатель установлен на платформе цифровых лабораторных весов 3 связанных с персональным компьютером (PC). К основанию весов прикреплен кронштейн 4, в котором установлены винт 5 с керамической вставкой 9 изготовленного из материала с минимальной теплопроводностью и цифровой микроскоп USB Digital Microscope 6 связанной с персональным компьютером через USB-порт. Измерительное устройство помещалось в термостатированную камеру 8 со встроенными системами охлаждения и нагрева, и с помощью специального электронного терморегулятора устанавливалась заданная температура. Измерение радиальной жесткости кольцевых элементов из нитинола осуществляли при трех значениях температур: 15 °C, 36,6 °C и 42 °C. Такие значения температур необходимы, исходя из трех условий: 1 – при имплантации стент-графта, его охлаждают до температуры ниже 15 °C, при которой жесткость должна быть минимальной; 2 – нормальная температура человека 36,6 °C, при которой элементы из нитинола саморасширяются; 3 – повышенная температура тела человека при заболеваниях до 42 °C, радиальная жесткость стент-графта максимальная. Следует заметить, что все применяемые в устройстве приборы по паспортным данным могут работать в этом диапазоне температур.

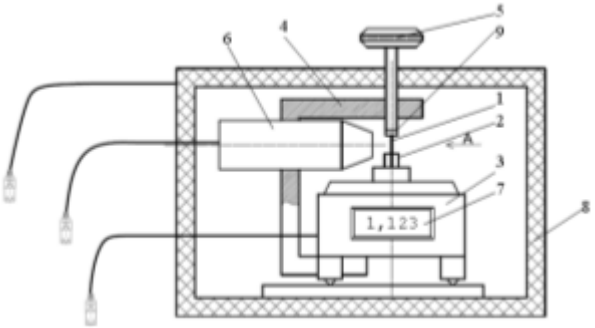


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

В процессе измерения кольцо 1 устанавливалось в держатель 2 на призму, винтом 5 задавалась нагрузка, которая контролировалась по индикатору 7 цифровых весов 3, и измерялась деформация кольца с помощью цифрового микроскопа по калиброванной шкале на экране монитора. Для измерения с помощью цифрового микроскопа использовалось специальное программное обеспечение для обработки полученной информации. При измерении производился захват изображения, и при перемещении кольца от приложенной нагрузки на выходе отображались значения перемещений в долях миллиметра от начального состояния. После снятия нагрузки определялась величина остаточной деформации.

Такая конструкция позволяет легко и оперативно получать зависимость деформации кольца от приложенной радиальной нагрузки и температуры окружающей среды. С помощью разработанного устройства были оптимизированы режимы отжига деталей из нитинола, с целью получения заданной жесткости при температурах 36,6 и 42 °C.

На рисунке 3 представлены полученные зависимости жесткости кольцевых элементов из

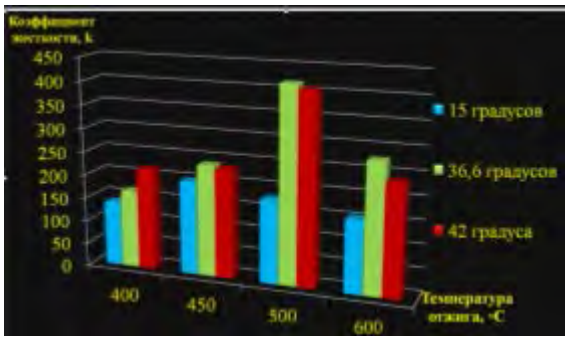


Рисунок 3 – Результаты эксперимента

нитинола в зависимости от температуры окружающей среды для колец с различными режимами отжига при температурах 400, 450 и 500 °С и в течение 15 минут. Оптимальным вариантом является сохранение кольцевым изделием жесткости в диапазоне температур от 36,6 до 42 °С и его минимально возможная жесткость при температуре 15 °С. Как видно из полученных графиков, оптимальная жесткость получена при температуре отжига 500 °С.

Работа выполнена в рамках задания 4.1.08 «Разработка и исследование технологии задания формы материалам на основе никелида титана для получения изделий медицинского назначения» ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы», подпрограмма «Материалы в технике».

1. Разработка методики оценки радиальной жесткости эндоваскулярных стентграфтов / В.Т. Минченя, Д.А. Степаненко, Н.Т. Минченя, Савченко А.Л., Чигарев А.В., Островский Ю.П., Шкет А.П. // Теоретическая и прикладная механика. Международный научно-технический сборник. – Минск, БНТУ, 2012. – Вып. 27. – С. 137 – 141.

УДК 621.382: 535.376

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Нисс В.С.[1], Васьков О.С.[1], Турцевич А.С.[2], Рубцевич И.И.[2], Соловьев Я.А.[2], Керенцев А.Ф.[2], Кононенко В.К.[3]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

[2]ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

[3]Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Параметры теплового сопротивления мощных биполярных транзисторов различных производителей в корпусах ТО-252 и ТО-126, изучены методом тепловой релаксационной дифференциальной спектрометрии (ТРДС). Тепловые постоянные элементов корпусов приборов и распределение структуры теплового сопротивления определены в виде дискретного и непрерывного спектра с использованием релаксационного импеданс-спектрометра, разработанного в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) [1]. Непрерывный спектр рассчитан на основе производных высшего порядка динамического теплового импеданса и соответствует модели Фостера, а дискретный – модели Кауера.

Анализ растекания теплового потока в исследуемых структурах проводился на основе концепции температуропроводности. Из послойных значений компонентов теплового сопротивления R_{th} и тепловой емкости C_{th} определена активная площадь сечения теплового потока S_a транзисторных структур и профиль ее распределения [2, 3].

Спектры ТРДС получены при естественном охлаждении приборов с используемыми корпусами ТО-126 и ТО-252 в воздушном пространстве. Максимумы спектров определяются площадью границы металл–воздух и сдвинуты на временной оси в соответствии с различной тепловой массой корпусов. Как правило, приборы в корпусе ТО-126 крепятся к тепловому радиатору, что позволяет существенно увеличить выделяемую тепловую мощность, рассеиваемую прибором.

Корпус ТО-252 (DPAK) предназначен для поверхностного монтажа, при креплении к площадке на плате 6 см^2. Он обладает существенным тепловым сопротивлением в окружающую среду $R_{jc} \approx 50$°С/Вт, что при допустимой температуре перегрева кристалла прибора 150°С ограничивает рассеиваемую мощность $P < 3$ Вт [4].

Дискретные и непрерывные спектры ТРДС и сравнение транзисторов с разным качеством посадки представлены на рис. 1(*а*, *б*) и рис. 2(*а*, *б*). Рисунки сгруппированы по типам транзисторов и показана связь послойного теплового сопротивления R_{th} с послойной тепловой емкостью C_{th} транзисторов с разным качеством посадки.

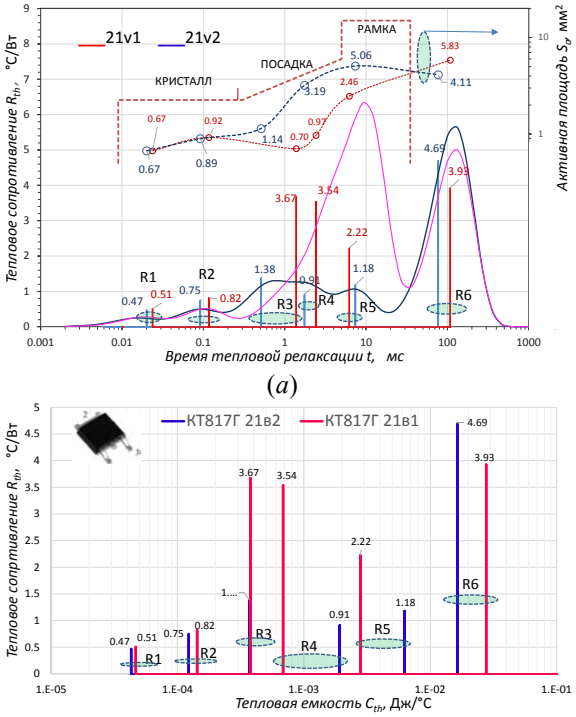


Рисунок 1(*а*, *б*)т– Дифференциальный (непрерывный) и дискретный (вертикальные линии) спектры $R_{th}(t)$ и профиль эффективной площади $S_a(t)$ транзисторов КТ817Г/Интеграл с разным качеством посадки

Таблица 1 – Транзисторов разных производителей

Производитель	Корпус	R_{jc}, °C/Вт	S_a, мм²	CO, %	$S_{кр.}$, мм²
MJD44H11\ON Semiconductor	TO252	2.7	2.35	2.9	-
КТ817Г\Интеграл		4.6	1,03	2.0	2.25
2N5191\ST Microelectronics	TO126	5.5	0.81	2.6	-
КТ817А\н.п.*		10.4	0.64	4.9	2.25

* *неизвестный производитель*

На рисунке 1(*а*, *б*) и рис. 2(*а*, *б*) представлены сравнительные спектры образцов с максимальным и минимальным тепловым сопротивлением для каждого типа транзистора. Дискретные спектры шестого порядка соответствуют участкам с переходным тепловым сопротивлением от кристалла к корпусу транзистора и обозначены R1-R6. Участки, обозначенные R1, R2, идентифицируются как область кристалла, R3-R5 – припой и рамка выводная, R6 - начальная часть переходного сопротивления корпус-внешняя среда.

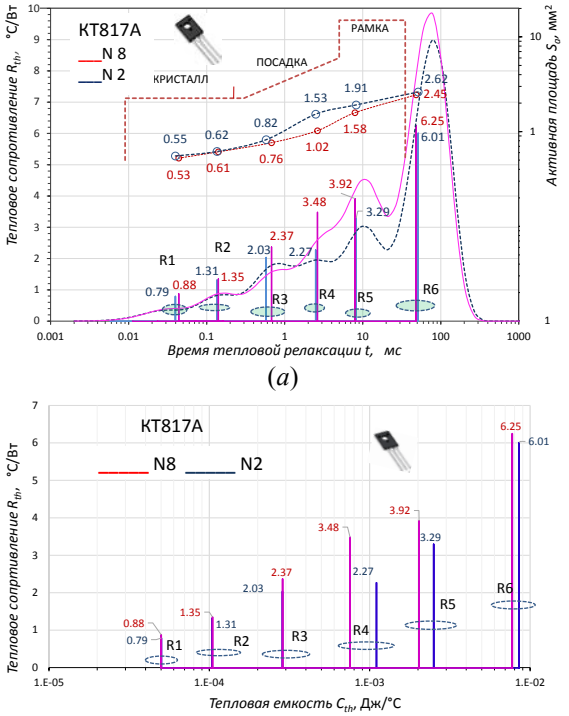


Рисунок 2(*а*, *б*) – Дифференциальный и дискретный (вертикальные линии) спектры теплового сопротивления $R_{th}(t)$ и профиль площади $S_a(t)$ транзисторов КТ817А/н.п. N8 и N2 с разным качеством посадки.

В переходном слое полупроводник–металл тепловое сопротивление скачкообразно изменяется из-за изменения механизмов теплопереноса. Наличие дефектов в этой области, например, при отслоении припоя, приводит к дополнительному росту теплового сопротивления границы из-за снижения активной площади переходного слоя. В то же время тепловая емкость такого слоя существенно не варьируется, так как при измерениях емкость переходного субмикронного слоя суммируется с емкостью кристалла. Этому критерию соответствует пик R3, что позволяет его отождествить с границей кристалл-припой.

Пик R6 соответствует области резкого возрастания теплового сопротивления на всех образцах (граница корпус прибора–окружающая среда). Тип корпуса TO-126 для крепления к радиатору или планарный DPAK не приводят к заметным изменениям внутреннего теплового сопротивления R1-R5 приборов.

Качество посадки и размеры кристалла существенно влияют на тепловые параметры (таблица). Транзисторы КТ817Г/Интеграл, 2N5192/ST и MJD44H11/ON имеют качественно сходные спектры, различающиеся наибольшим разбросом теплового сопротивления в области границы

кристалл-припой и в слое припоя (R3-R4). В транзисторах КТ817А/н.п. наблюдаются наибольшие изменения R_{th} в диапазоне R4-R5, что свидетельствует о наличии объемных дефектов в слое припоя или при расслоении рамки выводной.

Выводы.

1. Измеренное R_{jc} в партии (100 шт.) транзисторов КТ817Г/Интеграл составляет 4,35-4,62 °С/Вт, один аномальный R_{jc} = 9,5 °С/Вт.

2. Рост R_{jc} достигает в транзисторах КТ817Г/Интеграл 3,2% при увеличении температуры T пайки от 280°С до 380°С и - 2,2% при уменьшении числа периодов колебаний инструмента N_{xy} от 10 до 1. Корреляция между R_{jc} и диаметром иглы при этом слабая. Наименьший уровень теплового сопротивления достигается при N_{xy} = 10, T = 280°С.

3. Измеренное R_{jc} в партии (10 шт.) транзисторов КТ817А/н.п. находится в диапазоне 8,2-10°С/Вт, все аномальные.

4. Измеренное R_{jc} в партии (5 шт.) транзисторов 2N5191/ST равно 5,26-5,56 °С/Вт, транзисторов MJD44H11/ON – 2,43-2,64 °С/Вт.

5. В транзисторах КТ817А/н.п. основной тип дефектов – сквозные полости в области припоя, во всех остальных транзисторах – отслоение припоя на границе кристалл–припой.

1. Васьков,О.С. Определение и сопоставление тепловых параметров полупроводниковых диодных излучателей / О.С.Васьков, В.К.Кононенко, В.С.Нисс // Сб. докл. Междунар. науч. конф. “Актуальные проблемы физики твердого тела”. - Минск, 2011. - Т. 1. - С. 82–84.
2. Турцевич,А.С. Исследование качества пайки кристаллов мощных транзисторов релаксационным импеданс-спектрометром / А.С. Турцевич [и др.] // ТКЭА. - 2012. № 5. - С. 44–47.
3. Васьков,О.С. Тепловые параметры мощных светодиодов / О.С.Васьков, В.К.Кононенко, В.С.Нисс // Материалы. IX Междунар. науч. конф. “Лазерная физика и оптические технологии” / в 2 ч. - Гродно, 2012. - Ч. 2. - С. 15–18.
4. Gulino,R. Application Note / R.Gulino // AN1703. - 2003. – P. 5-6.

УДК 681.2

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОСОВЕРШЕННЫХ И ВЫСОКОЧИСТЫХ СТРУКТУР КРЕМНИЯ

Оджаев В.Б.[1], Челядинский А.Р[1]., Садовский П.К[1]., Турцевич А.С. [2]
[1]Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
[2]ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

Обеспечение химичесеой чистоты и кристаллического совершенства монокристаллов кремния и создаваемых структур является одной из важнейших задач в микроэлектронном производстве. Ионная имплантация примесей является мощным источником дефектов в кремнии. Подавление образования в ионно-имплантированных слоях кремния при отжиге из точечных радиационных дефектов остаточных протяженных нарушений является актуальной задачей полупроводникового материаловедения. Остаточные нарушения (стержнеобразные дефекты, дефекты упаковки, дислокационные петли) вносят глубокие уровни в запрещенную зону кремния и значительно ухудшают параметры полупроводниковых приборов и интегральных схем. Пошаговый метод имплантации ионов легирующих примесей допороговой дозой (для ионов бора 1.10^{14} см$^{-2}$) с промежуточными термическими отжигами позволяет получать бездефектные слои кремния [1].

Для уменьшения числа операций имплантация-отжиг эффект пороговой дозы совмещен нами [2] с эффектом аннигиляции дефектов на примесях замещения, используя явление Воткинса. Явление заключается в вытеснении легирующих примесей B, Al, Ga из узлов решетки в междоузлия возникающими при облучении кремния высокоэнергетичными электронами, нейтронами или ионами междоузельными атомами кремния. Замещение атомов бора междоузельными атомами Si имеет место и при термообработке имплантированного кремния [1]. При отжиге источником междоузельных атомов Si являются комплексы типа Si-B3, распадающиеся при температурах около 500 °С. В предложенном в работе [2] методе пошагового легирования используется термоотжиг в печи.

После каждого шага имплантации и отжига при последующей имплантации необходимо подавить эффект Воткинса, чтобы сохранить атомы бора в узлах решетки. Для этого имплантацию бора проводили при плотностях тока порядка 1 мкА·см$^{-2}$, обеспечивающих высокий уровень ионизации, за счет чего эффект Воткинса подавляется, и атомы бора не вытесняются из узлов. Эти атомы бора служат ловушками для атомов Si при последующем отжиге. Следовательно, доза каждого последующего шага может быть в 2 раза выше предыдущей (эффективность введения междоузельных устойчивых комплексов типа Si-B3, из которых строятся остаточные нарушения, при имплантации бора примерно равно 1). Применение предложенного нами пощагового метода имплантации и термоотжига в печи позво-

лило получать бездислокационные слои кремния при существенно меньшем количестве шагов по сравнению с известным пошаговым методом.

Нами выполнены исследования по образованию остаточных нарушений в кремнии при пошаговой имплантации и быстром термическом (БТО) отжиге. Исследования пошагово-имплантированных слоев кремния при различных режимах лампового отжига (скорость набора температуры, двухступенчатый отжиг, отжиг с планарной и обратной сторон пластины) показали отсутствие положительного эффекта по подавлению протяженных нарушений, что объясняется более высокой мгновенной концентрацией междоузельных атомов кремния в слое внедрения при БТО по сравнению с термоотжигом в печи вследствие существенного различия в скоростях нагрева и распада междоузельных комплексов.

Помимо пошагового метода известен и другой достаточно эффективный метод подавления образования остаточных нарушений в имплантированном кремнии. В основе этого метода лежит дополнительное легирование слоев кремния углеродом. Атом углерода, как и все другие примеси замещения с отличным от матрицы ковалентным радиусом является центром аннигиляции для междоузельных атомов Si через эффект Воткинса. Эффективность атома С как центра аннигиляции дефектов может быть больше 1. И это действительно наблюдалось экспериментально. Атом С, вытесненный из узла атомом Si, может затем захватиться на вакансию и снова участвовать в аннигиляции междоузельных атомов кремния.

Очевидно, что более эффективно углерод будет работать в качестве ловушки междоузельных атомов кремния, располагаясь в узлах решетки. Равновесная растворимость углерода по узлам решетки кремния невелика – 2 х 10^{18} $см^{-3}$. Однако в имплантированных слоях при высоких концентрациях избыточных вакансий его растворимость повышается на несколько порядков величины. Термообработку при этом необходимо проводить импульсными методами. Нами установлено, что локализация атомов С по узлам и междоузлиям непосредственно при имплантации зависит от уровня ионизации в слое внедрения и может управляться плотностью тока ионного пучка. При плотности тока ионов сканирующего луча 1-2 мкА.см-2 практически весь внедренный углерод располагается в узлах решетки кремния, и термообрабтка для этого не требуется.

Остаточные примеси, в особенности переходные металлы (Cu, Fe, Au, Ni, Co и др), вносят глубокие уровни в запрещенную зону кремния и являются центрами безызлучательной рекомбинации.

Эффективными геттерами в кремнии являются слои пористого кремния. Они создаются преимущественно на нерабочей стороне пластины путем имплантации ионов H^+ либо He^+ дозами 10^{16} – 10^{17} $см^{-2}$ и последующих термообработок, обеспечивающих образование микрополостей. Затем диффундирующие по кристаллу примеси захватываются на оборванные связи внутренних стенок микрополостей. Примеси в виде металлосилицидов могут также заполнять их внутренний объем.. Для реализации способа необходимо использовать специальное дорогостоящее оборудование для имплантации ионов водорода либо гелия.

Нами предложен [3] метод создания геттера в виде слоя пористого кремния путем имплантации стандартной для микроэлектронного производства примеси. Предлагается использовать имплантацию ионов Sb – штатной легирующей примеси. Предпосылкой для создания геттера в виде слоя пористого кремния является зависимость предела растворимости легирующих примесей от температуры термообработки. Из всех электрически активных примесей в кремнии сурьма обладает самым низким пределом растворимости.

Для формирования геттерного слоя пластины кремния имплантируются ионами Sb^+ дозой $2 \cdot 10^{15}$ $см^{-2}$. Предварительно для создания защитного слоя окисла пластины отжигались при температуре 850 ºС в атмосфере кислорода в течение 15 минут. Затем для электрической активации внедренной примеси проводилась термообработка при температуре 1000˚С в течение 30 минут в атмосфере азота. Степень электрической активации в результате отжига при 1000 ºС составляла 21%. Остальная часть примеси вследствие превышения предела растворимости в кремнии выпадает в виде включений второй фазы. Размеры этих включений составляют 10-20 нм. Встречаются включения размерами 25-30 нм. Образование второй фазы характерно для кремния, сильно легированного сурьмой. При дозе 2.10^{15} $см^{-2}$ и энергии ионов 60 кэВ объемная концентрация сурьмы на полувысоте профиля распределения составляет 3.10^{20} $см^{-3}$, что на порядок превышает предел ее растворимости в кремнии при температуре отжига 1000 ºС.

Пластины со сформированными включениями второй фазы сурьмы отжигались затем в атмосфере азота при температуре 1220 ˚С в течение 4 часов. Электронные микрофотографии слоев кремния, легированных сурьмой и прошедших эту термообработку, демонстрируют мозаичную структуру из светлых областей размером около 20-30 нм, встречаются области размерами 40-50 нм. Образование мозаичной структуры объясняется распадом преципитатов сурьмы при повышении температуры до 1220 º и

диффузией атомов сурьмы в объем кристалла. Выполненные измерения слоевой концентрации носителей заряда показали, что электрическая активация примеси в этих слоях составляет 100%. Распад преципитатов и диффузия из них атомов сурьмы оставляет на их месте микропустоты. Исследования показали высокую эффективность сформированного слоя пористого кремния как геттера. Время жизни неравновесных носителей заряда в кристаллах с созданным геттером в 3-4 раза выше по сравнению с исходными значениями.

1. Челядинский А. Р., Комаров Ф.Ф. Дефектно-примесная инженерия в имплантированном кремнии. УФН. 2003. Т. 173. №8. С. 813.
2. В.И. Плебанович, А.И. Белоус, А.Р. Челядинский, В.Б. Оджаев Создание бездислокационных ионно-легированных слоев кремния. ФТТ, 2008. т.50. в.8. с. 1378-1382.
3. П.К. Садовский, А.Р. Челядинский, В.Б. Оджаев, М.И. Тарасик, А.С. Турцевич, Ю.Б. Васильев. Создание геттера в кремнии путем имплантации ионов сурьмы. ФТТ. 2013. т.55. в.6. 1071-1073.

УДК 621.396:535.8

АПЕРТУРНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ LC-МОДУЛЯТОРА В РЕЖИМЕ ПЛАНАРНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Развин Ю.В., Потачиц В.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе приведены результаты исследования электрооптических параметров световых клапанов жидкокристаллических (LC) модуляторов оптического излучения, работающих в режиме планарного переключения (in plane switching mode – IPS).

Исследования и использование режима планарного переключения связаны прежде всего с развитием технологии TFT-LC дисплеев [1-2]. В этих работах рассмотрены вопросы влияния топологии электродов, характеристик LC на передаточные параметры IPS-дисплеев. В [2] показано, что в таких условиях могут возникать, так называемые, “суперординарные” домены в жидкокристаллическом слое. Формирование таких доменов существенно зависит от угла преднаклона LC-молекул в топологической структуре электродов. Исследование данного режима IPS в модулирующей планарно-интегрированной LC-структуре, как мы ожидаем, позволит не только детально изучить процессы развития возникающих искажений в LC-слое, но и значительно расширить функциональные возможности таких структур.

Рассмотрим следующую модель исследуемого образца LC-модулятора в виде планарной структуры с гомеотропной ориентацией молекул нематического жидкого кристалла (NLC).

Электроды анализируемой структуры направлены вдоль оси x -перпендикулярно плоскости рисунка (рис.1). Анализ проведем для NLC с положительной диэлектрической анизотропией $\Delta\varepsilon > 0$ ($\Delta\varepsilon = \varepsilon_\tau - \varepsilon_n$). Параметры ε_τ и ε_n определяют диэлектрические проницаемости в направлениях параллельном и перпендикулярном направлению преимущественной ориентации жидкокристаллических молекул.

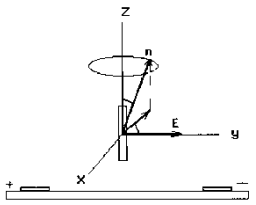


Рисунок 1 – Положение NLC-молекул в световом клапане в режиме IPS- переключения

При приложении к электродам управляющего электрического поля ***E*** межэлектродная область (апертура клапана) разбивается на два эквивалентных домена. Причиной возникновения этих доменов является различный преднаклон LC-молекул на границах клапана. Граничная область между этими доменами представляет собой стенку, определяемую параметрами перехода Фредерикса. NLC- молекулы в этой области сохраняют начальную гомеотропную ориентацию.

Ограничимся случаем малых начальных искажений, когда возникающая деформация директора LC-слоя ***n*** может быть представлена следующим образом:

$$n_x = 0 \qquad n_y = \sin\varphi \approx \varphi \qquad n_z = \cos\varphi \approx 1 .$$

Тогда плотность свободной энергии Франка для такого LC-слоя в одноконстантном приближении записывается в виде:

$$F = k/2[(\mathrm{div}\mathbf{n})^2 + (\mathrm{rot}\mathbf{n})^2], \qquad (1)$$

где k – коэффициент упругости

С учетом рассматриваемой геометрии модели выражение (1) преобразуется в более простую форму:

$$F = \left(\frac{k}{2}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\gamma}\right)^2 . \qquad (2)$$

Поскольку LC-молекулы в пристеночной области подвержены поперечному изгибу, то в межэлектродном промежутке возникает поляризация слоя (флексоэлектрический эффект) [3]. Тогда для рассматриваемого варианта справедливо следующее определение F, учитывающее полное взаимодействие LC с электрическим полем $\boldsymbol{E}$:

$$F = \left(\frac{k}{2}\right)\left(\frac{\partial\varphi}{\partial\gamma}\right)^2 - e_1\varphi\frac{d\varphi}{dy}E - \frac{\Delta\varepsilon}{8\pi}E^2\varphi^2 \quad (3)$$

где e_1- флексоэлектрический коэффициент

Условие равновесия определяется минимумом полной энергии искажений по отношению ко всем вариациям директора LC-слоя. В границах выбранных приближений уравнение (3) после выполнения условий минимизации должно удовлетворять определениям уравнения Эйлера и представляет собой линейное однородное дифференциальное уравнение второго порядка. Решение такого уравнения записывается в виде:

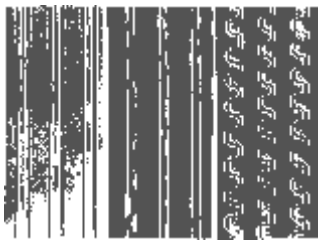
$$\varphi = Ce^{-hy}\sin py \quad (4)$$

Выполненный анализ решения (4) показал, что в зависимости от параметров управляющего поля (амплитуда, частота) происходит смещение стенки, определяемой как граница между возникающими доменами. Например, если с увеличением амплитуды электрического поля $\boldsymbol{E}$ молекулы LC в правой пристеночной области увеличивают угол наклона, то в левой пристеночной области угол наклона уменьшается и стенка сдвигается в левом направлении. При изменении полярности управляющего поля движение стенки меняется на противоположное. При таком движении стенки возникают деформационные неоднородности в ориентации директора LC, приводящие к перераспределению пространственного заряда в доменных областях. Тогда согласно модели Хелфриха [4], учитывающей деформационное перераспределение пространственного заряда в пристеночной области, деформация стенки может носить квазипериодический характер.

Таким образом, начальная неустойчивость в ориентации LC-слоя в конечном итоге приводит для пристеночных молекул к развитию синусоидальных деформаций вдоль оси ox.

Выполненные экспериментальные исследования соответствовали условиям рассматриваемой модели LC-структуры. В экспериментах использовались планарные LC-ячейки (типа “сэндвич”), образованные двумя плоскими подложками, выполненными из прозрачного оптического материала. На одной из подложек формировалась топологическая структура параллельных металлических электродов. Вторая оптическая подложка проводящих покрытий не имела. Рабочие поверхности этих подложек подвергались дополнительной обработке для получения гомеотропной ориентации используемых NLC-сред. Геометрические размеры исследуемых образцов варьировались в следующих пределах: толщина LC-слоя – 5…20 мкм, ширина межэлектродного промежутка – 10…100 мкм, длина электродов – 10…20 мм. Возбуждение LC-слоя в используемых образцах осуществлялось подачей на электроды импульсного напряжения с регулируемыми амплитудно-частотными характеристиками. В данных экспериментах амплитуда управляющих импульсов изменялась в пределах 3…30 В.

Регистрация экспериментальных данных проводилась осциллографическим и микроскопическим (в поляризованном свете) методами.



a b c

Рисунок 2 – Микрофотографии искажений LC-слоя при различных амплитудах управляющих импульсов: 5 В (a), 8 В (b) и 15 В (c)

На рис.2 представлены микрофотографии исследуемых образцов LC-модуляторов с шириной межэлектродного промежутка 10 мкм, иллюстрирующие развитие искажений в модулирующем слое в зависимости от величины управляющего поля. В данном образце управляющие электроды соединены в две группы (четные и нечетные электроды). Микрофотография 2a соответствует пороговым условиям формирования стенки и соответствующих доменов по всей длине межэлектродного промежутка. При увеличении амплитуды управляющего поля наблюдается возникновение периодического смещения стенки (микрофотография 2b). Затем при больших значениях управляющего напряжения (15 В и выше) происходит устойчивая деформация стенки квазипериодического вида. Деформационные искажения резко увеличиваются, что связано с распространением их на всю толщину LC-слоя (микрофотография 2c). Также были проанализированы частотные зависимости наблюдаемых картин в диапазоне изменения частоты управляющих импульсов $10…10^4$ Гц.

Были выполнены эксперименты по исследованию данной структуры в режиме работы дифракционного расщепителя. На рис.3 приведены полученные зависимости эффективности возникаемой дифракционной решетки (с учетом образования стенки) для первых двух порядков дифракции от величины управляющего напряжения. Происходит эффективная перекачка световой энергии между порядками. Также про-

исходит пространственное изменение дифракционной картины и формирование двухмерного дифракционного поля. На основе исследуемых структур был собран по матричной технологии

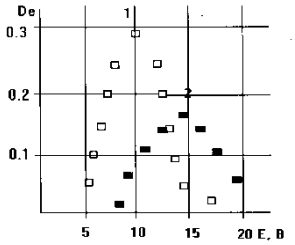


Рисунок 3 – Изменение эффективности первых двух порядков дифракции излучения на исследуемой LC-структуре

пространственный модулятор (16x16). По сравнению с обычными матричными LC-модуляторами наблюдается увеличение пороговых характеристик и уменьшение времени релаксации LC-слоя в исходное состояние.

1. Kiefer, K. In-Plane Switching of nematic liquid crystals //Pros.:Display 92.-Japan.-1992.-P.547-552.
2. Oh-e M. Principles and Characteristics of Electro-optical Behaviour with in-Plane Switching Mode //Pros.:Asia Display 95.-1995.-P.577-581.
3. De Gennes P.G. The physics of liquid crystals.-M.:World, 1977.-167c.
4. Блинов, Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л.М. Блинов -М.: Наука, 1978. – 175 с.

УДК 51-73

РАЗРАБОТКА ДВУХСЕНСОРНОЙ ГАЗОВОЙ МИКРОСИСТЕМЫ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Реутская О.Г.[1], Таратын И.А.[1], Хатько В.В.[2]
[1]ОАО Минский НИИ радиоматериалов, Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Одним из перспективных решений, применяемых для повышения селективности газовых сенсорных систем, является создание матриц из сенсоров (мультисенсорные системы), имеющих различные физические свойства и (или) параметры чувствительного слоя. Изготовление модуля химических сенсоров на одном кремниевом кристалле (Lab-on- a-chip) является одним из перспективных направлений в развитии газовой сенсорики. Целью работы является разработка конструкции и технологии изготовления, а также исследование 2-х сенсорной газовой микросистемы на диэлектрической подложке из пористого анодного оксида алюминия. Ожидается, что мультисенсорная микросистема, выполненная с использованием диэлектрической подложки на основе нанопористого анодного оксида алюминия, устранит все отмеченные недостатки прототипов и повысит чувствительность и селективность микросистемы к детектируемым газам [1].

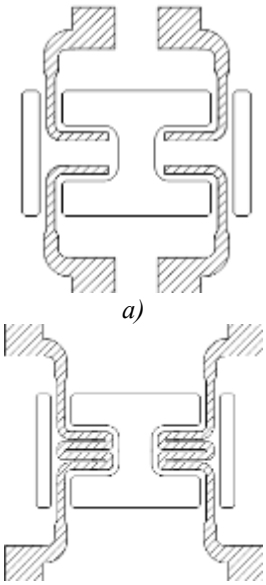
На рис. 1 представлена топология 2-х сенсорной газовой микросистемы. Ее отличие от ранее разработанной 4-х сенсорной микросистемы [2] состоит в размещении платиновых нагревателя и информационных электродов на разных сторонах подложки. Электроды и чувствительный слой на основе SnO_2+1,5%Pt+1,5%Pd на планарной стороне подложки, нагреватель в виде меандра – на обратной. Платиновые электроды для снятия сигнала с полупроводникового чувствительного слоя имеют зазор 90 мкм. Толщина платиновых электродов к чувствительному слою составляет 0,5 мкм. Ширина нагревателя составляет 30 мкм. Кристалл микросистемы, изготовленный на подложке нанопористого анодного оксида алюминия (пористость ~ 15 %), имеет размер - 1,25×1,25 мм и толщину - 60 мкм. Размер площадки под одним чувствительным элементом составляет 275x200 мкм. Размер перфорированных окон - 115x520 мкм. Использование в топологии микросистемы сквозных отверстий, как и использование самой нанопористой диэлектрической подложки, призвано снизить потребляемую мощность газовой микросистемы за счет уменьшения объема контактирующего с нагревателем материала подложки и уменьшения коэффициента теплопроводности алюмооксидной подложки зависящего от ее пористости [3].

При изготовлении 2-х сенсорной микросистемы использовалась, разработанная в ОАО Минский НИИ радиоматериалов инновационная технология микромеханической обработки (micro-machining) нанопористого анодного оксида алюминия, которая раньше была использована при изготовлении 4-х сенсорной микросистемы.

Изготовленные кристаллы микросистемы были разварены в 6-ти выводной металлический корпус, для проведения в дальнейшем электрофизических измерений (рис. 2).

Исследование отклика сенсоров микросистемы на активный газ проводили на экспериментальном стенде, состоящем из измерительной ячейки, системы создания и поддержания заданной газовой среды в ячейке и приборов измерения электрических сигналов. В качестве поверочных газовых смесей (ПГС) использовали

газовые смеси с содержанием CO 0,02%, H_2 0,001% и CH_4 0,94 %. Контроль за ходом эксперимента осуществляли при помощи информации, фиксируемой измерительными приборами, микроконтроллерами потока газа газогенератора, передаваемой на персональный компьютер.

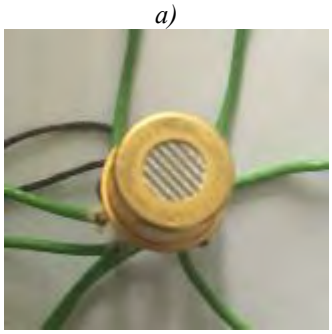


а)

б)

Рисунок 1 – Топология 2-х сенсорной газовой микросистемы со стороны информационных электродов (а) и нагревателя (б).

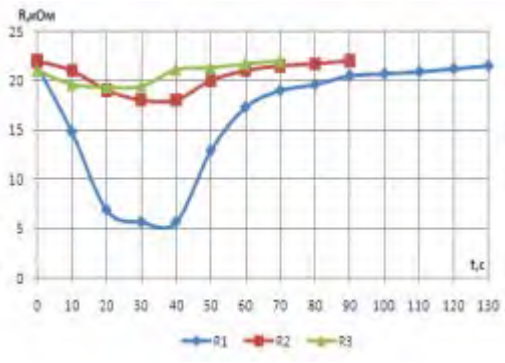
а)



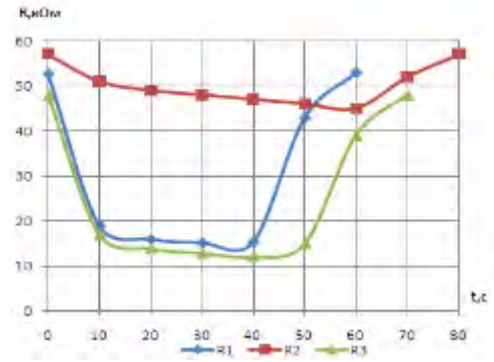
б)

Рисунок 2 – Кристалл 2-х сенсорной газовой микросистемы с нанесенными чувствительными слоями (а) и микросистема разваренная в корпус (б)

Отклик сенсорной структуры к CO, H_2 и CH_4 снимали при потребляемой мощности 38 и 67 мВт. Величину сенсорного отклика определяли как разность между сопротивлением сенсора при воздействии активного газа ($R_Г$) и сопротивлением сенсора в воздухе ($R_В$). Чувствительность сенсора рассчитывалась как процентное отношение $R_Г$ и $R_В$: $S = [(R_В - R_Г)/R_В]\times 100\%$. На рисунке 3 приведен изотермический отклик одного из сенсоров к CO, H_2 и CH_4.



а)



б)

Рисунок 3 – Сенсорный отклик к CO, H_2 и CH_4 для R1, R2 и R3соотвтетственно при мощности а) – 38 мВт, б) – 67 мВт

Из рисунка 3б видно, что при подачи активного газа сенсорный отклик достигает максимальных значений в течении 10-20 с при потребляемой мощности сенсора в 67 мВт. При этом чувствительность сенсора к H_2, CO и CH_4 с указанными выше концентрациями составляет 21,1 %, 71,2 % и 75,0 %, соответственно. Восстановление исходных значений сопротивления сенсора при прекращении подачи активного газа (t = 50 с) происходит за 20 с.

1. Е.А. Белогуров, Я.И. Шукевич, В.В. Баркалин, В.В. Хатько, И.А. Таратын, Конструирование газовых микросистем на основе нанопористого анодного оксида алюминия // Приборы и методы измерений, 2011 г., №2. – С. 59-65.
2. О.Г. Реутская, Е.А. Белогуров, И.А. Таратын, В.В. Хатько. Четырех сенсорная газовая микросистема на подложке из пористого анодного оксида алюминия: конструкция,

технология, моделирование // Приборы и методы измерений, 2013 г., №2 (7). – С. 47-51.
3. В.В. Баркалин, Е.А. Белогуров, И.А. Таратын, В.В. Хатько, Я.И. Шукевич, Конечно-элементное моделирование термомеханических свойств нанопористых материалов // Нано- и микросистемная техника. – 2012. – № 1. – С. 18-24.

УДК 535.36.

ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ВТОРОГО РОДА И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ОПТИКИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Роговцов Н.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При решении разнообразных научно-технических проблем приходится сталкиваться с необходимостью построения корректных алгоритмов расчета различных специальных функций математической физики первого и второго родов. Использование рекуррентных формул для вычисления этих функций без учета общих математических свойств решений разностных уравнений (рекуррентные формулы позволяют находить частные решения таких уравнений при определенных дополнительных условиях) не всегда приводит к приемлемым по точности результатам. Это наиболее характерно для случая специальных функций, соответствующих большим значениям индексов.

Одним из наиболее эффективных методов расчета целого ряда указанных функций является использование теорий разностных уравнений, непрерывных дробей и алгоритма, предложенного в работах [1, 2]. Данный алгоритм позволяет эффективно решать характеристические уравнения теории переноса излучения. Аналитический алгоритм решения таких уравнений для случая фазовой функции, удовлетворяющей условию Гельдера, был рассмотрен в работе [1]. В работе [2] были построены качественная математическая теория и алгоритмы решения данных уравнений для квадратично суммируемых фазовых функций.

Кратко изложим алгоритм отыскания специальных функций второго рода такого вида:

$$\widetilde{Q}_{s,m}(\nu)=\int_{-1}^{1}\frac{P_{s,m}(\mu)}{1-i\nu\mu}d\mu, \qquad (1)$$

$s\in\{0,1,2,...\}=N_0, m\in\{0,...,s\}.$

Здесь i - мнимая единица; $P_{s,m}(\mu)$ - присоединенная функция Лежандра; ν - число, которое не принадлежит подмножеству $[-i\infty,-i]\cup[i,+i\infty]$ замкнутой комплексной плоскости.

Используя (1) и рекуррентные формулы для присоединенных функций Лежандра [3], можно доказать, что последовательность

$$\left\{\widetilde{Q}_{s,m}(\nu)\right\}_{s\in\{m,m+1,...\}},$$

где $m\in N_0$, является решением следующей бесконечной системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} i\nu\widetilde{Q}_{m+1,m}(\nu)=(2m+1)\widetilde{Q}_{m,m}(\nu)-\\ -\int_{-1}^{1}P_{m,m}(\mu)d\mu,\\ 2i\nu\widetilde{Q}_{m+2,m}(\nu)+i\nu(2m+1)\widetilde{Q}_{m,m}(\nu)=\\ =(2m+3)\widetilde{Q}_{m+1,m}(\nu),\\ 3i\nu\widetilde{Q}_{m+3,m}(\nu)+i\nu(2m+2)\widetilde{Q}_{m+1,m}(\nu)=\\ =(2m+5)\widetilde{Q}_{m+2,m}(\nu),\\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\end{cases} \qquad (2)$$

Данная система, когда $\nu\notin[-i\infty,]\cup(i,+i\infty)$, имеет $\forall m\in N_0$ единственное решение в классе последовательностей $\{y_e\}_{l\in N_0}$, удовлетворяющих условию $\sum_{l=0}^{+\infty}(2(m+l)+1)\frac{l!}{(l+2)!}|y_l|^2<+\infty.$

Именно в этом классе и будет далее выписано строгое аналитическое решение бесконечной системы линейных алгебраических уравнений (2).

На основе подхода, развитого в работах [1,2], и использования свойств инвариантности формы систем типа (2) [4] можно показать, что единственное решение системы (2) в указанном выше классе имеет такой вид:

$$\widetilde{Q}_{m+l,m}(\nu)=\left((2m+1)!!\,\wp_0(\nu^2;m;0)\right)^{-1}\cdot \cdot\frac{(2m)!!\,m!!}{2^{m-1}m!(m+1)!!}\xi_m\Psi_l(\nu;m;0);m,l\in N_0. \qquad (3)$$

В (3) величины имеют следующий смысл: $\xi_m=1,$ когда $m\in\{0,2,4,6,...\},$ и $\xi_m=\left(\frac{\pi}{2}\right),$ если

$m \in \{1,3,5,7,...,\}; \wp_l\left(\nu^2;m;0\right) =$

$= \left[1; \frac{q_l(m)\nu^2}{1}, \frac{q_{l+1}(m)\nu^2}{1}, ...\right]$ -

бесконечная непрерывная дробь, в которой

$\forall l, m \in N_0$

$q_l(m) = (l+1)(l+1+2m) \cdot$

$\cdot \left[(2(l+m)+1)(2(l+m)+3)\right]^{-1};$

$\Psi_0(\nu;m;0) = 1,$

$\Psi_l\left(\nu^2;m;0\right) = (i\nu)^l \cdot$

$\cdot \prod_{r=1}^{l} (r+2m)\left((2(r+m)+1)\wp_r\left(\nu^2;m;0\right)\right)^{-1}.$

Для вычисления функций $\widetilde{Q}_{m+l,m}(\nu_l)$ на основе использования формулы (3) надо предложить эффективный алгоритм отыскания величин $\wp_l\left(\nu^2;m;0\right)$.

Вычисление бесконечных непрерывных дробей $\wp_l\left(\nu^2;m;0\right)$ для любых $l, m \in N_0$ можно осуществить с помощью следующей двучленной рекуррентной формулы

$$\wp_l\left(\nu^2;m;0\right) = 1 + \frac{q_l(m)\nu^2}{\wp_{l+1}\left(\nu^2;m;0\right)}. \qquad (4)$$

При этом при использовании этой формулы полезно учесть, что

$$\lim_{l\to+\infty} \wp_{l+1}\left(\nu^2;m;0\right) = 1 + \frac{4^{-1}\nu^2}{1 + \frac{4^{-1}\nu^2}{1+...}}. \qquad (5)$$

Бесконечная непрерывная дробь, стоящая в правой части (5), может быть вычислена точно.

Следуя классической работе Л. Эйлера [5], можно доказать, что эта бесконечная дробь равна по величине

$$2^{-1}\left(1+\sqrt{1+\nu^2}\right).$$

В ней следует выбирать ту ветвь квадратного корня, для которой он для $\nu \in (-\infty,+\infty)$ принимает неотрицательные значения.

Так как реальные вычисления можно проводить только для конечных значений индекса l, то в выражении (4) для достаточно больших l следует заменить дробь $\wp_{l+1}\left(\nu^2;m;0\right)$ на величину $2^{-1}\left(1+\sqrt{1+\nu^2}\right)$, а затем находить значения бесконечных непрерывных дробей $\wp_l\left(\nu^2;m;0\right)... \wp_0\left(\nu^2;m;0\right)$ с помощью рекуррентной формулы (4).

Такой метод вычисления этих непрерывных дробей является устойчивым и эффективным для любых $\nu \notin [-i\infty,-i] \cup [i,+i\infty]$.

Данный кратко описанный алгоритм отыскания функций второго рода может быть использован также и при решении целого ряда проблем оптики дисперсных сред и астрофизики. В частности, этот алгоритм естественным образом встраивается в качестве составной части и в ряд методов, позволяющих находить плоское и сферическое альбедо планетных атмосфер.

Кроме этого описанный в данной работе алгоритм дает возможность корректно находить асимптотические решения краевых задач для уравнения переноса излучения для конечных и полубесконечных плоскопараллельных дисперсных сред для тех случаев, когда эти среды являются консервативно или почти консервативно рассеивающими.

Такого рода ситуации реализуются, например, при построении моделей для исследования видимого и коротковолнового участков спектра излучения в атмосферах Земли и планет-гигантов.

В заключение отметим, что предложенный выше алгоритм допускает конструктивные обобщения, позволяющие эффективно рассчитывать и другие специальные функции второго рода, широко используемые при решении целого ряда научно-технических проблем.

1. Роговцов Н.Н.: О решении характеристического уравнения теории переноса излучения в замкнутой форме. В сборнике «Краевые задачи, специальные функции и дробное исчисление» (под ред. А.А. Килбаса), Минск, Беларусь: МО РБ, БГУ. 1996. С. 305 – 312.
2. Rogovtsov N.N., Borovik F.N.: The characteristic equations of radiative transfer theory, in Light Scattering Reviews, vol.4 (Ed. by A.A. Kokhanovsky), Chichester, UK: Springer-Praxis. 2009. P. 347 – 429.
3. Никифоров, А.Ф., Уваров, В.Б.: Основы теории специальных функций. Москва, СССР: Наука. 1974.
4. Роговцов, Н.Н.: К решению задачи Коши для бесконечных систем дифференциальных уравнений, описывающих процесс многофотонного бесстолкновительного возбуждения молекул, Дифференциальные уравнения, 1990, **26**, № 4, с. 600 - 607.
5. Eulero, L.: De fractionibus continuis observations, Comment. Acad. Sc. Petrop., 11 (1739), 32. 1750

УДК 621.373.826

РАЗРАБОТКА ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА, ИЗЛУЧАЮЩЕГО В ОБЛАСТИ ДЛИН ВОЛН ОКОЛО 1 МКМ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСА МЕНЕЕ 100 ФС

Руденков А.С., Кисель В.Э., Демеш М.П., Гусакова Н. В., Ивашко А.М., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В.

Центр оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Режим синхронизации мод позволяет получать импульсы лазерного излучения предельно малой длительности и, соответственно, высокой пиковой мощности.

В данной статье представлены результаты разработки фемтосекундного Yb^{3+}:$KY(WO_4)_2$ работающего лазера в режиме пассивной синхронизации мод с длительностью импульса менее 100 фс.

Экспериментальная установка.

Схема экспериментального Yb^{3+}:KYW лазера с диодной накачкой представлена на рисунке 1.

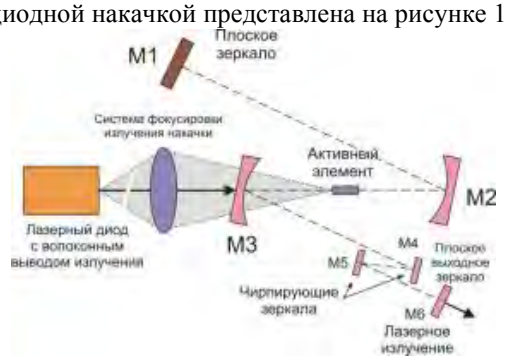


Рисунок 1– Схема фемтосекундного Yb:KYW лазера с диодной накачкой

В качестве активной среды был использован кристалл калий-иттриевого вольфрамата, легированный ионами трехвалентного иттербия Yb^{3+}(5ат.%):$KY(WO_4)_2$, толщиной 2 мм, установленный под углом Брюстера.

Активный элемент был помещен в резонатор, состоящий из плоского зеркала (M1), двух вогнутых зеркал (M2, M3), двух плоских чирпирующих зеркал (M4, M5) и плоского выходного зеркала (M6).

Накачка лазера осуществлялась лазерным диодом с волоконным выводом излучения, мощностью 12 Вт. Центральная длина волны излучения накачки 976 нм. Диаметр волокна 105 мкм, числовая апертура NA = 0.22.

Охлаждение активного элемента производилось термоэлектрическим контроллером с элементами Пельтье, с последующим воздушным охлаждением. Температура активной среды поддерживалась на уровне 20 °C.

Характеристики пассивного затвора

В ходе эксперимента исследовался режим пассивной синхронизации мод при помощи пассивного затвора (SESAM).

На рисунке 2 представлена спектральная зависимость коэффициента отражения затвора.

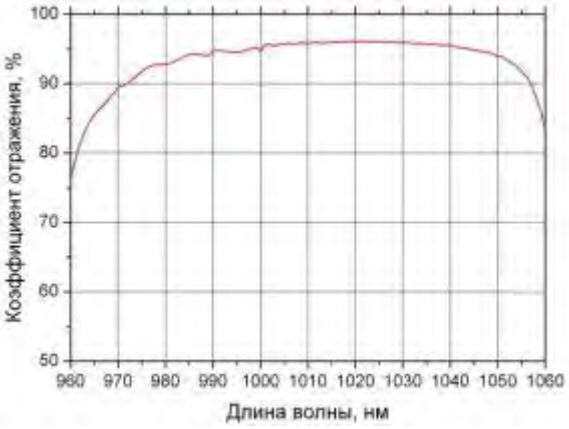


Рисунок 2 – Спектр отражения пассивного затвора

Из приведенного спектра отражения видно, что исследуемый пассивный затвор имеет высокий (около 95 %) коэффициент отражения в диапазоне около 980 нм – 1050 нм.

На рисунке 3 показана кривая релаксации использованного пассивного затвора.

Используемый пассивный затвор имеет глубину модуляции не более 4%, быструю компоненту релаксации τ_1 около 1,2 пс, медленную компоненту релаксации τ_2 около 3,2 пс.

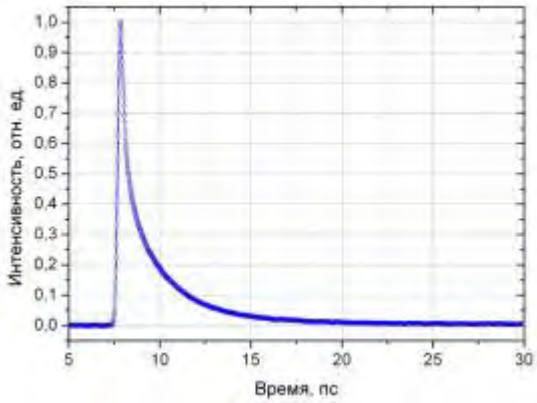


Рисунок 3 – Кинетика релаксации пассивного затвора

Описание полученных результатов

В ходе эксперимента был получен режим пассивной синхронизации мод с использованием выходных зеркал с различными коэффициентами пропускания в диапазоне от 3,5 % до 17 %. На рисунке 4 показана зависимость средней выход-

ной мощности лазера, работающего в режиме синхронизации мод, от мощности накачки для различных коэффициентов пропускания выходного зеркала.

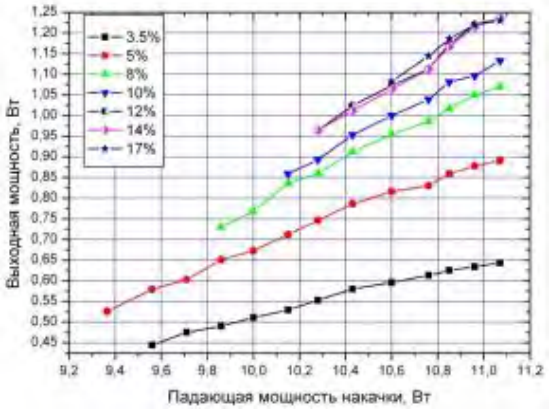


Рисунок 4 – Зависимости выходной мощности лазера от мощности накачки для различных выходных зеркал

Как видно из рисунка 4 максимальная средняя выходная мощность лазера в режиме пассивной синхронизации мод наблюдалась при использовании выходного зеркала с коэффициентом пропускания 17 %. Следует отметить, что лазер с выходным зеркалом 3,5 % имел низкий порог синхронизации мод на уровне 9,5 Вт, но максимальная мощность составила 0,65 Вт.

На рисунке 5 показаны зависимости спектральной полуширины импульса от мощности накачки.

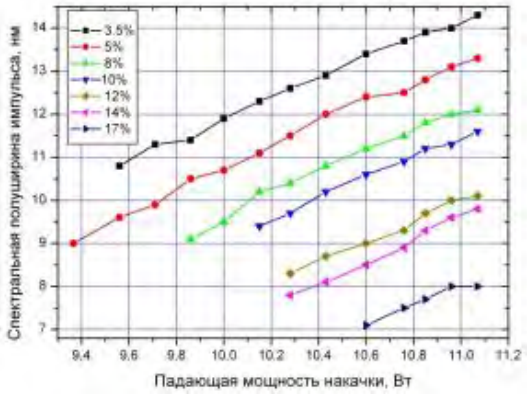


Рисунок 5 – Зависимости спектральной полуширины импульса от мощности накачки

Как видно из рисунка 5 наибольшая спектральная полуширина импульса наблюдалась для лазера с выходным зеркалом 3,5 %. На рисунке 6 показан спектр импульса для лазера с выходным зеркалом 3,5 %. Спектральная полуширина составила 14,1 нм, центральная длина волны 1039.6 нм.

Наилучший результат был получен в эксперименте с выходным зеркалом 3,5%. Длительность импульса соответствующая полученной спектральной полуширине составила 90 фс, на рисунке 7 показана автокорреляционная функция лазерного импульса.

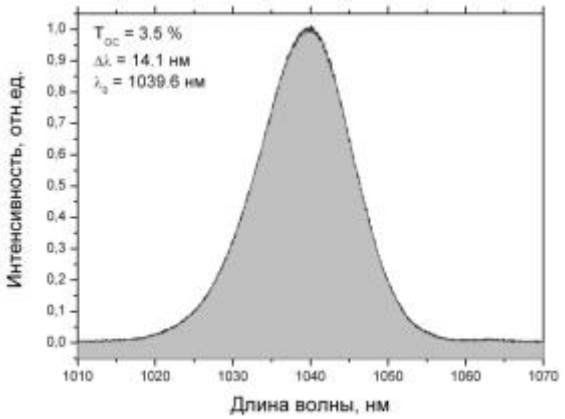


Рисунок 6 – Спектр лазерного импульса

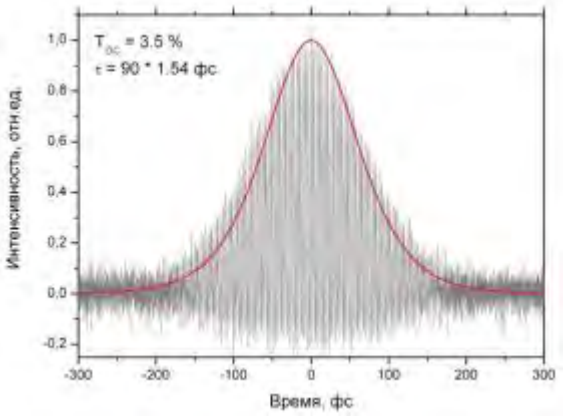


Рисунок 7 – Автокорреляционная функция лазерного импульса

Анализируя полученные данные можно сделать заключение о том, что увеличение пропускания выходного зеркала приводит к увеличению выходной мощности фемтосекундного лазера, но уменьшает спектральную полуширину импульса, что в свою очередь приводит к увеличению длительности последнего.

В дальнейшем планируется оптимизировать параметры лазера для получения более высокой средней мощности излучения и более короткой длительности фемтосекундных импульсов.

УДК 621.7-5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ АКТИВНЫМИ СРЕДАМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ

Рябцева А.Н.[1], Фёдорцев Р.В.[2], Сагаймаруф Г.[2]
[1] НТЦ «ЛЭМТ», Минск, Республика Беларусь
[2] Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

За последние 40 лет лазерные технологические устройства стали дешевле, проще в обслуживании, более компактными, мобильными и доступными. Разработаны сравнительно недорогие и простые системы управления лазерным лучом. Сформировалось четвёртое поколение лазерных источников – волоконные лазеры, которые на порядок опережают предыдущие поколения по технологическим возможностям и качественным показателям. Развитие вычислительной техники позволило создать автоматизированные и роботизированные комплексы для лазерной обработки. Совокупность указанных обстоятельств позволила успешно реализовать на практике физических принципы лазерной очистки и обеспечила развитие указанной технологии.

Как известно, основными свойствами лазерного луча являются монохроматичность, когерентность, малая расходимость и высокая плотность энергии. Эти параметры напрямую определяют характеристики его промышленного использования в качестве технологического инструмента при обработке различных материалов.

Протекающие в зоне обработки физические процессы находятся в прямой зависимости от плотности мощности лазерного излучения которая, как правило, имеет пороговый характер. Вторым существенным аспектом взаимодействия лазерного излучения с веществом, зависящим от его физико-механических и химических свойств, является поверхностный характер поглощения излучения. Это явление приводит к очень высокому значению поглощаемой мощности на единицу объёма вещества и, соответственно, к высоким значениям его параметров, таких, как температура, давление, локальная скорость [1].

В обрабатывающей промышленности наибольшее распространение получили три вида лазеров для очистки поверхностей: CO_2-лазеры, Nd:YAG-лазеры и волоконные лазеры. Особенности строения и принцип действия определённого вида лазера, позволяют выбрать наиболее оптимальный вариант для его применения в каждом конкретном технологическом процессе.

В CO_2-лазере в качестве рабочего тела используется газовая смесь на основе углекислого газа. Длина волны излучения такого лазера – 10,4 мкм, режим работы – непрерывный либо импульсный с модуляцией током накачки. Маломощные (менее 500 Вт) CO_2-лазеры используются для обработки органических материалов, мощные (0,5 – 20 кВт и выше) – для обработки металлов. Недостатком мощных газовых лазеров является необходимость использования расходных материалов, большие габаритные размеры излучателя, необходимость располагать излучатель рядом с зоной обработки, сложная система охлаждения, при этом достоинством является относительно низкая стоимость.

В Nd:YAG–лазерах в качестве рабочего тела используется алюмоиттриевый гранат, активированный неодимом. Длина волны излучения составляет 1,064 мкм, режим работы непрерывный, импульсный, импульсно-периодический, квазинепрерывный. Мощность варьируется от 1 Вт до 5 кВт. Основная область применения – медицина, приборостроение (лазерные дальномеры), а также применяются для обработки определенных видов материалов. Недостатком Nd:YAG–лазеров является наличие тепловой линзы, что приводит к изменению параметров пучка в зависимости от мощности, необходимость постоянной юстировки, наличие расходных материалов. Однако их достоинством является возможность выдавать короткие мощные импульсы, что делает эти лазеры незаменимыми для лазерной ковки, очистки и др.

В волоконном лазере в качестве рабочего тела используется кварцевое волокно, легированное ионами редкоземельных металлов, например, иттербия. Длина волны излучения – 1,06 – 1,09 мкм. Мощность от милливатт до 20 кВт. Чаще всего применяются для обработки металлов и большинства пластмасс. Недостатком волоконных лазеров является принципиальная невозможность получить высокую (более 20 кВт) пиковую мощность излучения. Следовательно, все применения, требующие короткого мощного импульса, для волоконных лазеров закрыты. Достоинством же волоконных лазеров является высокий ресурс, технологичность, отсутствие расходных материалов, компактность, возможность передавать излучение по волокну, располагая излучатель вдали от зоны обработки.

Основными направлениями применения лазерной очистки в машино- и приборостроении являются:

- очистка корпусов, рам, каркасов, и пр. от ржавчины, а также их термообработка (нормализация и упрочнение);
- очистка лопаток газотурбинных двигателей от окисных плёнок;

- очистка фильтров и сеток от остатков СОЖ и масляных пятен;
- очистка ТВЭЛов АЭС, деталей атомных подводных лодок и кораблей от радионуклидов, оксидов металлов и кальция;
- очистка железнодорожных вагонов и цистерн от грунтовки, краски, масла и нефтепродуктов;
- зачистка сварных швов от остатков окалины перед покраской;
- очистка пресс-форм штампов от неорганических загрязнений (металлическая пыль, аэрозоли и т.д.);
- очистка поверхностей печатных плат от лака, припоя, пыли и других примесей [2].

Разнородность обрабатываемых материалов и большое количество типов удаляемых загрязнений требует применения лазеров с различной длиной волны и мощностью. В частности для очистки металлов применяют инфракрасные импульсные волоконные лазеры. При технологической очистке металлов помимо качества получаемой поверхности требуется также и производительность процесса обработки. Наилучшим образом эту задачу решают импульсные волоконные лазеры высокой мощности, однако побочным их действием является повреждения основного материала изделия. В ряде случаев могут быть использованы и твердотельные лазеры с коротким импульсом. При лазерной дезактивации радиационно-загрязнённых поверхностей применяются твердотельные лазеры с коротким импульсом. В определённых случаях могут применяться волоконные лазеры.

Основная проблема лазерной очистки – сравнительно высокая цена оборудования и необходимость конкурировать с малозатратными видами очистки, такими, как ручная или пескоструйная обработка. Также существенной проблемой является отсутствие автоматизированного контроля процесса очистки. В ряде случаев из-за образования взвешенного облака отработанных газов невозможен визуальный контроль.

Работы в области создания систем автоматизированного контроля технологического процесса предполагают совмещение технологии лазерной очистки со спектроскопией лазерной искры в режиме реального времени – LIBS.

В процессе осуществления технологии лазерной обработки в автоматизированном режиме практически всегда требуется обеспечить перемещение точки (линии) воздействия лазерного луча относительно обрабатываемой поверхности материала. На сегодняшний день известны три способа перемещения: сканирующие системы, плоттерные системы (координатные столы) или многокоординатные роботы.

В промышленных установках, построенных на базе CO2-лазеров, применяются преимущественно сканирующие системы, состоящие из двух зеркал поворачивающихся вокруг перпендикулярных друг другу осей посредствам гальваноприводов.

В стационарных волоконных лазерных установках преимущественно применяются плоттерные системы (координатные столы). Функционально такая система состоит из станины, направляющих, двигателей и собственно фокусирующей головки. Доставка лазерного излучения до фокусирующей головки осуществляется посредством оптического волокна. Также распространена схема «неподвижный луч – движущаяся заготовка», в которой вышеописанная система двухкоординатного движения перемещает обрабатываемое изделие.

Второй вариант устройства автоматического перемещения лазерного излучения относительно обрабатываемой поверхности это роботизированные системы на базе манипуляторов, которые представляют собой механическую руку с 5 – 7 степенями свободы.

В качестве подвижных портативных систем очистки, как правило, используют малогабаритные ранцевые волоконные лазеры. Управление и контроль перемещением фокусирующего луча в данном случае осуществляет сам оператор.

Рисунок 1 – Вариант конструкции ручного блока ранцевого волоконного лазера

Таким образом, для выбора типа системы управления лазерным лучом при решении определённой технологической задачи необходимо учитывать следующие параметры: размер поля обработки; размерность траекторий; мощность лазерного излучения; требуемую скорость перемещения луча. В ряде случаев возможно использование гибридной системы управления лучом – например, робот со сканером для лазерной очистки.

1. Современные лазерные технологии – статьи и описания. ООО "Фламма", 2008-2013. СПб.: http://www.flamma.spb.ru/Articles.aspx.
2. Вейко, В.П. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. Учебное пособие / В.П. Вейко, В.Н. Смирнов, А.М. Чирков, Е.А. Шахно – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.

УДК 616.1; 615.4

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ ПРОВОЛОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ ЗАГОТОВОК

Савченко А.Л., Минченя В.Т., Минченя Н.Т.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В сердечно-сосудистой хирургии используются различные изделия, изготавливаемые из материала с эффектом формы памяти, в основном, из нитиноловой проволоки или трубок. Для организации производства таких изделий необходима классификация изделий. Авторами предлагается возможный вариант такой классификации.

Ниже перечислены основные виды изделий.

Стент – специальная, изготовленная в форме цилиндрического каркаса упругая металлическая или пластиковая конструкция, которая помещается в просвет полых органов и обеспечивает расширение участка, суженного патологическим процессом.

Стент обеспечивает проходимость физиологических жидкостей, расширяя просвет полого органа (артерии, пищевода, кишечника, желчевыводящих путей и мочеточника).

Стентграфт – система внутрисосудистого эндопротеза, включающая протез сосуда (графт) и закрепленный в нем пружинный каркас (стент) Используется при лечении аневризм аорты.

Стент клапан-содержащий – система внутрисосудистого эндопротеза, включающая сердечный клапан и упругий каркас (стент) для установки клапана в сосуд.

Фильтр-ловушка (*cava*-фильтр) – проволочная конструкция, устанавливаемая в просвет кровеносного сосуда (вены) и предназначенная для улавливания сгустков крови

Окклюдер – проволочная конструкция, предназначенная для перекрытия окон в кровеносных сосудах или сердце.

Скобы, клипсы, крючки – проволочные элементы для соединения или зажима тканей.

Для классификации рассматриваемых изделий целесообразно выбрать следующие критерии:

1) функциональное назначение (см. выше).

2) технология получения. В данном случае имеется в виду способ окончательного формообразования – гибка, плетение, резка из трубки и сборка из элементов, полученных ранее перечисленными методами.

3) особенности геометрической формы. Данный критерий является индивидуальным для каждой группы элементов, сформированной по двум предыдущим критериям.

4) особенности механических характеристик. Данный критерий также является индивидуальным для каждой группы элементов, сформированной по двум предыдущим критериям.

Исходя из первых двух критериев, являющихся основными, сформируем главные классификационные группы, перечисленные в таблице 1.

Таблица 1 – Основные классификационные группы

Классы / Подклассы	1. Стенты	2. Стент-графты	3. Стенты клапан-содержащие	4. Фильтры-ловушки	5. Окклюдеры	6. Клипсы	7. Скобы, крючки и т.д.
1. Проволочные	11	21	31		51	61	71
2. Плетеные	12	22	32		52	–	–
3. Тубулярные	13	23	33	43		63	–
4. Сборные	14	24	34	44	54		
5. Составные	–	25	–	–	–	–	–

Классификационная группа состоит из двух цифр: класс по назначению и подкласс по технологии получения. В графах таблицы приведены существующие на настоящий момент классы и подклассы изделий. Если графа не заполнена, это значит, что существование такой классификационной группы невозможно, нецелесообразно или пока не существует. Невозможные и нецелесообразные группы отмечены прочерками, в настоящее время не существующие – серым цветом. Под проволочными изделиями понимаются изготовленные из цельной проволоки гибкой. Плетеные изготавливают из проволоки плетением на специальных вязальных машинах. Тубулярные режутся из нитиноловой трубки лазером. Сборные получают соединением отдельных элемен-

тов.

Особый подкласс представляют составные изделия, в которых металлические элементы не соединяются друг с другом. В настоящее время среди изделий такого типа имеются только стентграфты, в которых металлические элементы каркаса удерживаются друг относительно друга только креплением к тканевой оболочке (графту). В дальнейшем возможно будет целесообразным объединение этого подкласса с другими подклассами.

Описание классификационных групп

Группа 11 – проволочные стенты.

Цилиндрические конструкции, полученные из непрерывного отрезка проволоки гибкой с использованием специальных приспособлений.

Группа 12 – плетеные стенты.

Достаточно распространенный вид стентов, благодаря возможности изготовления с высокой производительностью на специальных вязальных машинах, похожих по конструкции на машины для вязания трикотажа.

Группа 13 – тубулярные стенты.

Их изготавливают лазерной резкой из нитиноловых или стальных нержавеющих трубок на специальных станках.

Группа 14 – сборные стенты

Для получения стента отдельные элементы соединяют лазерной и точечной контактной сваркой.

Группа 21 – проволочные стентграфты

Технически изготовление таких изделий вполне возможно, но с учетом размеров и формы, удобной для пришивания оболочки более популярными решениями являются другие классификационные группы.

Группа 22 – плетеные стентграфты

Каркас изготавливается по той же технологии, что и плетеный стент.

Группа 23 – тубулярные стентграфты

Каркас стентграфта получают резкой из нитиноловой трубки, затем термообрабатывают с одновременным формообразованием.

Группа 24 – сборные стентграфты.

Группа имеет большое количество разновидностей, так как каркас, благодаря достаточно крупным размерам, может собираться как из проволочных, так и тубулярных элементов и соединяться различными способами – сваркой, отрезками металлических трубок и т. д.

Группа 25 – составные стентграфты

Каркас состоит из отдельных элементов, чаще всего проволочных, по отдельности пришитых к тканевой оболочке.

Группа 31 – стенты клапан-содержащие проволочные

Группа 32 – стенты клапан-содержащие плетеные

Группа 33 – стенты клапан-содержащие тубулярные

Группа 34 – стенты клапан-содержащие сборные

Группы рассматриваются одновременно, так как по конструкции металлического каркаса мало чем отличаются от аналогичных групп в классах 1 и 2. Наиболее популярной является группа 33.

Группа 41 – фильтры-ловушки проволочные

Группа 42 – фильтры-ловушки плетеные

Фильтры ловушки должны иметь в конструкции зацепы для фиксации в сосуде, поэтому их получение из цельного куска проволоки гибкой или плетением затруднительно.

Группа 43 – фильтры-ловушки тубулярные

Их вырезают целиком из нитиноловой трубки и раскрывают на манер китайского фонарика. Полученную форму фиксируют в печи.

Группа 44 – фильтры-ловушки сборные

Имеют достаточно много разновидностей, при этом у них вполне однотипная конфигурация – расходящийся пучок проволочек.

Группа 51 – окклюдеры проволочные

Здесь можно выделить две разновидности: окклюдеры с регулярной и нерегулярной структурой.

Первые имеют вид лепестковой конструкции, изогнутой из цельного отрезка проволоки. Вторая разновидность предназначена для заполнения каверн сосудов и имеет предварительно запомненную форму комка проволоки, которую приобретает при нагреве до температуры тела. К месту доставляется в выпрямленном виде.

Группа 52 – окклюдеры плетеные

Самая распространенная разновидность. Имеют форму сетки, которая в расправленном виде состоит из двух дисков, соединенных перемычкой.

Группа 54 – окклюдеры сборные

Собираются из проволочных и тубулярных элементов, также могут включать тканевые, сеточные, дисковые и другие элементы.

Группа 61 – клипсы пружинные

Разнообразные проволочные упругие зажимы, обычно достаточно простой формы.

Группа 63 – клипсы тубулярные

Получаются продольной разрезкой трубчатой заготовки.

Группа 71 – элементы проволочные

Разнообразные элементы максимально простой формы – скобы, крючки и т. п.

В ряде классификационных групп выделяются подгруппы в зависимости от конструктивных особенностей.

УДК 538.2; 620.179.14

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЙ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сандомирский С.Г.
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Важным разделом магнитной структуроскопии является разработка средств магнитного контроля структуры изделий массового производства. Их особенностью является бесконтактное намагничивание изделий в движении и бесконтактное измерение магнитного состояния изделий. Для контроля изделий из среднеуглеродистых сталей, используемых в машиностроении, надо дозировано размагнитить изделия после намагничивания. Поля заданной напряженности должны быть локализованы в ограниченных пространствах на пути движения изделий.

В докладе проанализированы намагничивающие преобразователи средств магнитного контроля изделий массового производства. Их действие основано на создании на пути движения изделий компактных областей с магнитным полем заданной напряженности. При этом используют эффекты одинаковой скорости уменьшения магнитного поля на оси катушек, имеющих разные внутренний и внешний диаметры, на разных расстояниях от их торцов, создания однородных поля и градиента поля катушками Гельмгольца и резкого уменьшения поля за пределами «безмоментных» катушек [1].

В результате анализа выявлены основные недостатки намагничивающих систем: относительно невысокая напряженность намагничивающего поля и не достаточная его локализация на пути движения изделий. Недостатки уменьшены в разработанной намагничивающей системе (рисунок) [2].

Система включает катушку 2 в форме соленоида, намотанного на немагнитном каркасе 1. Обмотка катушки длиной L внутренним и наружным диаметрами $2a$ и $2в$, помещена в кожух 3 из магнитомягкого материала, прилегающий к наружной поверхности обмотки. Толщина δ кожуха составляет 3 – 10 % толщины ($в - a$) обмотки.

Принцип действия намагничивающей системы заключается в использовании внешнего поля катушки с током для намагничивания кожуха заданной толщины. Внутренний диаметр $2a$ обмотки определяется поперечным размером контролируемых изделий и толщиной немагнитного каркаса. Наружный диаметр $2в$ и длину L обмотки устанавливают с учетом допустимой средней температуры $T_П$ ее перегрева и допустимого веса [3]. Из тех же условий устанавливают предельно допустимую плотность j тока в проводе обмотки. Установленные размеры обмотки и плотность j тока в ее проводе обеспечивают достижение максимально возможной напряженности H_0 поля в центре цилиндрической полости диаметром $2a$ при заданном весе обмотки и ее работе в условиях естественного охлаждения ее поверхности окружающим воздухом при допустимой $T_П$. Одновременно внешнее поле обмотки намагничивает кожух, представляющий во внешнем поле обмотки полузамкнутую магнитную цепь. Направление магнитного поля кожуха во внутренней рабочей области намагничивающей системы совпадает с направлением намагничивающего поля H_0 обмотки и усиливает его. В окружающем пространстве поле кожуха противоположно направлению поля обмотки и частично компенсирует его. Благодаря плотному прилеганию кожуха к наружной поверхности обмотки и высокой теплопроводности его материала (стали) условия отвода тепла от обмотки не изменяются и температура ее перегрева при использовании кожуха не повышается. Плотное прилегание кожуха к поверхности катушки обеспечивает предельно возможное усиление намагничивающего поля в рабочей области внутри катушки и ослабление поля катушки за ее пределами.

Материал кожуха при работе системы не должен находился в магнитном насыщении. Для этого кожух изготовлен из магнитомягкого материала толщиной δ, составляющей 3 – 10 % толщины ($в - a$) обмотки. Определение толщины δ кожуха в конкретных вариантах выполнения намагничивающей системы осуществляется экспериментально либо расчетным путем. Определяют внешнее поле H_B обмотки в середине ее наружной боковой поверхности при плотности j тока в проводе катушки, обеспечивающей поле H_0 в центре катушки (для реальных намагничивающих катушек величина H_B составляет 10 – 25% от H_0). По значению H_B и намагниченности технического насыщения M_S материала кожуха (для электротехнического железа $M_S \approx 1700$ кА/м) определяют необходимую величину центрального коэффициента N размагничивания кожуха 3:

$$N \approx H_B / 0{,}9 M_s \ . \qquad (1)$$

По значению N рассчитывают минимальную толщину δ кожуха 3:

$$\delta \approx вN / 2\text{Э}(\lambda) k(\lambda), \qquad (2)$$

где $Э(\lambda)=\frac{1}{\lambda^2-1}\left[\frac{\lambda}{\sqrt{\lambda^2-1}}\ln\left(\lambda+\sqrt{\lambda^2-1}\right)-1\right]$ для $\lambda>1$, $k(\lambda)=\frac{1+2.35\ln(1+0{,}137\lambda)}{1+2.28\ln(1+0{,}284\lambda)}$,

$\lambda=[L+2(в-a)]/2в$.

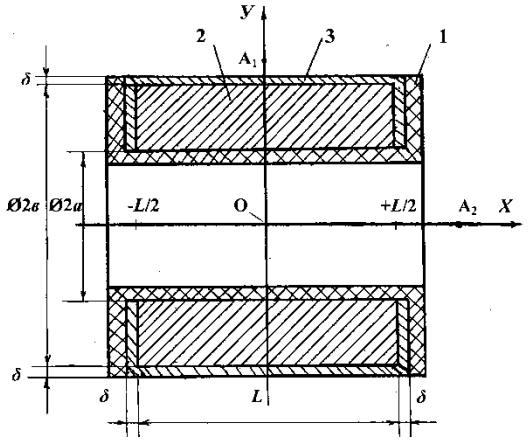


Рисунок 1– Сечение намагничивающей системы

Формула (2) получена на основе конфигурации кожуха (рисунок) и рекомендаций по расчету размагничивающего фактора полых цилиндров [4].

При рассчитанной толщине δ кожуха его материал при работе катушки в штатном режиме не находится в магнитном насыщении. Для реальных катушек и материалов кожуха величина δ составляет 3 – 10 % от толщины обмотки. Уменьшение δ ниже определенной по формуле (2) приведет к насыщению материала кожуха. Это вызовет уменьшение магнитного поля в рабочей области системы и снизит компенсацию поля системы в окружающем ее пространстве. Увеличение δ сверх определенной величины не приведет к увеличению поля в рабочей области системы и не повысит степень компенсации поля катушки в окружающем ее пространстве, но увеличит вес намагничивающей системы.

Преимущества намагничивающей системы показаны на примере катушки, имеющей параметры обмотки: a = 24 мм, $в$ = 80 мм, L = 80 мм, намотанной проводом ПЭВ-2 диаметром 1,5 мм с коэффициентом заполнения $f \approx 0{,}815$ на немагнитном дюралюминиевом каркасе толщиной 5 мм. При токе в проводе 3А ($j \approx 1{,}7$ А/мм^2) $T_n \approx 85$ºС, а напряженность поля в ее центре $H_0 \approx$ 48,5 кА/м. Поле H_B обмотки в середине ее наружной боковой поверхности $H_B \approx 0{,}18 \cdot H_0 \approx 8{,}7$ кА/м. Для центрального коэффициента N размагничивания и толщины δ кожуха из электротехнического железа получим по формулам (1) и (2): $N \approx 0{,}0057$; $\delta \approx 1{,}62$ мм. (не меньше). Результаты измерений показали, что при кожухе из 5 слоев электротехнического железа толщиной 0,5 мм увеличение напряженности H_0 поля в центре катушки составило 22%. Во всем диапазоне изменения тока от 0 до 3 А линейное изменение поля H_0 было линейным. При этом общий вес намагничивающей системы, увеличился на 15 % (при таком увеличении напряженности H_0 поля катушки путем увеличения количества провода вес катушки увеличился бы более, чем в 2 раза). Кроме того, произошло ослабление поля катушки в окружающем ее пространстве. Например, в точке A_1 (рисунок), расположенной на боковой поверхности катушки – в 15 раз, а в точке A_2, расположенной на оси катушки на расстоянии 10 см от ее торца – в 2 раза. Это снизило влияние поля катушки на измерительные преобразователи.

Таким образом, разработанная намагничивающая система обеспечивает существенное повышение напряженности намагничивающего поля в рабочей области намагничивающей катушки и его снижение в окружающем катушку пространстве без увеличения средней температуры перегрева катушки и не значительном увеличении ее веса. Это повышает потребительские свойства катушки – намагничивание движущихся сквозь нее изделий в поле большей напряженности без роста потребляемой мощности и размеров. Ее влияние на расположенные снаружи измерительные преобразователи снижено.

1. Сандомирский, С.Г. Современные возможности магнитного контроля структуры изделий (обзор) // В мире неразрушающего контроля. – 2009. – № 1. – С. 40 – 46.
2. Сандомирский, С.Г. Намагничивающая катушка. Патент Республики Беларусь на полезную модель № 5995, 2009 г.
3. Сандомирский, С.Г. Оптимизация геометрических размеров намагничивающей катушки средств магнитного контроля движущихся ферромагнитных изделий // Дефектоскопия. – 1989. – №7. – С. 72 – 79.
4. Сандомирский, С.Г. Рекомендации по применению в технических расчетах формул для центрального коэффициента размагничивания сплошных и полых цилиндров, стержней и пластин из материала с высокой магнитной проницаемостью (обзор) // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2008. – № 3. – С. 38 – 46.

УДК: 621.373:535

НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЛАЗЕРАХ С АНИЗОТРОПНЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ

Свирина Л.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в лазерах с анизотропными резонаторами известно два физических механизма, приводящих в отсутствие какого-либо внешнего, зависящего от времени воздействия на систему, к неустойчивости стационарных режимов генерации и возникновению автоколебательных режимов, которые при изменении управляющих параметров способны развиваться в более сложные режимы, включая хаотические и стохастические колебания. Это линейная связь волн генерации, вызывающая неустойчивость фазовых характеристик генерируемых волн., (см., напр, [1]), и конкуренция анизотропии нелинейной активной среды и анизотропии резонатора, вызывающая неустойчивость поляризационных характеристик этих волн [2].

В лазерном приборостроении, где неустойчивости, как правило, играют роль дестабилизирующего фактора, возможность их корректного описания позволит улучшить точностные характеристики приборов.

Отличие от нуля эллиптичности электромагнитной волны приводит к появлению дополнительного, зависящего от поляризации, сдвига фазы этой волны. Этот простой и хорошо известный факт (см., напр., [3]), свидетельствующий о связи поляризационных и фазовых характеристик электромагнитной волны, в условиях нестационарной генерации может оказывать существенное влияние на поведение генерируемого поля в лазере, создавая предпосылки для обнаружения эффектов поляризационно-фазовой динамики.

Заметим, что в гироскопии известен эффект поляризационной невзаимности –возникновение (в условиях стационарной генерации) разности частот встречных волн в кольцевом газовом лазере вследствие отличной от нуля эллиптичности этих волн.

На основе разработанных в рамках формализма векторов и матриц Джонса теоретических моделей, получивших экспериментальное подтверждение, обнаружены отдельные эффекты поляризационно-фазовой динамики в линейном двухчастотном газовом лазере с поляризационной неустойчивостью и в четырехчастотном кольцевом газовом лазере (ЧКГЛ) с фазовой неустойчивостью [4, 5].

Обнаружение эффектов, обусловленных влиянием поляризации электромагнитной волны на ее фазу, обусловливает актуальность разработки моделей лазерных систем, учитывающих возможность существования неустойчивостей обоих типов.

В настоящей работе на основе матричного метода выведены уравнения генерации одномодового четырехчастотного кольцевого газового лазера с произвольной величиной и типом анизотропии резонатора, в котором возможна поляризационная неустойчивость, и с учетом линейной связи встречных волн за счет обратного рассеяния на неоднородностях среды и резонатора, что обеспечивает возможность возникновения фазовой неустойчивости.

При выводе уравнений для интенсивностей и фаз волн генерации воспользуемся подходом, описанном в [5]. В данном лазере генерируемое поле представляется в виде суперпозиции четырех бегущих плоских монохроматических волн $1^{\pm}$ и $2^{\pm}$ с произвольными интенсивностями, частотами и состояниями поляризации:

$$\vec{E}^{\pm}_{1,2} = \left[\frac{I^{\pm}_{1,2}(t)}{ch2\beta^{\pm}_{1,2}(t)}\right]^{1/2} \begin{pmatrix} \cos z^{\pm}_{1,2}(t) \\ \sin z^{\pm}_{1,2}(t) \end{pmatrix} \exp[i(\Psi^{\pm}_{1,2}(t) - \omega^{\pm}_{1,2}t], \qquad (1)$$

$$\Psi = \Psi_x + arctg(\xi\, tg\gamma),$$

где $I = |E|^2$ - интенсивность, Ψ – фаза, $\omega/2\pi$ ($Гц$) – частота генерации, $z = \gamma + i\beta$, γ – азимут, $\xi = th\beta$ – эллиптичность электромагнитной волны. Индексы 1,2 отнесены к однонаправленным, а знаки (±) – к встречным волнам.

В матричном виде уравнения генерации записываются в виде:

$$\frac{d\vec{E}^{\pm}_{1,2}}{dt'} = \hat{Q}^{\pm}_{1,2}\vec{E}^{\pm}_{1,2} - \vec{E}^{\pm}_{1,2}, \qquad (2)$$

где $t' = tc/L$ – число полных обходов светом резонатора (из начальной точки в начальную) за время t, L – длина резонатора за обход (для линейного лазера это удвоенная длина резонатора), c – скорость света, $\hat{Q}^{\pm}_j = \hat{S}^{\pm}_j \hat{M}^{\pm}_j$ – матрица Джонса лазера, $\hat{S}^{\pm}_j$ и $M^{\pm}_j$ – матрицы Джонса нелинейной активной среды и резонатора.

Подставляя выражения (1) в уравнения (2), воспользовавшись условием стационарной генерации, явным видом матрицы активной среды, матрицы резонатора $\hat{M}$, элементы которой выражены через поляризационные характеристики собственных мод резонатора, а также проведя стандартные процедуры, описанные в [5] и вводя экспериментально измеряемые параметры, запишем уравнение

генерации для интенсивности и фазы волн $1^{\pm}$ в виде [6]:

$$ctg(z_1^{\pm}-z_{2M}^{\pm})\frac{dz_1^{\pm}}{d\tau}-th2\beta_1^{\pm}\frac{d\beta_1^{\pm}}{d\tau}+\frac{1}{2I_1^{\pm}}\frac{dI_1^{\pm}}{d\tau}+i\frac{d\Psi_1^{\pm}}{d\tau}=$$
$$i(\omega_1^{\pm}-\omega_{1M}^{\pm})\frac{L}{c\tau_0}+i\frac{\overline{V}_1^{\pm}}{P}+\frac{\overline{P}_1^{\pm}}{P}+i\frac{\Delta W_1^{\pm}}{P}ctg(z_1^{\pm}-z_{2M}^{\pm})-$$
$$\left(\theta_{11}^{\pm\pm}I_1^{\pm}+\theta_{11}^{\pm\mp}I_1^{\mp}+\theta_{12}^{\pm\pm}I_2^{\pm}+\theta_{12}^{\pm\mp}I_2^{\mp}+\theta_{1k}^{\pm}I_{1k}\right)+ \quad (3)$$
$$\frac{r_1^{\mp}}{\tau_0}\frac{\sin(z_{2M}^{\pm}-z_1^{\mp})}{\sin(z_{2M}^{\pm}-z_1^{\pm})}\sqrt{\frac{I_1^{\mp}ch2\beta_1^{\pm}}{I_1^{\pm}ch2\beta_1^{\mp}}}\exp[i(\Psi_1^{\mp}-\Psi_1^{\pm})+$$
$$\frac{\alpha^{\pm}}{\tau_0}\frac{\sin(z_{2M}^{\pm}-z_2^{\mp})}{\sin(z_{2M}^{\pm}-z_1^{\pm})}\sqrt{\frac{I_2^{\pm}ch2\beta_1^{\pm}}{I_1^{\pm}ch2\beta_2^{\pm}}}\exp[i(\Psi_2^{\pm}-\Psi_1^{\pm}).$$

Здесь $I_{12}^{\pm}=|E_{12}^{\pm}|^2|d_{ab}|^2/3\hbar^2\gamma_a\gamma_b P$ индексом M обозначены собственные значения и собственные типы колебаний матрицы резонатора, коэффициент α характеризует рассеяние из резонаторной моды 1^+ в моду 2^+.

Уравнения для волн 2^+ (2^-) следуют из уравнений для волн $1^+(1^-)$ при замене индексов $1\leftrightarrow 2$, остальные обозначения аналогичны принятым в [5].

Уравнения (3) записаны в предположении, что коэффициенты r отражения и пропускания t для встречных волн, принадлежащих одной моде резонатора, удовлетворяют условиям: $|t|\approx 1,$, $|r|<<1, |\alpha|<<1$, так что в (3) учтены только члены первого порядка малости по r, α.

Уравнения (3), в отличие от уравнений генерации для сильно анизотропных резонаторов [5], учитывают возможность изменения во времени поляризационных характеристик генерируемых волн.

Запишем уравнения для поляризационных характеристик волны 1^+. Для этого умножим уравнение генерации (2) слева на вектор-строку $\vec{e}_{\perp 1}^{+}=(-\sin z_1^{+}\quad \cos z_1^{+})$, который ортогонален вектору $\vec{E}_1^{+}$, задаваемому выражением (1), что позволит исключить производные по интенсивности и по фазе волны [6]:

$$\frac{dz_1^{\pm}}{d\tau}=\frac{1}{2\tau_0}\left(1-\frac{\lambda_{2M}^{\pm}}{\lambda_{1M}^{\pm}}\right)\times$$
$$\left[\frac{\cos\left(z_{1M}^{\pm}+z_{2M}^{\pm}-2z_1^{\pm}\right)}{\sin\left(z_{1M}^{\pm}-z_{2M}^{\pm}\right)}-ctg\left(z_{1M}^{\pm}-z_{2M}^{\pm}\right)\right]+ \quad (4)$$
$$\frac{i\Delta W_1^{\pm}}{P}=-ic''^{\pm}I_1^{\pm}+\rho_{11}^{\pm\mp}I_1^{\mp}+\rho_{12}^{\pm\pm}I_2^{\pm}+\rho_{12}^{\pm\mp}I_2^{\mp}+\rho_{1k}^{\pm\pm}I_{1k}^{\pm}+$$
$$\frac{r_1^{\mp}\sqrt{I_1^{\mp}ch2\beta_1^{\pm}}}{\tau_0\sqrt{I_1^{\pm}ch2\beta_1^{\mp}}}\exp\left[i\left(\Psi_1^{\mp}-\Psi_1^{\pm}\right)\right]\sin\left(z_1^{\mp}-z_1^{\pm}\right)+$$
$$\frac{\alpha t_1^{\pm}\sqrt{I_2^{\pm}ch2\beta_1^{\pm}}}{\tau_0\sqrt{I_1^{\pm}ch2\beta_2^{\pm}}}\exp\left[i\left(\Psi_2^{\pm}-\Psi_1^{\pm}\right)\right]\sin\left(z_2^{\pm}-z_1^{\pm}\right)$$

Уравнения для поляризационных характеристик волн, принадлежащих второй резонаторной моде, следуют из (4) при замене индексов $1\leftrightarrow 2$.

Явный вид коэффициентов само- и кросснасыщения $\theta_{ii}^{\pm\pm},\theta_{ij}^{\pm\pm},\theta_{ij}^{\pm\mp}$, i = 1,2, j = 1,2 а также коэффициентов $\rho_{ii}^{\pm\pm},\rho_{ij}^{\pm\pm},\rho_{ij}^{\pm\mp}$, i = 1,2, j = 1,2, зависящих от отстройки частоты генерации от центра линии усиления, а также от главных квантовых чисел уровней рабочего перехода определен в [5].

Система (3), (4) комплексных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) содержит в общем случае 16 скалярных уравнений для интенсивностей, фаз, эллиптичностей и азимутов волн генерации. Она позволяет изучать влияние поляризационной и фазовой неустойчивостей, а также магнитного поля Земли на работу приборов, использующих газовые лазеры.

Для кольцевого лазера с линейной и циркулярной фазовой анизотропией резонатора при условии, что α = 0, полученная модель упрощается, и рассматриваемый ЧКГЛ описывается системой 10 ОДУ. В этом случае однонаправленные собственные моды резонатора поляризованы ортогонально, а встречные моды, принадлежащие одинаковым собственным значениям матрицы резонатора, неортогонально.

Разработанная модель открывает перспективы для систематических теоретических и экспериментальных исследований поляризационно-фазовой динамики генерации лазерных систем, а также регулярной и сложной динамики нелинейных систем высокой размерности, имеющих различную физическую природу.

1. Волновые и флуктуационные процессы в лазерах / Под ред. Ю. Л. Климонтовича. –М.: Наука, 1974.
2. Svirina, L.P. Competition between active medium and empty cavity anisotropies in gas class A laser // Quantum and Semiclassical Optics, JEOS, part B. 1998. – V. 10, N2. – P. 425-439.
3. Азам, Р., Эллипсометрия и поляризованный свет / Р. Азам, Н. Башара. – М.: Мир, 1981. – 581 с.
4. Svirina, L.P. Spontaneous pulsations in gas class-A lasers with weakly anisotropic cavities / L.P. Svirina, V.G. Gudelev, and Yu. P. Zhurik // Phys. Rev. A.– 1997. – V. 56, № 6. – P. 5053-5064.
5. Свирина, Л.П. Фазовая неустойчивость в четырехчастотном кольцевом газовом лазере //Квант. электрон. – 2008. Т.38, №1. –С. 1-15.
6. Svirina, L. P. Dynamics of anisotropic cavity lasers, in book: “Dynamical Systems. Theory”. /Editors: Jan Awrejcewicz, Marek Kazmierczak, Pawel Olejnik, Jerry Mrozowski. Lodz, Poland, 2013. – P. 153-160.

УДК 624.94

АДАПТИВНЫЙ ЗАДНИЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ФОНАРЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Сернов С.П., Балохонов Д.В., Журавок А.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Увеличение скорости движения транспортных средств явилось первопричиной изменения подходов в обеспечении безопасности дорожного движения, в том числе повышения требований к световым характеристикам сигнального светотехнического оборудования, которое является самым распространенным типом оптических систем транспортных средств. Согласно экспертным оценкам [1], при увеличении скорости транспортного средства с 40 км/час до 80 км/час сила света задних огней должна возрасти в 2 раза, передних в 3 раза, а боковых в 4 раза, что может вызвать ослепление участников дорожного движения в темное время суток. Чтобы этого не произошло сила света оптических систем транспортных средств должна изменяться в зависимости от внешней освещенности, то есть оптические системы транспортных средств должны быть адаптивными.

Современные серийные адаптивные оптические системы имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. Эти системы используют бортовой компьютер транспортного средства для анализа внешней освещенности, что не позволяет оснащать ими транспортные средства без бортового компьютера при модернизации последних. Кроме того, современные серийные адаптивные оптические системы могут изменять в зависимости от условий окружающей среды только один свой параметр: силу света, режим работы (импульсный или непрерывный) или площадь и форму светящейся поверхности [2]. Наконец, современные серийные адаптивные оптические системы имеют пониженную надежность за счет применения в качестве источников света ламп накаливания или массива маломощных светодиодов.

Разработанная адаптивная оптическая система с функциями заднего комбинированного фонаря (далее – АЗКФ) позволяет устранить указанные недостатки.

Как показано на рисунке 1, АЗКФ имеет четыре секции, обеспечивающие функции стоп-сигнала, совмещенного с габаритным огнем, задней фары, противотуманного огня и указателя поворота.

Каждая секция использует только один мощный светодиод в качестве источника света, что повышает надежность изделия. Применяемые детали вторичной оптики (асферические неизображающие охватывающие линзы) обеспечивают эффективное использование светового потока каждого светодиода, что позволяет уменьшить их ток инжекции и избежать перегрева и связанных с ним потерь светового потока и изменения координат цветности светодиодов. Так как эти детали имеют большое отношение диаметра светящейся поверхности к толщине (порядка четырех), разработанный адаптивный задний комбинированный фонарь имеет малые габаритные размеры в толщину, что упрощает его использование на транспортных средствах, а также не вызывает ослепления.

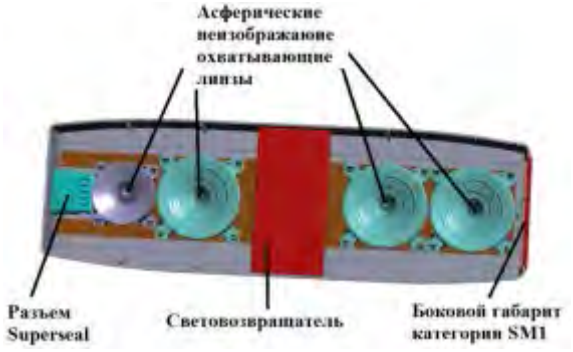


Рисунок 1 – Устройство АЗКФ (рассеиватель условно снят)

АЗКФ использует микроконтроллер для управления током инжекции каждого светодиода. Ток инжекции светодиодов устанавливается микроконтроллером в соответствии с данными о внешней освещенности, полученными с датчика внешней освещенности, данными о состоянии светопропускающей поверхности рассеивателя, полученными с соответствующего датчика, и данными об ускорении транспортного средства, полученными с акселерометра (рисунок 2). При этом блок питания обеспечивает микроконтроллер, датчики и светодиоды стабилизированным напряжением питания, а блок защиты защищает все изделие от скачков напряжения в бортовой сети транспортного средства.

Разработанный адаптивный задний комбинированный фонарь работает следующим образом. Микроконтроллер циклически опрашивает датчик внешней освещенности для оценки внешней освещенности (ночь или день) и состояния поверхности рассеивателя (загрязнение, царапины, капли осадков) и рассчитывает ток инжекции для каждого светодиода, уменьшая его при малой внешней освещенности и увеличивая его при большой внешней освещенности или плохом состоянии рассеивателя (загрязнения, царапины и т.п.). При помощи акселерометра микроконт-

роллер определяет динамику торможения транспортного средства. Если ускорение превысит значение, характерное для экстренного торможения, то стоп-сигнал перейдет в импульсный режим работы и увеличит свою силу света, что повысит заметность транспортного средства на дороге [3].

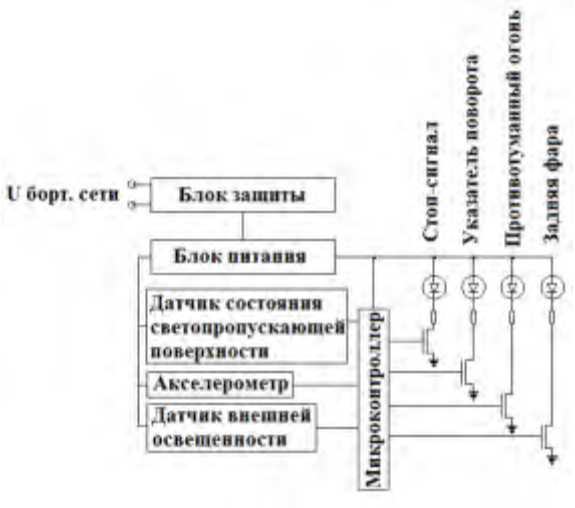


Рисунок 2 – Блок-схема АЗКФ

Таким образом, разработанный адаптивный задний комбинированный фонарь имеет следующие преимущества по сравнению с существующими серийными аналогами:

- потребление энергии как минимум в десять раз меньше существующих неадаптивных аналогов;
- большая площадь излучающей поверхности по сравнению с толщиной не позволяет ослеплять остальных участников дорожного движения;
- встроенный микроконтроллер и датчики позволяют устанавливать фонарь на транспортные средства без бортового компьютера;
- фонарь адаптируется к внешней освещенности, ускорению транспортного средства и состоянию светопропускающей поверхности, что обеспечивает заметность транспортного средства как в светлое, так и в темное время суток, а также повышает безопасность дорожного движения путем увеличения заметности транспортного средства при экстренном торможении и уменьшения вероятности ослепления в темное время суток.

1. Paine, M. Daytime Running Lights for Motorcycles / M. Paine , D. Paine, J. Haley, S. Cockfield // Optusnet [Electronic resource]. – 2010. – Mode of access : http://members.optusnet.com.au/carsafety/esv19_paine_mc_drl.pdf. – Date of access : 15.09.2011.
2. Adaptive rear lamps // Magneti Marelli [Electronic Resource]. – 2011. – Mode of access : http://www.magnetimarelli.com/english/automotive_fanali_adattivi .php. – Date of access : 25.09.2011.
3. Adaptive Brake Light // Mercedes 500SEC.com [Electronic resource]. –2011. – Mode of access : http://500sec.com/adaptive-brake-light. – Date of access : 26.10.2011.

УДК 621.326

РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Сернов С.П., Балохонов Д.В., Колонтаева Т.В., Журавок А. А.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Лучшими деталями вторичной оптики для мощных светодиодов (СИД) являются асферические неизображающие охватывающие линзы (АНОЛ), которые представляют собой монолитную деталь вторичной оптики, которая имеет как отражающие, так и преломляющие поверхности, при этом источник света размещен относительно оптической детали так, что вся его излучающая поверхность или большая ее часть находятся внутри нее.

Выпускаемые серийно дешевые АНОЛ имеют малую площадь излучающей поверхности. АНОЛ с большой площадью излучающей поверхности нуждаются в металлизации, что увеличивает их стоимость [1]; АНОЛ с большой площадью излучающей поверхности без металлизации имеют пониженную прочность и повышенные потери света. Для ликвидации указанных недостатков предлагается АНОЛ формы, представленной на рисунке 1. Эта форма при небольшой толщине детали имеет большую площадь излучающей поверхности и удовлетворительную прочность, является простой в изготовлении, не требует металлизации и позволяет разместить под деталью дополнительные элементы или теплоотвод.

Ранее форма АНОЛ рассчитывалась с применением теории отражения и преломления света, что давало деталь сложной формы [2]. Предлагаемый метод расчета позволяет выполнить расчет формы поверхности АНОЛ по известной кривой силы света СИД и требуемому стандартному световому распределению. Подлежащие

расчету элементы АНОЛ обозначены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Форма АНОЛ

Для расчета используют следующие параметры: кривая силы света (КСС) СИД, стандартная (желаемая) КСС, рассеяние лучей СИД ввиду его неточечности, распределение яркости по поверхности АНОЛ и показатель преломления материала АНОЛ, причем соответствие расчетного значения реальному значению показателя преломления сильно влияет на работу АНОЛ [3].

Сначала определяют минимальную толщину АНОЛ в центральной части по углу рассеяния лучей из-за конечных размеров СИД, характеристическому размеру кристалла и показателю преломления материала АНОЛ.

После этого КСС СИД и требуемой КСС приводят к осесимметричному виду. Далее выполняют расчет условных световых потоков интегрированием по углу требуемой КСС и КСС СИД, приведенных к осесимметричному виду. Условный световой поток является величиной, рассчитываемой по формуле

$$\Phi = 2\pi \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} I(\varphi)\sin(\varphi)d\varphi ,$$

где $I(\varphi)$ - КСС СИД или КСС наихудшего случая;

α_1, α_2 - углы, ограничивающие участок светового потока.

Для успешного расчета суммарный условный световой поток СИД должен быть больше или равен суммарному условному световому потоку приведенной к осесимметричному виду требуемой КСС.

Следующая стадия - разбиение КСС СИД на участки в соответствии с приведенной к осесимметричному виду желаемой КСС. Шаг разбиения КСС СИД должен быть меньше, чем шаг разбиения приведенной к осесимметричному виду желаемой КСС.

Далее для каждого полученного участка рассчитывают условный световой поток, после чего из условных световых потоков КСС СИД «собирают» каждый условный световой поток приведенной к осесимметричному виду желаемой КСС, запоминая углы лучей, ограничивающие участки. Суммирование проводится подряд, по возрастанию угла от оптической оси, до того момента, пока сумма условных потоков КСС СИД не станет равна обрабатываемому условному световому потоку приведенной к осесимметричному виду желаемой КСС.

В результате работы получается массив углов, показывающий, как лучи света СИД должны вести себя, чтобы из КСС СИД получилась требуемая КСС.

После этого по углу полного внутреннего отражения выполняется расчет начала передней отражающей поверхности. Далее выполняют разбиение передней поверхности детали в соответствии с результатами предыдущих пунктов. При разбиении поверхности АНОЛ необходимо разделить ее на максимально-возможное количество участков, границы которых должны как можно точнее совпадать с точками, полученными путем пересечения лучей, ограничивающих полученные при накопительном суммировании в предыдущих пунктах области условного светового потока КСС СИД.

Далее выполняют расчет наклона каждой части поверхности в соответствии с полученным разбиением. Расчет ведут по полученному ранее ходу граничных лучей, направления которых были определены при накопительном суммировании условных световых потоков.

Далее проводят расчет передней отражающей поверхности. Главный принцип расчета – привести весь пучок лучей, попадающий на переднюю отражающую поверхность, к параллельному виду с заданной расходимостью. По этому же принципу выполняется расчет задней отражающей поверхности.

Эффективность преобразования света АНОЛ определяют с помощью интегрального коэффициента эффективности (отношение светового потока на выходе детали к световому потоку, излучаемому источником). Если он близок к значению коэффициента пропускания материала детали, то она хорошо выполняет свои функции. На эффективность АНОЛ влияет количество столкновений луча света с границами детали и доля преломляющих поверхностей по сравнению с отражающими: чем меньше столкновений и больше отражающих поверхностей, тем больше эффективность [4].

Таким образом, разработан новый метод расчета АНОЛ для мощных СИД. Метод позволяет по КСС СИД и желаемой КСС рассчитать АНОЛ технологичной формы с большим соотношением «излучающая поверхность-толщина детали». Метод отличается простотой и нетребовательностью к вычислительной мощности. Работоспособность метода проверена экспериментально.

1. Kuntze, T. Plastic Optics Enable LED Lighting Revolution. When Highest Precision Meets Low Prices / T. Kuntze // Optik & Photonik. - 2007. - №4. -P.42-45.
2. Ding, Y., Liu, X., Zheng, Z., Gu, P. Freeform LED lens for uniform illumination / Y. Ding, X. Liu, Z. Zheng, P. Gu // Optics Express. - 2008. - Vol. 16, № 17. - P.12958-12966.
3. Журавок, А.А. Определение устойчивости элементов неизображающей вторичной оптики к изменению показателя преломления материала / А.А. Журавок, Д.В, Балохонов, Т.В. Колонтаева, С.П. Сернов // Приборостроение – 2012: материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21-23 ноября 2012 г. / БНТУ ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. - Минск, 2012.- С. 279-281.
4. Сернов, С.П. Эффективность применения вторичной оптики в автомобильной светодиодной светотехнике / С.П. Сернов, Д.В. Балохонов // Наука – образованию, производству, экономике: материалы девятой Международной науч.-техн. конф., Минск, 2011г. : в 4 т./ Белорус. нац. техн. университет ; редкол.: Б. М. Хрусталев, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко.- Минск, 2011. – Т.4. - С. 402.

УДК 681.2

СЕНСОРНЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Сидоренко А. В., Мулярчик К.С., Ходасевич А.И., Солодухо Н.А.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

I. Введение. В последние годы возрастает роль инновационных технологий для решения задач мониторинга и контроля объектов управления. Одним из достижений в этой области является использование беспроводных сенсорных сетей. Среди беспроводных сетей выделяются сети с использованием сверхширокополосных приемопередатчиков [1], в основу функционирования которых положены принципы нелинейной динамики. При передаче данных в беспроводных сенсорных сетях существенным является обеспечение их защиты для исключения несанкционированного доступа.

В предлагаемой работе задача обеспечения защиты передаваемых данных решается внедрением функций шифрования непосредственно в приемопередатчики, что позволяет установить безопасное соединение между отдельными приемопередатчиками.

II. Структурная схема защищенной передачи информации. Структурная схема защищенной передачи информации приведена на рисунке 1.

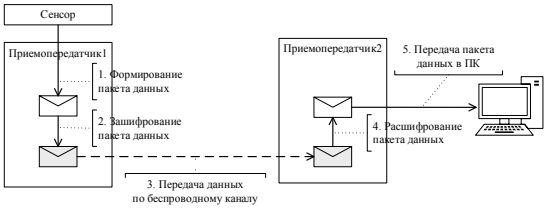


Рисунок 1 – Схема зашифрованной передачи информации в сенсорной сети

Приемопередатчик 1 производит регистрацию текущих показателей с сенсора и формирует информационный пакет, зашифровывает его, используя текущие в узле настройки шифрования, и отправляет в эфир. предложенного алгоритма шифрования выполнена на базе сверхширокополосных прямохаотических приемопередатчиков серии ППС-40А, используемых в качестве узлов при построении беспроводных сенсорных сетей.

Внешний вид и структурная схема приемопередатчика серии ППС-40А представлены на рисунке 2, а технические характеристики приведены в таблице 1.

Приемопередатчик 2 принимает пакет из эфира, расшифровывает его, используя текущие в узле настройки шифрования, и осуществляет его дальнейшую обработку путем передачи в компьютер или ретрансляцию в эфир.

Следует отметить, что функция шифрования данных в приемопередатчике осуществляет шифрование всего тела пакета данных целиком, не затрагивая при этом заголовок пакета и байты контрольной суммы. Выбор такой схемы преобразования продиктован необходимостью защиты информации о маршрутизации, поскольку одной из целей пассивного прослушивания является извлечение идентификаторов узлов, что позволит построить схему маршрутизации и выявить расположение узлов в сети.

III. Алгоритм шифрования и его аппаратно-программная реализация. Обеспечение функции шифрования данных в приемопередатчиках осуществляется с использованием разработанного нами алгоритма шифрования [2], в основу которого положены принципы нелинейной динамики.

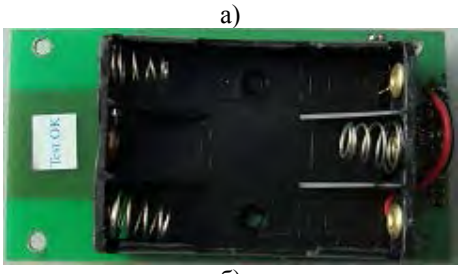
Итеративная схема Шеннона используется в блочном симметричном алгоритме шифрования, где в качестве базового преобразования применена сеть Фейстеля, а нелинейного блока – дискретное хаотическое отображение.

Совместное использование в разработанном

алгоритме шифрования таких структурных элементов, как итеративной схемы Шеннона, сети Фейстеля и дискретного хаотического отображения, делает возможным выбор и установление требуемой длины ключа шифрования и длины блока обрабатываемого текста, при этом длина блока текста должна быть кратна двум. Это является существенным преимуществом разработанного алгоритма при его использовании в узлах беспроводной сенсорной сети, поскольку в зависимости от характера передаваемой информации (размера пакета), а также условий передачи (например, зашумленность, вероятность возникновения ошибки при передаче) может выбираться та или иная длина блока текста.

Аппаратно-программная реализация.

а)



б)

Рисунок 2 – Приемопередатчик для беспроводных сенсорных сетей

Таблица 1 – Технические характеристики приемопередатчика

Наименование характеристики	Значение
Полоса выходного сигнала	3,1–5,1 ГГц
Средняя мощность излучаемого сигнала (скорость 2,5 Мбит/с)	–10 дБм
Средняя мощность излучаемого сигнала (скорость 0,1 Мбит/с)	–21 дБм
Дальность приема	до 20 м
Физическая скорость передачи/приема данных	2,5/2,5 Мбит/с
Интерфейс сопряжения с ПК и датчиками	UART
Напряжение питания	4,5 В

Центральным узлом цифрового блока является микроконтроллер Atmel ATmega 168, обладающий следующими характеристиками: 8–разрядная архитектура; тактовая частота – до 20 МГц; объем памяти для хранения данных (RAM) – 1 Кбайт; объем памяти для хранения программного кода (ROM) – 16 Кбайт; объем энергонезависимой памяти EEPROM – 512 байт.

IV. Экспериментальные исследования опытной сенсорной сети. Для экспериментального исследования реализуемых средств защиты построена опытная беспроводная сенсорная сеть, в которой в качестве узлов использованы сверхширокополосные приемопередатчики серии ППС-40А. Сеть организована таким образом, что в ней осуществляется однонаправленная передача данных от сенсорных узлов к координатору сети напрямую либо через узлы ретранслятора. В процессе экспериментальной проверки разработанной аппаратно-программной реализации алгоритма шифрования выполнена инсталляция (прошивка) разработанного программного обеспечения в микроконтроллеры приемопередатчика. Проанализировано изменение характеристик программного кода микроконтроллера приемопередатчика до и после реализации функции шифрования. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики реализации функции шифрования в микроконтроллере приемопередатчика

Размер блока текста, байт	Объем памяти для хранения данных, байт		Количество тактов микроконтроллера для зашифрования блока текста	
	суммарный	на один байт блока текста	суммарное	на один байт блока текста
4	223	56	12911	3228
8	241	30	14167	1771
12	259	22	15423	1285
16	277	17	16679	1042
20	295	15	17935	897
24	313	13	19191	800
28	331	12	20447	730
32	349	11	21703	678

V. Выводы. В работе рассмотрены особенности реализации беспроводных сенсорных сетей на основе сверхширокополосных приемопередатчиков для передачи защищенной информации. Проведены экспериментальные исследования опытной беспроводной сети.

1. Дмитриев, А.С. Сверхширокополосные прямохаотические приемопередатчики серии ППС для сетей передачи информации / А.С. Дмитриев, А.В. Сидоренко, Ю.В. Андреев, К.С. Мулярчик // Электроника инфо. –2013. – № 6. – С.36-37.
2. Сидоренко А.В.. Шифрование данных на основе дискретных хаотических систем и отображений / А.В. Сидоренко, К.С. Мулярчик //Доклады БГУИР. – 2013. – № 1. – С. 62-67.

УДК 539.26, 538.958, 621.373.8

НОВАЯ ПРОСВЕТЛЯЮЩАЯСЯ СРЕДА НА ОСНОВЕ СТЕКЛОКЕРАМИКИ С НАНОКРИСТАЛЛАМИ Co^{2+}:ZnO ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ ЛАЗЕРОВ

Скопцов Н. А.[1], Глазунов И. В. [1], Маляревич А. М. [1], Юмашев К. В. [1], Дымшиц О. С. [2], Жилин А. А. [2], Алексеева И. П.[2], Шемчук Д. В. [2]

[1] НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь

[2] НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова» Санкт-Петербург, Российская Федерация

Источники импульсного лазерного излучения широко применяются в прецизионной обработке материалов, дальнометрии, для передачи и обработки информации. Одним и способов получения такого лазерного излучения является применение пассивных затворов на основе просветляющихся сред.

В настоящее время в эрбиевых лазерах широко используются пассивные затворы на основе кристаллических и стеклокристаллических сред с тетраэдрически координированными ионами кобальта Co^{2+} [1]. По этой причине поиск новых материалов с такими ионами остаётся актуальной задачей. Целью данной работы является изучение спектроскопических характеристик и применение в лазерах нового материала для пассивных затворов – прозрачной стеклокерамики (ситалла) с наноразмерными кристаллами Co^{2+}:ZnO.

Для изготовления ситалла синтезировалось исходное стекло системы K_2O-ZnO-Al_2O_3-SiO_2 с добавкой оксида кобальта в платинородиевом тигле при температуре 1590 °С. Стекломасса отливалась на металлическую плиту и отжигалось при температуре 500 °С. В результате вторичной термообработки стекла при температуре 700 °С в течение 24 часов был получен прозрачный материал сине-фиолетового цвета.

Определение структуры кристаллической фазы, выделившейся при термообработке, выполнялся рентгенофазовый анализ (РФА). Измерения производилась с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 6000 при излучении Cu Kα с никелевым фильтром. Согласно данным РФА (рис. 1), сформированный ситалл содержит кристаллы ZnO нанометрового размера.

Регистрация спектров пропускания осуществлялась с помощью спектрофотометра Cary Varian 5000.

В спектре (рис. 2) в области длин волн 1.1–1.9 мкм наблюдается полоса поглощения, характерная для тетраэдрически координированных двухвалентных ионов кобальта Co^{2+}, которая обусловлена переходами ионов из основного $^4A_2$ в возбуждённое $^4T_1(^4F)$ состояние. Структурирование полосы позволяет заключить, что ионы кобальта располагаются в нанокристаллах ZnO, замещая часть ионов цинка. Важной особенностью данного спектра является большая ширина полосы, поглощение в которой наблюдается на длинах волн больше 1.6 мкм. Это нетипично для тетракоординированных ионов Co^{2+} в оксидных матрицах. Это позволяет рассчитывать на применимость данного материала в твёрдотельных лазерах с длиной волны излучения диапазона 1.6–1.7 мкм.

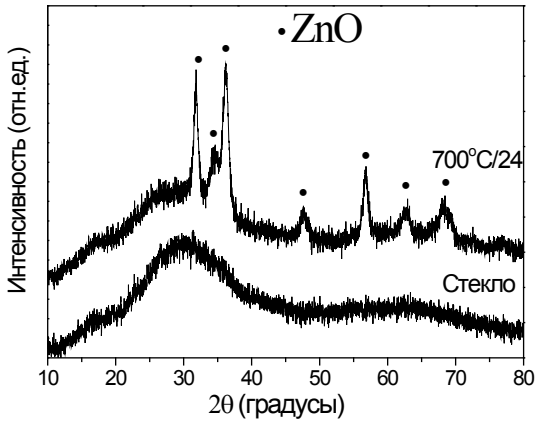


Рисунок 1 – Рентгенограмма исходного стекла и стеклокерамики с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO

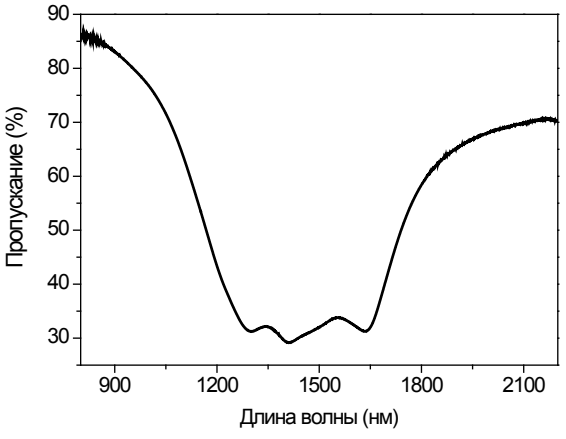


Рисунок 2 – Спектр пропускания ситалла с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO

Исследована зависимость пропускания материала от плотности энергии падающего излучения. Образец толщиной L=3.9 мм облучался лазерными импульсами с энергией 1.3 мДж, дли-

тельностью 87 нс на длине волны 1540 нм. Излучение фокусировалось на образец линзой, а изменение плотности энергии E_0 на его поверхности осуществлялось путём перемещения образца вдоль оптической оси линзы. Минимальный диаметр сфокусированного пятна составлял 70 мкм.

Кривая просветления ситалла с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO приведена на рис. 3. Видно, что материал хорошо просветляется, при возрастании плотности энергии до 5 Дж/см^2 пропускание возрастает до 52% (при начальном пропускании для низкоинтенсивного потока – T_0=36%). Анализ экспериментальных данных проводился в рамках модели медленно релаксирующего поглотителя [1]:

$$\frac{dE_0}{dz} = -E_{sa} \cdot \frac{ln(1/T_0)}{L} \cdot \left[(1-\gamma) \cdot (1 - e^{\frac{-E_0}{E_{sa}}}) + \gamma \cdot \frac{E_0}{E_{sa}} \right]$$

где E_{sa}=hυ/σ_a – плотность энергии насыщения поглощения; γ=σ_{esa}/σ_a – контраст просветления среды; σ_a и σ_{esa} – поперечные сечение поглощения из основного и возбужденного состояний, соответственно. По результатам моделирования установлено, что контраст просветления равен γ=0.6, поперечное сечение поглощения из основного состояния составляет σ_a=2*10^{-19} см^2, плотность энергии насыщения поглощения – E_{sa}=0.65 Дж/см^2.

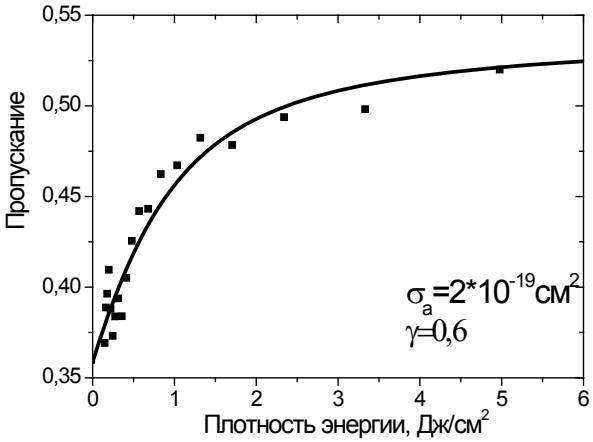


Рисунок 3 – Насыщение поглощения ситалла с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO на длине волны 1.54 мкм

Эксперименты по использованию ситалла с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO в качестве пассивного затвора проводились в лазере на эрбиевом стекле с ламповой накачкой. Резонатор лазера длиной 280 мм был образован сферическим зеркалом с радиусом кривизны 1 м и плоским выходным зеркалом. Пропускание выходного зеркала на длине волны генерации (1540 нм) составляло 10%. Затвор толщиной 0.44 мм устанавливался в резонатор под углом Брюстера, при этом его начальное пропускание составляло 89.4%. В этих условиях была получена модуляции добротности лазера, излучались импульсы с энергией 0.8 мДж и длительностью 225 нс. На рис. 4 приведена осциллограмма отдельного импульса.

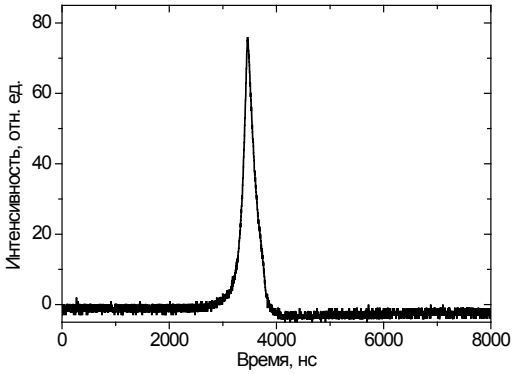


Рисунок 4 – Импульс излучения эрбиевого лазера в режиме модуляции добротности при использовании в качестве пассивного затвора ситалла с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO

Синтезирована новая просветляющаяся среда на основе стеклокристаллического материала с нанокристаллами Co^{2+}:ZnO для обеспечения пассивной модуляции добротности лазеров ближнего инфракрасного диапазона. Исследованы его структурные, спектроскопические и нелинейно-оптические свойства, получена пассивная модуляция добротности эрбиевого лазера с ламповой накачкой. Показано, что указанный материал является перспективной средой для пассивной модуляции добротности лазеров спектрального диапазона 1.4-1.7 мкм.

1. А.М. Маляревич, К.В. Юмашев. Твёрдотельные просветляющиеся среды. – Мн. БНТУ, 2008. 204 с.

УДК 538.958

СТРУКТУРНЫЕ И АБСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОКРИСТАЛЛЫ НИОБАТОВ ИТТЕРБИЯ

Скопцов Н.А.[1], Маляревич А.М.[1], Дымшиц О.С.[2], Юмашев К.В.[1]

[1]НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
[2]НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В настоящее время новые материалы, активированные трехвалентными ионами иттербия (Yb^{3+}), находятся в стадии активного исследования. Преимуществом сред с ионами иттербия является малый квантовый дефект, высокие поперечные сечения поглощения и вынужденного испускания, отсутствие поглощения из возбужденных состояний и ап-конверсионных процессов в указанных ионах. Совокупность этих свойств позволяет создавать эффективные и компактные иттербиевые лазеры.

Недавно в качестве матрицы для активных сред были предложены стеклокристаллические материлы (ситаллы) с различными ионами-активаторами. Они представляют собой стеклянную матрицу, в которой достаточно равномерно распределены кристаллы нанометрового размера. Активаторные ионы входят в состав кристаллической фазы, а их оптические свойства определяются параметрами соответствующего кристалла. Для приготовления ситаллов используются традиционные технологии производства стекла, что значительно снижает их стоимость.

В настоящей работе представлены результаты исследования структурных и спектроскопических свойств стекол и ситаллов, содержащих нанокристаллы ниобатов иттербия-иттрия $(Yb,Y)NbO_4$.

Исходные стекла системы Li_2O-Al_2O_3-SiO_2 были синтезированы из реактивов квалификации «осч» и «хч» в тиглях из кварцевой керамики с перемешиванием расплава. Бурление кислородом применялось для обезвоживания расплава. Приготовленное стекло было отлито на металлическую плиту и подвергнуто процедуре отжига для компенсации внутренних напряжений. Затем материал был подвергнут термообработке в градиентной печи, температура варьировалась в пределах от 700 до 1050 °C.

В качестве катализатора кристаллизации в шихту использовался оксид ниобия Nb_2O_5 в количестве 3.24 мол. %. Оксид иттербия Yb_2O_3 для создания ионов-активаторов вводился в количестве 0.5, 1.5 или 3 мол. %. Недостающее до стехиометрического соединения $RNbO_4$ количество оксида иттербия дополнялось его кристаллохимическим аналогом – оксидом иттрия Y_2O_3.

Вторичная термообработка изготовленного стекла приводит к образованию ситалла с нанокристаллами ниобатов редкоземельных элементов. Поскольку образцы, содержащие оксид иттрия, растрескиваются при повышении температуры термообработки выше 1000 °C, для изучения процессов фазообразования в ситаллах указанного состава был приготовлен дополнительный состав без Y_2O_3, сохраняющий целостность при высокотемпературных обработках. Ниже в названии образца YYbm – Y и Yb указывают на наличие соответствующего иона, цифра m=05, 15 или 30 обозначает количество молей иттербия в шихте.

Идентификация кристаллических фаз, выделившихся в ситаллах, производилась на основании рентгенофазового анализа (РФА) по спектрам рассеяния рентгеновского излучения, полученных с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 6000 при излучении CuKα с никелевым фильтром.

Средний размер кристаллов определялся по ширине рентгеновских рефлексов на полувысоте (полуширине) с использованием формулы Шеррера:

$$D = \frac{K\lambda}{\Delta(2\theta)\cos\theta}, \qquad (1)$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, θ – угол дифракции, Δ(2θ) – полуширина рефлекса, K – константа, которая в расчетах принималась равной 1 [1].

Регистрация спектров поглощения образцов стекол и ситаллов осуществлялась с помощью спектрофотометра Cary Varian 5000.

Все синтезированные исходные стёкла оказались рентгеноаморфными, их неоднородность подтверждается формой аморфного гало в области углов 2θ=15-40° (рис. 1, нижняя кривая) Согласно данным РФА кристаллическая фаза начинает выделяться при достижении температуры термообработки 800 °C (рис. 1). При этой температуре выделяются нанокристаллы ниобата иттербия $(Y,Yb)NbO_4$ с тетраэдрической симметрией и твердого раствора β-кварца. С повышением температуры термообработки происходит изменение структуры кристаллической фазы $(Y,Yb)NbO_4$: от тетраэдрической к моноклинной симметрии.

Следует отметить, что ионы иттербия также как и ионы ниобия являются катализаторами кристаллизации. При увеличении концентрации ионов иттербия температура начала образования

кристаллической фазы (Y,Yb)NbO_4 снижается от 800 до 720 °С. Повышение концентрации иттербия также приводит к уменьшению температуры перехода симметрии нанокристаллов от тетраэдрической к моноклинной. Так в образцах с 0.5 мол. % Yb_2O_3 выделение нанокристаллов с моноклинной симметрией происходит при 1000 °С, а повышение концентрации оксида иттербия до 3 мол. % приводит к снижению температуры образования таких нанокристаллов до 900 °С.

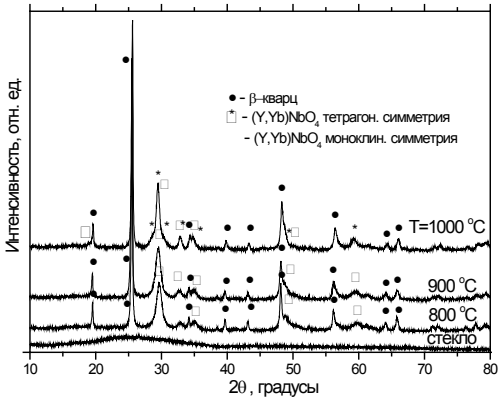


Рисунок 1 – Рентгенограмма стекла и ситаллов ряда YYb30

Переход от тетраэдрической к моноклинной симметрии происходит плавно, в матрице одновременно присутствуют нанокристаллы обеих сингоний.

Средний размер нанокристаллов (Y,Yb)NbO_4 в зависимости от концентрации иттербия и режима термообработки, варьируется в пределах от 38 до 179 Å.

В спектрах поглощения исходных стекол (рис. 2) наблюдается характерная для ионов Yb^{3+} полоса поглощения в области длин волн 0,8-1,1 мкм, которая обусловлена переходами электронов из основного состояния $^2F_{7/2}$ на штарковские подуровни мультиплета $^2F_{5/2}$. Термообработка стекол при температуре выше 800 °С приводит к изменению формы, положения и интенсивности полос поглощения ионов Yb^{3+} - большему их структурированию и изменению положения максимума полосы в области 970-980 нм.

Так, при увеличении температуры термообработки положение максимума указанной полосы поглощения смещается от 976 нм к 973 нм, а его относительная интенсивность в сравнении с поглощением в области 850-950 нм уменьшается. В области 850-950 нм появляются и становятся всё более ярко выраженными максимумы на длинах волн 929 и 950 нм, интенсивность этих пиков значительно увеличивается и при температуре термообработки 1000 °С коэффициент поглощения на длине волны около 950 нм становится больше, чем на 973 нм. Появляется новый максимум при 1002 нм.

При увеличении содержания оксида иттербия происходит увеличение коэффициента поглощения в области полос, обусловленных поглощением ионов Yb^{3+}, что согласуется с законом Бугера, а форма этих полос не изменяется (рис. 3). Небольшое различие формы спектров поглощения для образцов YYb30 и Yb30 в области 925-960 нм объясняется отсутствием иттрия в образце Yb30, что приводит к некоторому изменению локального окружения ионов иттербия.

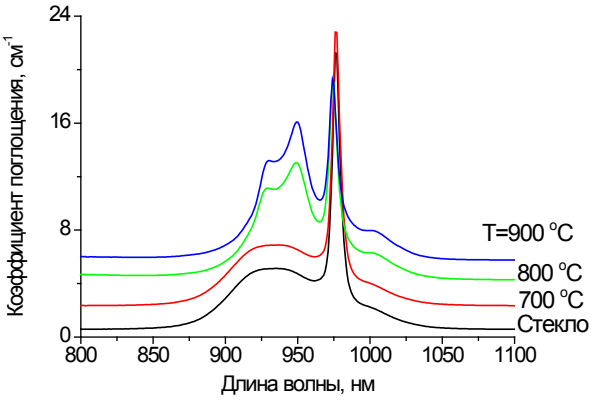


Рисунок 2 – Спектры поглощения ионов Yb^{3+} в материалах ряда YYb30

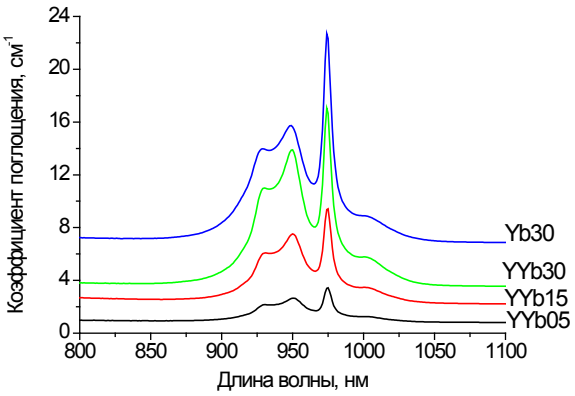


Рисунок 3 – Спектры поглощения ионов Yb^{3+} в ситаллах с разным содержанием оксида иттербия, после термообработки при Т=900 °С

Полученные результаты показывают, что повышение температуры термообработки ситаллов системы Li_2O-Al_2O_3-SiO_2 с кристаллической фазой (Y,Yb)NbO_4 позволяет плавно изменять симметрию этих нанокристаллов от тетраэдрической к моноклинной. Это сопровождается усилением полос поглощения ионов иттербия, что делает эти материалы перспективными для создания на их основе активных сред лазеров, излучающих в области 1 мкм.

1. Lipson H., Steeple H. Interpretation of X-ray powder patterns, ed. McMillan. London, N.Y., Martins Press, 1970.

УДК 681.723.078, 681.775.078, 681.777.078

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА В ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ С МАТРИЧНЫМИ ПРИЁМНИКАМИ

Старосотников Н.О.[1], Фёдорцев Р.В.[2]
[1] *ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь*
[2] *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

В контрольно-измерительных оптических приборах основным критерием качества является точность. Такие оптические приборы как автоколлиматоры [1], микроскопы, звёздные датчики и др. используют в качестве приёмника оптического сигнала ПЗС-матрицы. Точность в данных приборах зависит от точности определения смещения энергетических центров изображений на ПЗС-матрице. Координаты энергетического центра изображения на ПЗС-матрице вычисляются с субпиксельной точностью. На точность измерений с использованием ПЗС-матрицы влияют многие факторы, в том числе дискретность структуры [2], из-за которой возникает методическая погрешность (МП) при определении энергетического центра тяжести изображения.

Для исследования свойств и величины МП в среде MathCAD Prime 3.0 была построена математическая модель изображения ТО в плоскости матричного фотоприёмника.

Смоделированы различные варианты рисунков тест-объекта (ТО) $T(x, y)$. Объектив формирует изображение ТО. Математически передаточная функция объектива выражается функцией рассеяния точки (ФРТ), которую можно описать функцией Бесселя 1 рода 1 порядка:

$$B(r) = \left({2J_1(m)}/{m}\right)^2,$$

где $m(r) = 2\pi/(\lambda \cdot NA` \cdot r)$ – аргумент функции Бесселя; $NA`$ – числовая апертура объектива в пространстве изображений; λ – основная длина волны объектива; $r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}$ – радиус; x, y – аргументы [3].

Для получения распределения энергии в плоскости ПЗС-матрицы необходимо произвести свёртку функций изображения ТО и ФРТ:

$$E(r) = B(r) * T(r).$$

Координаты центра тяжести изображения ТО, на ПЗС-матрице определяются как:

$$C_x = {\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m} \cdot n}\Big/{\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m}},$$

$$C_y = {\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m} \cdot m}\Big/{\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M} I_{n,m}},$$

где $I_{n,m}$ – элементы матрицы яркостей; N, M – число столбцов и строк матрицы яркостей; n, m – порядковые индексы по столбцам и строкам матрицы [4].

Далее производилось смещение изображения относительно элементов пикселей ПЗС-матрицы с шагом 1/3 dx, где dx – размер пикселя по одной координате.

МП определялась как разность между смоделированной оценкой энергетического центра тяжести и заданной.

МП в одномерном случае описывается синусоидальной функцией с периодом 1 пикс, т.е. максимальная величина ошибки возникает при смещении изображения ТО на величину 0,25 пикс и 0,75 пикс, а при смещении на 0,5 либо 1 пикс – ошибка равняется нулю относительно первоначального положения (рисунок 1):

$$F(x) = \sin(2\pi f_x x),$$

где f_x – пространственная частота ($f_x = 1/dx$), зависящая от линейного размера пикселя ПЗС-матрицы (dx) [5].

Далее производилось смещение изображения ТО на ПЗС-матрице по двум координатам (x, y) одновременно. Полученные результаты свидетельствуют об аналогичной, синусоидальной, зависимости МП от величины смещения. Максимальная величина МП также равняется 0,011 пикс.

Исследовалась зависимость МП от размера рисунка ТО (рисунок 2). Оптимальным вариантом является размер ТО равный 3, 6-9, 11, 12, 14 пикс. Стоит отметить, что в оптических приборах присутствует не только МП определения энергетического центра тяжести, но и ошибки, связанные с величиной шумов в оптико-электронном тракте. Поэтому при выборе размера рисунка ТО следует учитывать и другие факторы, которые влияют на точность измерений (в т.ч. и шумы).

Результаты компьютерного моделирования продемонстрировали синусоидальный характер МП. МП зависит от величины смещения изображения ТО на ПЗС-матрице. Это позволяет при непосредственных измерениях с помощью программного обеспечения компенсировать МП.

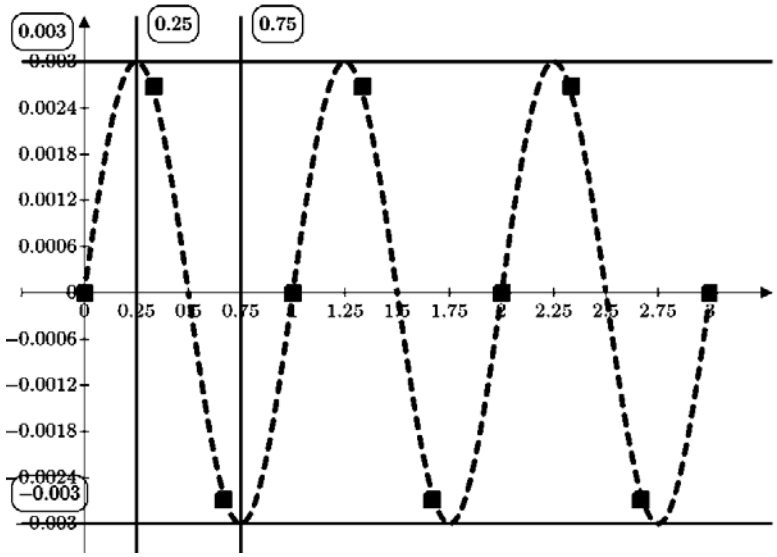


Рисунок 1 – Зависимость величины методической погрешности от смещения изображения в пределах 3 пикс (размер рисунка ТО – 6 пикс)

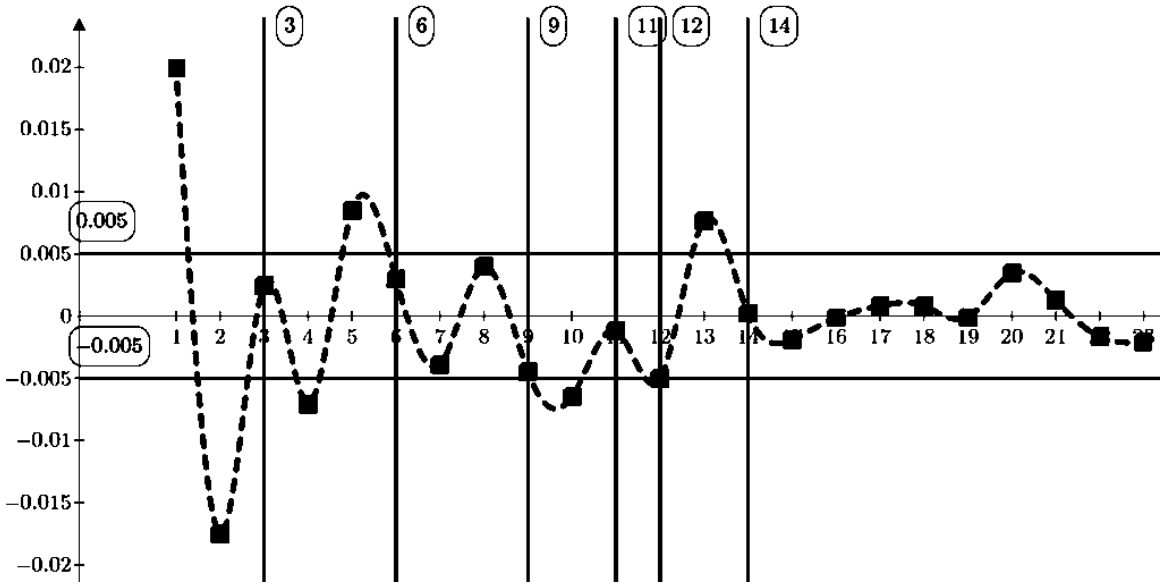


Рисунок 2 – Зависимость величины методической погрешности от размера рисунка ТО, пикс (пунктирная линия – линейная интерполяция результатов моделирования)

Исследовалась зависимость МП от размера рисунка ТО. На величину МП в данном случае влияет взаимное положение изображения ТО и пикселей ПЗС-матрицы.

1. Старосотников, Н.О. Высокоточный цифровой автоколлиматор для измерения малых углов / Н.О. Старосотников, Р.В. Фёдорцев – Сборник трудов 7-й международной студенческой научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения». Минск, Изд-во «Техническая литература» БНТУ, 2014. – С. 243.
2. Королев, А.Н. Исследование точности позиционирования изображения на ПЗС матрице / А.Н. Королев, А.И. Гарцуев – Измерительная техника, 2004, №5. С. 20-22.
3. Handbook of optics. Volume II. Design, Fabrication, and Testing; Sources and Detectors; Radiometry and Photometry. Third edition. Michael Bass, Virendra N. Mahajan, Eric Van Stryland, 2010.
4. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физмалит, 2003 – 784 с.
5. Аванесов, Г.А. Исследование смещения энергетического центра изображений звёзд относительно геометрического центра на ПЗС матрице и коррекция методической ошибки. / Г.А. Аванесов, Т.В. Кондратьева, А.В.Никитин – Таруса, 22-25 сентября 2008. Сборник трудов. ИКИ РАН, 2009.

УДК 620.179.14

КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПО ГРАДИЕНТУ ПОЛЯ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ

Счастный А.С., Осипов А.А.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Использование листового проката низкоуглеродистых сталей для холодной штамповки регламентирует ГОСТ 9045-93 [1]. В нем для проката по способности к вытяжке приводятся требования по механическим свойствам: пределу текучести, временному сопротивлению, относительному удлинению, твердости и глубине сферической лунки (ГОСТ 10510). Однако, как отмечается в [2], эти параметры не обеспечивают надежной штампуемости листа на производстве, поэтому ГОСТ 9045-93 [1] допускает изготовление проката без механических испытаний, если он штампуется у потребителя. Разрешается использование статистических и неразрушающих методов контроля.

Поэтому актуальной остается задача по разработке методов и средств неразрушающего контроля, которые чувствительны к изменению свойств листа при прокатке и гарантируют пригодность его к штамповке [3]. Одним из них, который получил широкое распространение на металлургических и машиностроительных заводах, является магнитный метод [3-6], использующий связь магнитных свойств со структурным состоянием материала.

Вопросам штампуемости металла при разной степени вытяжки изделий посвящено большое число исследований [2, 7-9]. Поскольку штампуемость зависит от свойств металла, используемой обработки и требуемой категории вытяжки изделия, то разработаны и разрабатываются разнообразные показатели штампуемости [2, 10].

В ряде случаев используют коэффициент механической анизотропии [2, 3, 7]

$$R_{\varphi} = \frac{\ln(b/b_0)}{\ln(t/t_0)}\ , \qquad (1)$$

где b и b_0 – текущая и первоначальная ширина, t и t_0 – текущая и первоначальная толщина образца, φ – угол между направлением, в котором вырезался образец для механических испытаний, и прокаткой.

Механические измерения проводят на участке равномерной деформации при испытаниях на растяжение. Так, согласно результатам работы [8], на предельный коэффициент вытяжки существенно влияет коэффициент нормальной анизотропии, а не показатель деформационного упрочнения.

На практике используется как коэффициент механической анизотропии или их комбинация в конкретном направлении (0º, 45º, 90º и ряду других), так и некоторое среднее значение, причем вариантов усреднения несколько [7].

С использованием результатов механических испытаний нами вычислялся коэффициент нормальной анизотропии по формуле

$$R_n = 0{,}25(R_0+2R_{45}+R_{90}), \qquad (2)$$

где R_0, R_{45}, R_{90} – значения R_φ в направлениях 0, 45 и 90º.

Объектом исследований являлись образцы листового проката, которые предоставлены комбинатом FQZ (Германия). Толщина проката 0,8 мм, размеры образцов 1000х1000 мм^2. Были проведены механические испытания на соседних участках листового проката, где вырезались пластины в трех направлениях относительно прокатки. Для каждого из этих направлений при испытаниях на растяжение измерялись размеры b, b_0, t и t_0, а величина коэффициента механической анизотропии R_φ вычислялась по формуле (1).

Для уменьшения влияния на результаты магнитных измерений неоднородности свойств листового проката (механических и магнитных) проводился отбор образцов исходя из измерений в эквивалентных областях листов [11].

При измерении магнитной анизотропии образцов листового проката в каждом из направлений создавалось магнитное поле в плоскости листа. Направленное магнитное поле формировалось двумя встречно включенными прямоугольными плоскими катушками с размерами 210х55 мм^2, оси которых устанавливались нормально к поверхности листа без зазора. Расстояние между осями катушек 141 мм. Намагничивание осуществлялось одним однополярным импульсном магнитного поля, направленным вдоль и поперек направления прокатки. Величина импульсного магнитного поля на торцах прямоугольных катушек составляла $2\cdot10^5$, $7\cdot10^4$ и $3{,}5\cdot10^4$ А/м. Длительность намагничивающего импульса 15 мс.

Для измерений был выбран градиентометр, который располагался тангенциально на листе между катушками вдоль направления намагничивающего поля. Информативными параметрами являлись остаточные тангенциальные поля при намагничивании вдоль и поперек направления прокатки.

По результатам измерений строились зависимости величины градиента напряженности

магнитного поля от рассчитанного значения коэффициента нормальной анизотропии R_n (2). По экспериментальным данным строились линейные модели.

Из полученных данных следует, что наибольший коэффициент корреляции имеет место при намагничивании и измерении перпендикулярно направлению прокатки и равен 0,73 для наибольшей величины намагничивающего поля ($2 \cdot 10^5$ А/м). С уменьшением величины поля значение коэффициента корреляции падает, соответственно, до 0,66 и 0,61.

При намагничивании и измерении вдоль направления прокатки полученная зависимость от величины максимального импульсного поля обратная. Наибольший коэффициент корреляции наблюдается при наименьшей величине намагничивающего поля ($3{,}5 \cdot 10^4$ А/м) и равен 0,62, а с увеличением поля значение коэффициента корреляции падает, соответственно, до 0,5 ($7 \cdot 10^4$ А/м) и 0,44 ($2 \cdot 10^5$ А/м).

Такой результат выявляет сложный характер зависимости между формированием магнитной и механической анизотропии. Причем механическая анизотропия может оказывать как отрицательное, так и положительное [7] влияние на пригодность материала к штамповке в производственных условиях. Данное обстоятельство налагает дополнительные требования к приборам неразрушающего контроля, особенно на стадии поиска корреляции и при внедрении.

Более высокие корреляции были выявлены между величиной градиента напряженности остаточного магнитного поля и коэффициентами механической анизотропии R_φ, вычисленными по формуле (1).

Найдено, что наибольший коэффициент корреляции получается для коэффициентов механической анизотропии R_{90}, причем наибольшее значение получается при намагничивании поперек прокатки и равно 0,82.

Несколько ниже коэффициенты корреляции для максимального импульсного намагничивающего поля ($2 \cdot 10^5$ А/м) для измерения поперек и вдоль прокатки: 0,76 и 0,78. Для других значений максимального поля и направлений измерения градиента напряженности остаточного магнитного поля коэффициенты корреляции для R_{90} ниже, но не меньше 0,58. Чувствительность к конкретной компоненте может оказаться полезной на практике.

Можно заключить, что значения коэффициентов нормальной анизотропии R_n (а также коэффициентов анизотропии R_{90}) листового проката низкоуглеродистой стали возможно контролировать по величине градиента напряженности остаточного магнитного поля в центре между прямоугольными намагничивающими катушками при намагничивании импульсным полем.

1. ГОСТ 9045-93: Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия. – Введ. 01.01.97. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. – 18 с.
2. Востриков, А.А. Новый показатель штампуемости автолиста / А.А.Востриков, В.В. Гайдук, Г.Э.Аркулис // Сталь. – 1982. – № 1. – С. 67-71.
3. Матюк, В.Ф. Состояние неразрушающего контроля штампуемости листового проката сталей / В.Ф.Матюк // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2012. – № 3. – С. 15-42.
4. Мельгуй, М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей / М.А.Мельгуй. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.
5. Михеев, М.Н.. Связь магнитных свойств со структурным состоянием вещества – физическая основа магнитного структурного анализа (обзор) / М.Н.Михеев, Э.С.Горкунов // Дефектоскопия. – 1981. – № 8. – С. 5–21.
6. Михеев, М.Н. Магнитные методы неразрушающего контроля структурного состояния и прочностных характеристик термически обработанных изделий (обзор) / М.Н.Михеев, Э.С.Горкунов // Дефектоскопия. – 1985. – № 3. – С. 3-21.
7. Шевелев, В.В. Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку / В.В.Шевелев, С.П.Яковлев – М.: Машиностроение, 1972. – 133 с.
8. Аверкиев, А.Ю. Влияние нормальной анизотропии и упрочнения на предельный коэффициент вытяжки / А.Ю.Аверкиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 11. – С. 14-18.
9. Аверкиев, А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла / А.Ю.Аверкиев – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
10. Востриков, А.А. Оценка штампуемости холоднокатаных листов из стали 08Ю по комплексному показателю F / А.А.Востриков, Т.В. Баклушина, Н.Л.Яценко, И.Ю.Надеина // Сталь. – 1989. – № 8. – С. 51-55.
11. Счастный, А.С. Исследование возможности контроля коэффициента нормальной анизотропии листового проката стали импульсным магнитным методом / А.С.Счастный, А.А.Осипов // Материалы 5-ей международной научно-технической конференции и выставки «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». Могилев, 24-25 сентября 2014 г.

УДК 681.3

ГЕТЕРОПЕРЕХОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Сычик В.А., Стромская М.С., Уласюк Н.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для контроля интенсивности оптических излучений широко используются полупроводниковые фотопреобразователи типа вентильных фотоэлементов, конструктивно реализуемых на основе p-n переходов [1, 2]. Однако такого типа фотопреобразователи обладают недостаточно высокой чувствительностью, коэффициентом преобразования и номиналами рабочих напряжений. Нами разработан гетеропереходный преобразователь оптических излучений (ГПОИ), обладающий высокой чувствительностью, коэффициентом преобразования оптического сигнала в электрический и высокой стабильностью в работе.

Конструктивно ГПОИ состоит из полупроводниковой p_{var}-p-n переход - n_{var}-n – фоточувствительной структуры, включающей p_{var}-слой из широкозонного полупроводника, p-n переход из широкозонного полупроводника, варизонный слой n_{var} и n-слой из узкозонного полупроводника, который посредством сильнолегированного n^+-слоя из того же узкозонного полупроводника электрически контактирует с металлическим основанием. Для эффективного поглощения квантов оптического излучения (фотонов) с энергиями $E_{g1} \le h\nu \ge E_{g2}$, и исключения появления области с высокой рекомбинацией носителей заряда на p-области p-n перехода сформирован методом молекулярно-лучевой эпитаксии, жидкофазной или газофазной эпитаксии слаболегированный p-варизонный слой, представляющий твердый раствор интерметаллического соединения $A^m_{1x}A^m_{2\,1-x}B^n$. Параметр степени концентрации компонента в растворе X изменяется от нуля до единицы, причем со стороны p^+-слоя он представляет материал этой области, например $A^m_2B^n$, а со стороны p-области p-n перехода – материал этого слоя, то есть соединения $A^m_1B^n$. Для достижения оптимального разделения генерированных в p-варизонном слое носителей заряда ширина этого слоя не должна превышать диффузионной длины избыточных носителей заряда и составляет (0,4 – 0,8) Ld, причем она максимальная для полупроводников с высокой подвижностью носителей заряда.

С целью расширения диапазона оптических излучений в сторону инфракрасной области используется узкозонный n-слой и слаболегированный варизонный слой n_{var}. Варизонный слой n_{var} сформирован методом молекулярно-лучевой или газофазной эпитаксии, представляющий твердый раствор интерметаллического соединения $A^m_{1x}A^m_{2\,1-x}B^n$. Параметр степени концентрации компонента в растворе X изменяется от нуля до единицы, причем со стороны n-слоя из узкозонного полупроводника он представляет материал этого слоя - $A^m_2B^n$, а со стороны n-области p-n перехода – материал этой области, то есть соединение $A^m_1B^n$. Например, если материалом n-области p-n перехода является GaAs с E_{g2} = 1,43 эВ, а материалом n-слоя – InAs с E_{g3} = 0,36 эВ, то n-варизонный слой n_{var} 3 реализуется из материала $Ga_xIn_{1-x}As$, причем структура верхней границы слоя с параметром X = 1 представляет GaAs, а структура нижней границы слоя представляет InAs с параметром X = 0.

Принцип работы гетеропереходного преобразователя оптических излучений поясняет зонная диаграмма, изображенная на рисунке 1.

При воздействии квантов оптического излучения (фотонов) на рабочую поверхность фоточувствительной структуры ГПОИ со стороны электропроводящего просветляющего слоя фотоны с энергиями $E_v \le E_{g1}$, проходят просветляющий слой, сильнолегированный широкозонный p^+-слой и достигают фоточувствительную структуру. В ее слоях p_{var} 1, n_{var} 3, узкозонном n-слое, то есть в диапазоне энергий от 2,15 эВ до 0,36 эВ, а также на примесных уровнях этих слоев с энергиями $\Delta E_{D,A}$ от 0,2 до 0,1 эВ генерируются избыточные неравновесные носители заряда. Избыточная концентрация фотогенерированных электронов и дырок в каждом из фоточувствительных слоев определяется в соответствии с зависимостями:

$$\Delta n = \beta\eta I_v\tau_n,\ \Delta p = \beta\eta I_v\tau_p, \qquad (1)$$

где β - квантовый выход носителей заряда; η - коэффициент поглощения оптического излучения; I_v - интенсивность потока оптического излучения; τ_n, τ_p – время жизни неосновных электронов и дырок.

Рисунок 1 – Зонная диаграмма гетеропереходного преобразователя оптических излучений

Фотогенерированные в p-варизонном слое и обедненных областях p-n перехода, в n-варизонном слое и узкозонном n-слое носители заряда, а также на их примесных донорных и акцепторных уровнях электроны и дырки разделяются p-n переходом, причем электроны под действием электрического поля p-n перехода, электрических полей слоев p_{var} 1 и n_{var} 3 устремляются к сильнолегированному слою n^+ и металлическому основанию 6, а дырки в указанных слоях и областях движутся под действием сил электрического поля варизонных слоев и p-n перехода к сильнолегированному p^+ слою, проводящему просветляющему слою и омическому контакту. Омический контакт находится под положительным потенциалом вследствие притока к нему дырок, а металлическое основание – под отрицательным потенциалом ввиду притока электронов. Вследствие разделения фотогенерированных электронов и дырок через p–n переход течет электрический ток

$$I_a = I_s\left[exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right)-1\right]-I_\phi \qquad (2)$$

и возникает фотоэдс в фоточувствительной структуре ГПОИ, максимальное значение которой при холостом ходе

$$E_0 = U_{am} = \frac{kT}{e} ln(I_\phi / I_s), \qquad (3)$$

где I_ϕ – максимальная плотность фототока, соответствующая интенсивности потока оптических излучений; I_s – ток насыщения p-n перехода; U_a – приложенное к p-n переходу собственное напряжение.

В общем случае при заданной интенсивности оптического потока фотонов концентрация фотогенерированных избыточных носителей Δn и Δp определяется выражением (1), а фототок I_ϕ определяется из зависимости

$$I_\phi = e(\Delta n\mu_n + \Delta p\mu_p). \qquad (4)$$

Поскольку фоточувствительной структурой ГПОИ активно поглощается широкий спектр фотонов с энергиями от E_{g1} до энергии узкозонного n-слоя с E_{g3} и с энергиями донорного E_D и акцепторного E_A уровней, то избыточные концентрации носителей заряда Δn и Δp в предложенном устройстве значительно выше, следовательно выше выходное напряжение и ток, чем у прототипа, а также существенно возрастает диапазон энергии фотонов в спектре оптического излучения от видимой области до дальней инфракрасной.

Создано экспериментальное устройство – гетеропереходный преобразователь оптических излучений с фоточувствительной структурой p_{var} – p-n переход - n_{var} – n узкозонный полупроводник, которое является преобразователем с p-n переходом на основе арсенида галлия. n^+ -слой выполнен из InAs, легированный Te с концентрацией $N_D \cong 5\cdot10^{19}$ см$^{-3}$ и толщиной 1,2 мкм.

Экспериментальный гетеропереходный преобразователь оптических излучений размером полезной площади 10 х 5 мм при интенсивности оптического излучения с энергией P_Σ = 65 мВт/см^2 позволяет получать I_{amax} = 0,2 А; $U_{выхmax}$ = 1,4 В; диапазон спектральной чувствительности Δλ = 0,4 … 13 мкм. Для аналогов одинаковых размеров эти параметры составляют: U_{am} = 0,78 В; I_{amax} = 25 мА; Δλ = 0,4 … 1 мкм.

1. Махнин, В.П.Фотоприемник с внутренним усилением на основе гетероперехода сульфид-теллурид кадмия / В.П. Махнин // Микроэлектроника. -1998. 27 №2. – с.90-92.
2. Аверин, С.В. Быстродействующие фотодетекторы с большой площадью активной области на основе полупроводниковых структур с барьером Шотки/ С.В. Аверин, Ю.В. Гуляев, М.Ю. Дмитриев и др.// Квантовая электроника. -1996. 23, №3. – с.284-286.

УДК 681.3

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Сычик В.А., Стромская М.С., Уласюк Н.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Преобразователь солнечной энергии в электрическую – это экологически чистый возобновляемый источник электрической энергии основной источник электропитания в космической аппаратуре. Важнейшими из этого класса преобразователями являются полупроводниковые преобразователи солнечной энергии в электрическую, конструктивно реализуемые на основе p-n переходов [1, 2].

Нами разработан преобразователь солнечной энергии в электрическую (ППСЭ), который в сравнении с аналогами обладает повышенными значениями выходной электрической мощности и стабильностью в работе.

Конструктивно полупроводниковый преобразователь солнечной энергии в электрическую (ППСЭ) состоит из полупроводниковой p^+-i-n-p-p^+фоточувствительной структуры, включающей i-слой широкозонного полупроводника, n-слой широкозонного полупроводника и p-слой так же одноименного широкозонного полупроводника. На p-слое широкозонного полупроводника сформирован p+-слой, который размещён на металлическом основании и является омическим контактом к этому основанию.

Принцип работы полупроводникового преобразователя солнечной энергии поясняет зонная диаграмма, изображенная на рисунке 1.

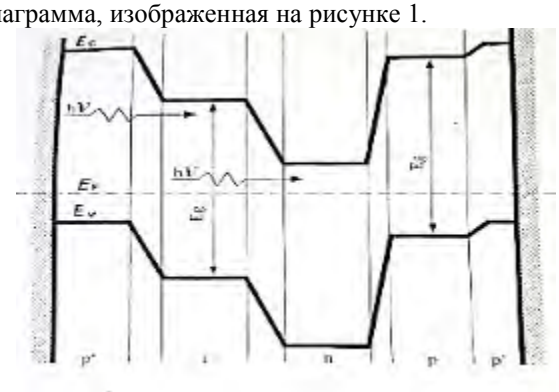


Рисунок 1 – Зонная диаграмма полупроводникового преобразователя солнечной энергии

При воздействии квантов света на рабочую поверхность ППСЭ со стороны просветляющего слоя фотоны с энергиями Eν≥Ed, где Ed ширина запрещенной зоны широкозонного полупроводника, проходят просветляющий слой, p+-слой широкозонного полупроводника, достигают i-слой собственной проводимости и создают в i-слое широкозонного полупроводника избыточную концентрацию носителей. Избыточная концентрация фотогенерированных электронов и дырок в i-слое определяется из зависимости:

$$\Delta n = \beta\eta I\nu\tau n,\ \Delta p = \beta\eta I\nu\tau p, \qquad (1)$$

где β - квантовый выход; η - коэффициент поглощения света в i-слое; Iν- интенсивность света; τn, τp – время жизни избыточных электронов и дырок.

Фотогенерированные дырки разделяются полем второго i-n перехода фоточувствительной структуры и движутся под действием электрического поля первого p+-i перехода к омическому контакту, а фотогенерированные электроны в i-слое движутся под действием электрического поля второго i-n перехода через n-слой к третьему n-p переходу фоточувствительной структуры ППСЭ.

Вследствие разделения зарядов на последовательно соединённых p+-iи i-n переходах возникает суммарная фото ЭДС Ud, максимальное значение которой при холостом ходе

$$Ud\max = \frac{kT}{e}\ln\left(\frac{I\phi}{Is}\right) \qquad (2)$$

и течет ток через i-n переход, обусловленный оптически генерированными электронами и дырками

$$I_a = I_s\left[\exp\left(\frac{eU_a}{kT}\right)-1\right]-I_\phi. \qquad (3)$$

Здесь Iф – максимальная плотность фототока, соответствующая данной освещенности; Is– ток насыщения n-p перехода.

В общем случае при заданной интенсивности света фототок, обусловленный избыточными носителями заряда с концентрациями Δn и Δp определяется выражением:

$$I\phi = e(\Delta n\mu n + \Delta p\mu p)Ud. \qquad (4)$$

Напряжение Ud прямой полярности и градиент концентрации носителей в n-слое широкозонного полупроводника обеспечивают инжекцию электронов из n-слоя через третий резкий n-p переход в p-слой, причем плотность тока через него при последовательном соединении всех трёх переходов фоточувствительной структуры одинакова и равна значению тока Ia. Инжектирующие в p-слой широкозонного полупроводника электроны на ширине данного слоя поглощают из кристаллической решетки p-слоя энергию, повышая её до величины энергии электронов в p-слое. В результате отбора электрической энергии инжектированными электронами от

кристаллической решётки p-слоя 3 её температура понижается и соответственно снижается температура ППСЭ. Величина поглощаемой тепловой энергии определяется зависимостью

$$Q = \Pi It, \quad (5)$$

где П – коэффициент Пельтье; I=Ia·S– ток, протекающий вр-слое3широкозонного полупроводника сечением S; t– время протекания тока. Поскольку для p- из n перехода из невыраженных полупроводников

$$\Pi = A * \frac{kT}{e} \ln \frac{n_n}{n_p}, \quad (6)$$

где А –коэффициент, учитывающий соотношение энергий электронов в p- и n- областях; nn и np – концентрация собственных электронов в n- и p- слоях p-n перехода, причём соотношение $\ln(nn/np) \geq 6$, то температура ППСЭ понижается до отрицательных значений, обеспечивая резкое снижение концентрации собственных носителей заряда в i-слое широкозонного полупроводника, увеличение диффузионной длины носителей заряда и соответственно резкое повышение концентрации фотоносителей Δn и Δp, то есть величину фототока Iф.

Величина фото ЭДС определяется суммарной высотой потенциальных барьеров первого p+-i слоя и второго i-n переходов и составляет $\Delta U \approx (0{,}8 – 1{,}0)$ В.

Создано экспериментальное устройство – полупроводниковый преобразователь солнечной энергии, который может использоваться как элемент-модуль солнечной электростанции. Устройство выполнено структурой p+-iSi резкий переход i-nSi плавный переход и n-pSi резкий переход с омическими контактами из светопроводящего прозрачного окисла олова.

Экспериментальный полупроводниковый преобразователь солнечной энергии размером полезной площади 48 х 48 мм при интенсивности солнечного излучения PΣ= 65 мВт/см2 позволяет получать I = 0,32 А, рабочее напряжение0,8 В, полезную выходную мощность Pвых≈ 0,256 Вт. Рабочая температура Tр ≈ -2 ˚С, расчётная надёжность безотказной работы ППСЭ составляет 105 часов. Для аналогов эквивалентных размеров эти параметры составляют: I≈0,11А;Pвых ≈ 0,15 Вт;Tр≈25˚С и надежность работы не выше 2·104 часов.

На базе предлагаемого ППСЭ при использовании матрицы элементов может быть создана солнечная батарея электрической энергии больших мощностей, используемая как автономный источник электроэнергии в стационарных, подвижных и космических объектах.

1. Афанасьев, В.П. Приемники излучения на основе аморфного гидрогенизированного кремния/ В.П. Афанасьев, В.А. Васильев // Известия С. – Петербургского электротехнического университета. – 1994, №471.-с.46-68.
2. Мирсагатов, Ш.А. Фотоприемники с управляемым спектром фоточувствительности / Ш.А. Мирсагатов, Б.И Айтбаев, В.М. Рубинов // Физика и техника полупроводников. -1996. 30.№3. –с.-550-557.

УДК 621.382.002

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ РЕАКТИВНЫМ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ КВАРЦА

Телеш Е.В.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

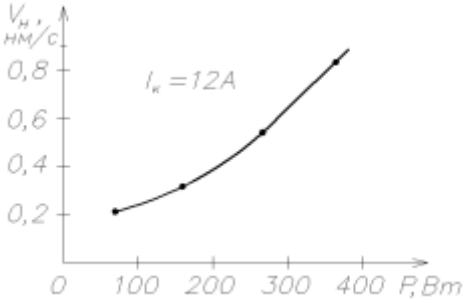
Пленки оксинитрида кремния широко применяются в микроэлектронике и оптике благодаря сочетанию свойств SiO_2 и Si_3N_4 [1, 2]. Обычно их получают осаждением из смесей газов или распылением кремния ионами аргона, кислорода и азота. В последнем случае необходимо точно поддерживать соотношение активных газов. Для упрощения процесса было предложено распылять мишень из кварца ионами аргона и азота. Покрытия получали на подложках кремния, арсенид галлия и стекла ионно–лучевым распылением кварцевой мишени ионами аргона и азота.

Проведено исследование зависимости скорости нанесения $V_н$ от мощности плазменного разряда P, степени компенсации заряда на мишени и состава рабочего газа (рисунок 1). Остаточный вакуум в камере не превышал $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. Рабочий вакуум в процессе нанесения составлял от $3{,}3 \cdot 10^{-4}$ до $6{,}3 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. Содержание азота при этом составляло около 25%.

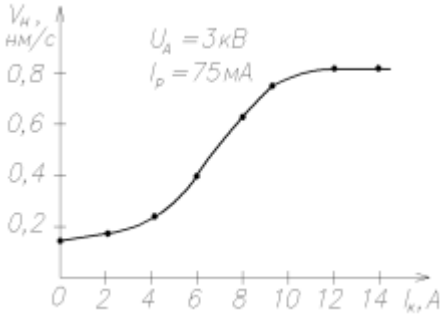
Увеличение P приводит к росту $V_н$. При эффективной компенсации заряда на мишени также наблюдается увеличение $V_н$.

На рисунке 2 приведена зависимость скорости нанесения и травления в травителе $NH_4F:H_2O:HF$+150:300:60 процентного содержания азота в рабочем газе. Установлено, что увеличение доли азота в рабочем газе снижает $V_н$, что связано с меньшим коэффициентом распыления кварца ионами азота по сравнению с аргоном. В то же время снижение $V_н$ способствует повышению плотности пленок, что выражается в уменьшении их скорости травления. Реализуе-

мый диапазон скоростей напыления плёнок является приемлемым для технологических процессов формирования диэлектрических слоев токопроводящих систем.



а



б

Рисунок 1 − Зависимость скорости нанесения покрытий от мощности разряда (а) и тока компенсатора (б)

Для измерения электрофизических параметров формировали тестовые структуры никель/SiON/кремний. Диэлектрические слои наносились при температуре около 100^0С. Исследовалось влияние состава рабочего газа и тока компенсатора $I_к$ на параметры покрытий.

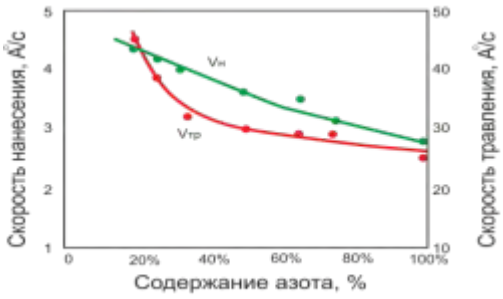


Рисунок 2 − Зависимость скорости нанесения покрытий и травления от содержания азота

Добавка азота к аргону привела к снижению диэлектрической проницаемости ε, хотя нитрид кремния имеет большее значение ε, чем SiO_2. Влияние состава рабочего газа на тангенса угла диэлектрических потерь tgδ неоднозначно. Минимальное значение tgδ плено SiON достигается при 30–50% содержания азота. Рост $I_к$ приводил к увеличению $E_{пр}$ с $0{,}5\cdot10^6$ до $2\cdot10^6$ В/см. В тоже время $E_{пр}$ практически не зависела от состава рабочего газа.

С целью выяснения состава полученных покрытий проводились измерения ИК–спектров пропускания. Спектры пропускания плёнок SiON, полученных при различном содержании азота, приведены на рисунке 3. Спектры регистрировались двухлучевым спектрофотометром ИКС-29 в спектральной области 1400–400 $см^{-1}$ (7,14–25 мкм). Полученные пленки имели две характерные полосы поглощения: полосу около ν_{as} = 1085 $см^{-1}$, соответствующую валентным антисимметричным колебаниям Si→←O←Si и полосу около δ_{as} = 800 $см^{-1}$, соответствующую деформационным дважды вырожденным колебаниям Si – O – Si.

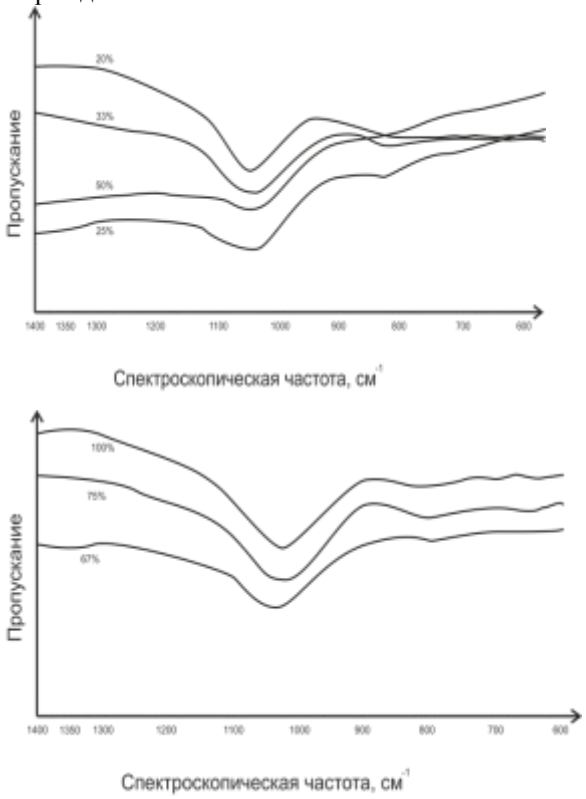


Рисунок 3 − Спектры ИК пропускания покрытий SiON

Положение максимума полосы ν_{as} = 1085 $см^{-1}$ практически не зависела от энергии распыляющих ионов, в то же время состав газа оказывает влияние на положение максимума. На рисунке 4 приведена зависимость положения максимума полосы ν_{as} = 1085 $см^{-1}$ от процентного состава азота в рабочем газе. Наиболее яркий максимум поглощения получен при 50% –ном содержании азота. Покрытия, полученные ионно–лучевым распылением не содержали ОН–группы в коли-

честве, которое может быть определено методом ИК–спектроскопии. Это свидетельствует о высокой плотности пленок.

Качество диэлектрических плёнок во многом определяется адгезией его к подложке. Это имеет особое значение при использовании двухуровневых систем металлизации. В этом случае необходимо обеспечить также адгезию диэлектрических плёнок к металлу первого уровня.

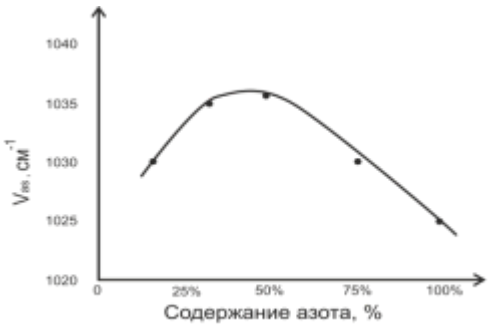


Рисунок 4 − Зависимость положения максимума полосы поглощения от процентного содержания азота

Метод ионно-лучевого распыления, как правило, обеспечивает отличную адгезию из-за более высокой энергии осаждаемых частиц по сравнению с термическим испарением, пиролизом и другими методами. Установлено, что диэлектрические плёнки, сформированные ионно-лучевым распылением, обладают адгезией, которая в 2–4 раза выше, чем у плёнок, полученных низкотемпературным окислением и электронно–лучевым испарением, т.е. подтверждается положение об энергетической зависимости величины адгезии. Об этом свидетельствуют также и зависимость адгезии покрытий, полученных ионно–лучевым распылением, от режимов напыления. Результаты измерений свидетельствуют, что наибольшей адгезией обладали плёнки, сформированные при больших ускоряющих напряжениях и токах компенсатора. Эти условия процесса способствуют увеличению энергии распыленных частиц.

1. Konofaos, N. Electrical characterization of the SiON/Si interface for applications on optical and MOS devices/ N.Konofaos, E/K/Evangelou// Semicond. Sci. Technol.–V.18. –2003.–P.56–59.
2. Pandey, R.K. Crowth and characterization of SiON thin films by using thermal CVD machine / R.K.Pandey, L.S.Patil, J.P.Bange, D.R.Patil, A.M.Morajan, D.S.Patil,D.K.Cauntam //Optical materials.–V.25.–2004.–P.1–7

УДК 621.382.002

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАНЕСЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Телеш Е.В., Титова В.М.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Новый метод нанесения тонких пленок посредством генерации потока ионов пленкообразующих газов из пучкового фокуса является перспективным для различных покрытий [1]. Его суть заключается в том, при определенных условиях в ионном источнике на основе ускорителя с анодным слоем имеет место формирование зоны вторичного разряда. Зона этого разряда имеет форму слаборасходящегося пучка ионов [2].

Экспериментальные исследования проводили на модернизированной установке вакуумного напыления ВУ-1А. Внешний вид подколпачного устройства представлен на рисунке 1, а полученный ионный пучок на рисунке 2.

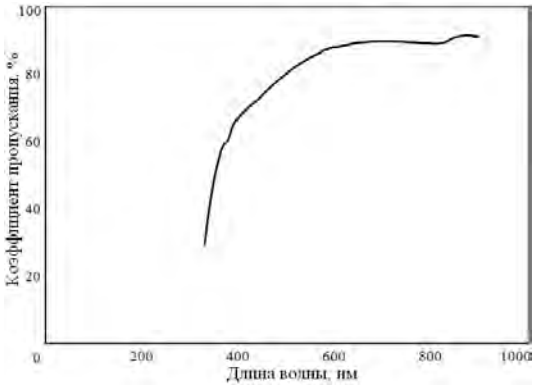
Проведено исследование влияния скорости нанесения $V_н$ на структурно-фазовые, электрофизические и оптические характеристики покрытий из диоксида кремния, полученных осаждением из вторичного ионного пучка. В качестве рабочих газов использовались, смесь 5%SiH_4+95%Ar и кислород. Покрытия наносились на неподвижную подложку. при температуре последней 50ºС. Парциальное содержание кислорода составляло $(2{,}5–3{,}2)\cdot10^{-4}$ мм рт.ст., потенциал диафрагмы – 0.

Рисунок 1 – Внешний вид подколпачного устройства установки ВУ-1А

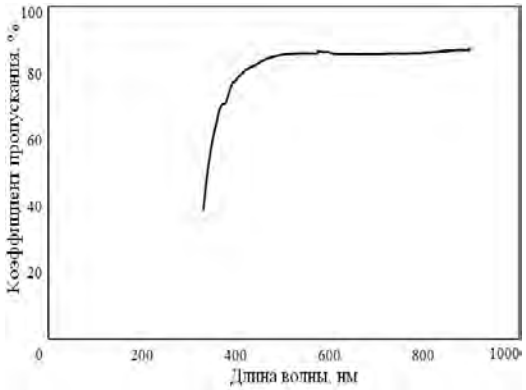
В видимом диапазоне коэффициент пропускания составлял 0,80 – 0,92 и зависел от $V_н$. На рисунке 3, а приведен спектр пропускания

пленки SiO_2, полученной при $V_н$ =0,33 нм/с, а на рисунке 3, б – при $V_н$=0,45 нм/с. Установлено, что увеличение $V_н$ способствовало росту пропускания в УФ и видимой области спектра.

Рисунок 2 – Внешний вид ионного пучка



а

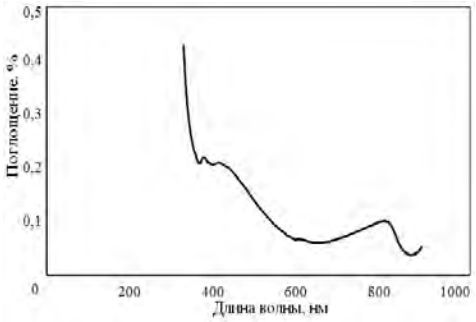


б

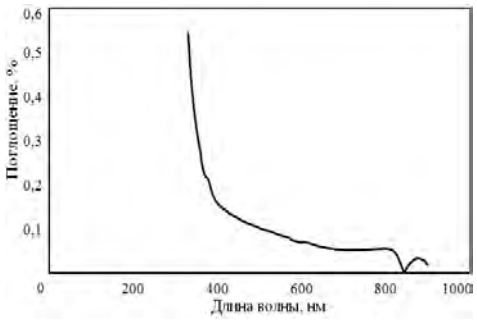
Рисунок 3 – Спектры пропускания пленок SiO_2, полученных при различных $V_н$

Измерение спектров поглощения также показало, что покрытия, полученные при больших скоростях нанесения, обладали и меньшим поглощением (рисунок 4).

В тоже время ИК спектры пленок не претерпевали значительных изменений (рисунок 5).

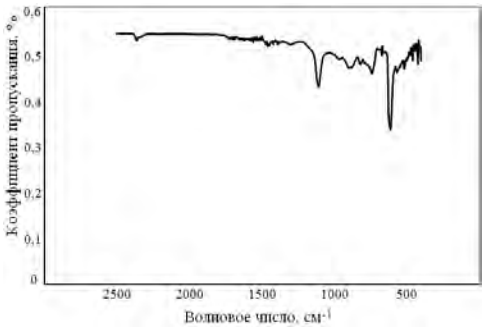


а

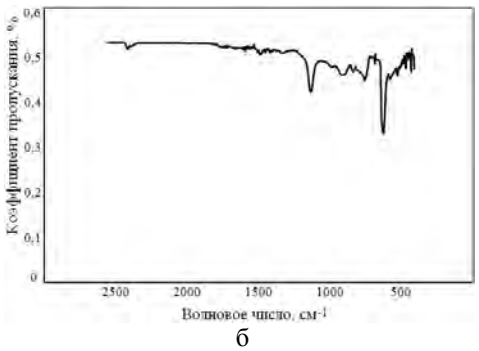


б

Рисунок 4 – Спектры поглощения пленок SiO_2, полученных при $V_н$ =0,33 нм/с (а) и при $V_н$=0,45 нм/с (б)



а



б

Рисунок 5 – Спектры ИК поглощения пленок SiO_2, полученных при $V_н$ =0,33 нм/с (а) и при $V_н$=0,45 нм/с (б)

Исследовано влияние с $V_н$ на ε, tgδ и $E_{пр.}$ $V_н$ изменялась в диапазоне 0,33...0,48 нм/с. Её изменение осуществлялось путем варьирования

мощности первичного пучка. Результаты измерения электрофизических параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1– Результаты измерения электрофизических параметров пленок диоксида кремния

№ обр.	$V_н$, нм/с	ε	tgδ	$E_{пр}$, В/см
1	0,33	5,1	0,170	$2{,}1\cdot10^5$
2	0,43	5,3	0,420	$3{,}8\cdot10^5$
3	0,48	4,2	0,146	$5{,}0\cdot10^5$

Установлено, что $V_н$ неоднозначно влияет на диэлектрическую проницаемость. Тангенс угла диэлектрических потерь сначала увеличивался, а затем снижался, а электрическая прочность повышалась с увеличением $V_н$.

Таким образом, повышение скорости приводит к формированию более качественных покрытий.

1. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и наноэлекторники: монография / А.П. Достанко [и др.]; под общей ред. А.П. Достанко, А.М. Русецкого.– Минск: Беспринт.– 2011.– 210 с.
2. Телеш, Е.В. Применение вторичного разряда в ускорителе с анодным слоем для формирования оптических покрытий из диоксида кремния / Е.В.Телеш, А.П.Достанко // Технология обработки оптических элементов и нанесения вакуумных покрытий: тезисы докладов научно-практич. конф., г.Минск, 26–27 сентября 2013 г., ОАО «ММЗ им. В.И.Вавилова»; отв. за выпуск Б.Н.Сеник [и др.].–Минск, 2013.– С.19–20.

УДК 681.2

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОСТАЗА НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Ушакова А.А., Бондарик В.М.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Введение. Контактируя со всеми органами и тканями, кровь переносит огромное количество веществ и является чрезвычайно тонким зеркалом отражающим влияние различных внешних и внутренних воздействий на организм. Система кровообращения выполняет очень важные и многообразные функции в организме и учитывая большую протяженность крайне уязвима.

Нормальная система гемостаза призвана обеспечивать постоянное балансирование между тромбообразованием и поддержанием крови в жидком состоянии. Возможны три принципиально различных ситуации, когда требуется исследование системы гемостаза:

- подозрение на склонность к кровотечениям по клиническим данным;
- обнаружение отклонений при скрининговых исследованиях;
- развитие острой недостаточности гемостаза у пациентов с острой патологией либо в послеоперационном периоде[1].

Основная часть. Современная лабора-торная диагностика системы гемостаза основана на понимании общебиологических закономерностей функционирования и выбора адекватных методов их оценки. Эти методы можно разделить на три категории: иммунологические, коагуляционные и амидолитические. Коагуляционные тесты, проводимые в лабораториях, представляют, по сути, попытку повторить *in vitro* процессы, происходящие *in vivo* и основаны на измерении промежутка времени с момента внесения реагента, запускающего каскад свертывания, до момента коагуляции – образования фибринового сгустка. Определение окончания реакции в разных коагулометрах осуществляется по-разному, но чаще всего применяются следующие методики:

- электромеханические (момент окончания реакции определяется по изменению магнитного поля стального шарика, который приводится в движение образующимися нитями фибрина)
- фотооптические (момент окончания реакции определяется по изменению рассеивания, поглощения или интенсивности пучка проходящего света)
- электрохимические (момент окончания реакции определяется по изменению электрического сопротивления тест-полоски с реактивами).

Однако все выше описанные методы имеют свои недостатки и не всегда удовлетворяют в достаточной мере требованиям к качеству исследований, особенно при исследовании протромбинового времени. В связи, с чем и было предложено исследовать параметры гемостаза с помощью ультразвука, как наиболее универсального средства измерения.

В предложенном ранее методе [2] определения активированного частичного тромбопластинового времени (АЧТВ) и протромбинового времени (ПТВ) в качестве информативного параметра используется амплитуда ультразвукового сигнала.

Основным недостатком этого метода является то, что амплитуда сигнала сильно зависит от качества акустического контакта, которое тяжело обеспечить при небольших размерах исследуемой кюветы. В связи с этим мы предлагаем в качестве

информативного параметра использовать не амплитуду, а фазу ультразвукового сигнала, что позволит добиться лучшей стабильности результатов, так как изменение фазы ультразвукового сигнала не зависит от состояния акустического контакта между ультразвуковыми датчиками и кюветой.

Предлагаемый метод ультразвукового контроля системы гемостаза, основан на анализе изменения фазовой скорости ультразвука, проходящего через исследуемый образец. На кювету с исследуемым материалом (3) с помощью генератора колебаний (1) и ультразвукового преобразователя (2) воздействуют непрерывными ультразвуковыми колебаниями. Приемный преобразователь (4) фиксирует ультразвуковую волну, прошедшую через плазму (рисунок 1).

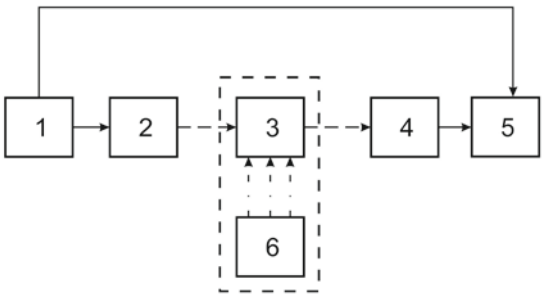


Рисунок 1 – Структурная схема макета для исследования гемостаза

Образующийся в исследуемом образце сгусток изменяет параметры проходящей через объект контроля ультразвуковой волны, в частности скорость распространения упругих волн и длину их пути между излучающим и приемным преобразователями. В отсутствие сгустка непрерывные упругие колебания проходят через исследуемый образец кратчайшим путем в виде продольной волны.

В разделенных образованным сгустком слоях энергия распространяется в форме волн, которые проходят больший путь и движутся с меньшими скоростями, чем продольная волна. Поэтому при образовании сгустка сдвиг фаз ультразвуковой волны отличается от сдвига фаз в образце до образования сгустка. По изменению сдвига фаз и происходит обнаружение наступления момента коагуляции.

Сигналы с излучающего и приемного преобразователей подаются на входы вертикальных каналов двулучевого осциллографа (5). При совмещении горизонтальной развертки лучей в одну линию на экране осциллографа можно будет наблюдать осциллограммы напряжений, по которым можно рассчитать сдвиг фаз. Система подогрева (6) используется для поддержания температуры 37°С необходимой для имитации протекания процесса свертывания плазмы в теле человека.

При этом определение сдвига фаз производится только при наступлении момента коагуляции. Для усовершенствования данного метода, предлагаем проводить определение изменения фазы ультразвукового сигнала на протяжении всего процесса образования фибринового сгустка от момента внесения реагента, запускающего каскад свертывания, до момента коагуляции. Это позволит кроме определения времени свертывания конкретной пробы наблюдать динамику процесса свертывания. Измерив фазу зондирующего ультразвука на протяжении всей реакции свертывания через равные промежутки времени можно построит фазовый профиль проводимого АЧТВ или ПТВ теста.

Предполагается, что паттерн (форма кривой формирования тромба) фазовых профилей тестов АЧТВ и ПТВ при различных патологических состояниях может отличаться от нормального.

Для реализации этого подхода необходимо внести изменения в структуру макета для проведения измерений, чтобы измерять величину фазового сдвига каждую секунду (рисунок 2).

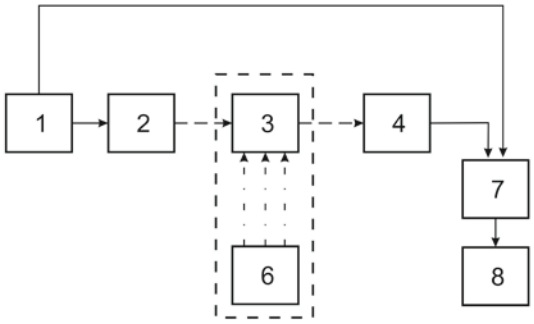


Рисунок 2 – Структурная схема макета с мультиметром

Подключив вместо осциллографа мультиметр (8) через небольшую цифровую схему DC1 (7), на индикаторе мультиметра можно будет наблюдать изменение напряжения, которое будет соответствовать изменению сдвига фаз (0,01 В =1°).

Цифровая схема (7) состоит из D-триггера, четырех элементов И-НЕ и интегрирующей RC-цепочки (рисунок 3).

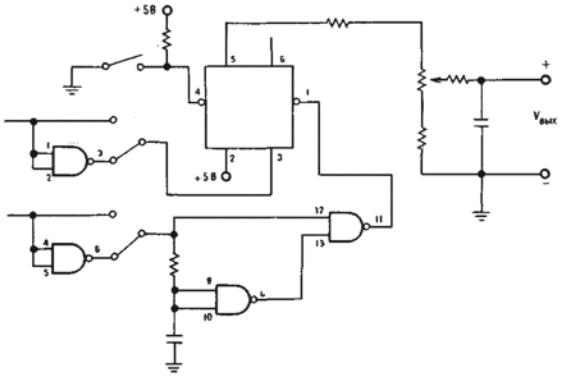


Рисунок 3 – Цифровая схема DC1

На входе D D-триггера всегда подается уровень логической 1, передний фронт входного сигнала А установит выход триггера в состояние

1. С другой стороны, из сигнала B цепью R1, C1, ICic, и ICd формируется узкий отрицательный импульс, сбрасывающий триггер в 0. Длительность импульса, сформированного на выходе триггера, равна временному интервалу между передними фронтами импульсов последовательностей A и B.

Заключение. Улучшив лабораторный макет для проведения измерений параметров гемостаза с помощью ультразвука, таким образом, чтобы можно было определять численное значение фазы ультразвукового сигнала через определенные промежутки времени можно построить фазовые профили проводимых тестов ПТВ или АЧТВ. Форма кривой фазовых профилей может иметь собственную диагностическую значимость и указывать на конкретные патологические изменения в системе гемостаза.

1. Льюис, С.М. Практическая и лабораторная гематология / С.М. Льюис, Б. Бэйн, И. Бэйтс; пер. с англ. под ред. А.Г. Румянцева –М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009 – 672 с.
2. Камлач, П.В. Использование ультразвука для исследования параметров гемостаза / П.В. Камлач, В.М. Бондарик, Ю.Г. Дегтярев Ю.Г // журнал «Изобретатель» - 2012 -№10(154) - С.36-39.

УДК 622+661

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ КАФЕДРЫ «ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ» БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМЕНИ Д.Ф. УСТИНОВА ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Шарифова С.Э., Левихин А.А. , Кузьмин А.М.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Постоянный рост потребностей в различных отраслях промышленности, энергетики, нефтехимии и экологии требует поиск и создания новых решений и технологических систем в этих областях.

Помимо подготовки специалистов в области двигателестроения кафедра «Двигатели и энергетические установки летательных аппаратов» имеет широкую научно-техническую направленность. Открытые направления НИР кафедры включают в себя работы по проектированию и эксплуатации ряда установок, использующихся для различных целей, например, таких как получение водорода, этилена и синтез-газа. Основой таких установок является высокотемпературный реактор, осуществляемые процессы в котором, по сути, аналогичны процессам в газогенераторах жидкостных ракетных двигателей.

Изначально аналоги ВТР применялись в качестве газогенератора привода турбонасоса ракетного двигателя. Преимущества ВТР в составе установки получения водорода заключается не только в компактных размерах и автотермическом совмещении стадий подготовки сырья и газогенерации, но и толерантностью к примесям в составе сырья, таким образом, например очистка от серосодержащих соединений может производиться уже после стадии газогенерации, где сера автоматически гидрируется, используя промышленные серопоглотители (гранулированный оксид цинка), а в случае малых концентраций серы поглощать лобовым слоем катализатора паровой конверсии монооксида углерода [1]. На рисунке 1 представлена фотография данной высокотемпературной установки.

Актуальность высокотемпературной установки по производству этилена так же заключается в возможности увеличения эффективности процесса и снижении стоимости на переработку единицы сырья. Проведение экспериментов подтверждает целесообразность процесса, в частности получен высокий выход этилена (до 48%) [2]. Вся установка является автоматизированной, управление осуществляется с помощью пульта управления (рисунок 2). Также имеется система отбора проб для контроля качества продукта.

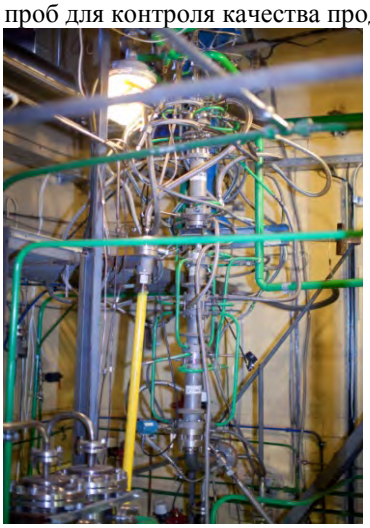


Рисунок 3 – Высокотемпературная установка для получения водорода

Синтез-газ (смесь CO и H_2) используется в нефтехимии для получения жидких и газообразных углеводородов, кислородосодержащих продуктов. Кроме того, широко используется в энергетических установках. Одним из наиболее эко-

номически эффективных и технологически простых способов получения синтез-газа является парциальное газофазное окисление природного или попутного нефтяного газа кислородом воздуха в высокотемпературном реакторе (ВТР). ВТР представляет собой малогабаритную высокоэнергетическую конструкцию, в которой при варьировании режимных параметров можно получить синтез-газ различного состава [3].

Рисунок 4 – Пульт управления установкой для получения этилена

Свое развитие технология двигателестроения нашла также и в реализации современных систем, связанных с утилизацией и уничтожением отходов различного характера (жидких, твердых, газообразных, промышленных,бытовых, химически опасных и т.д.). Сотрудниками кафедры разработана уникальная технология термического обезвреживания на основе применения высокотемпературного реактора. ВТР представляет собой малогабаритный прямоточный газовый реактор, в котором при температурах от 2000 до 3500 К и избыточном давлении до 20 МПа происходит деструкция исходного уничтожаемого вещества. Реализация указанных параметров горения позволяет обеспечить глубокую и полную переработку исходного продукта с получением на выходе газовой смеси, компоненты которой являются химически нейтральными соединениями. Производительность ВТР может варьироваться в широком диапазоне от нескольких гр/с до нескольких кг/с. Кроме того ВТР имеет малые габаритные размеры и малое время жизни пребывания вещества в реакторе (до 0,01с).

Еще одним направлением кафедры является решение задачи реактивного бурения – разрушение твердых горных пород аппаратом термогазодинамического бурения [4]. Метод термического разрушения пород имеет ряд преимуществ по сравнению с механическими методами бурения, которые связаны с возможностью получения рабочего тела необходимой относительно невысокой температуры, достаточной для разрушения твердой горной породы (850-900 К), а также выбора режимов взаимодействия газовых струй с породой, что позволяет обеспечить длительную стойкость элементов конструкции аппарата [5]. Указанные преимущества реализуются с помощью использования трехкомпонентного парогазогенератора [5] (рисунок 3), в котором происходит смешение воды, прошедшей рубашку охлаждения камеры сгорания с продуктами сгорания. Далее струи рабочего тела взаимодействуют с породой. В ходе проведенных экспериментов по бурению образцов различных твердых пород (гранит, гнейс) были получены следующие результаты по средней скорости бурения: при бурении гранита – 1 мм/с, гнейса – 2,0 мм/с. Давление в камере сгорания в аппарате реактивного бурения достигает (3…5) МПа.

Кафедра также занимается научно-исследовательской работой, посвященной когенерационной установке, технологический процесс которой практически идентичен процессу газотурбинного двигателя.

Рисунок 5 – Экспериментальный стенд с опытным образцом парогазогенератора

Когенерационная установка вырабатывает электрическую и тепловую энергию совместно, соответственно, за счет минимизации потерь, КПД такой установки значительно выше, чем при раздельной выработке электрической и тепловой энергии (до 95%). Результаты термодинамического и теплофизического расчетов показывают, что данное направление является перспективным и требует дальнейшего рассмотрения и последующей практической реализации.

1. Галаджун А.А., Левихин А.А. Теплотехнические основы создания установок производства газообразного водорода на базе газогенераторов ЖРД для воздухонезависимых энергетических установок неатомных подводных лодок: ОНПК «Инновационные технологии и технические средства специального назначения». - СПб.: БГТУ, 2013. – 46-48.

2. Левихин А.А., Лескович Э.О. Высокотемпературная установка по производству этилена: ОМНТК «Молодежь. Техника. Космос». – СПб.: БГТУ,2014. – 124-125.
3. Анискевич Ю.В., Кравченко Д.Г. Методика расчета системы термической подготовки синтез-газа: ОМНТК «Молодежь. Техника. Космос». – СПб.:БГТУ,2013. – 103-105.
4. Левихин А.А., Мустейкис А.И. Использование технологии ракетостроения для создания опытных образцов парогазогенераторов народно-хозяйственного назначения: МНТК «ПЯТЫЕ УТКИНСКИЕ ЧТЕНИЯ». – СПб.: БГТУ,2011. – 76-77.
5. Мустейкис А.И. Физико-математическая модель процесса хрупкого термического разрушения горных пород.: Итоги диссертационных исследований. Том 4. – Материалы V Всероссийского конкурса молодых ученых. – М.:РАН,2013. – 139 с.

УДК 621.822.71:666.22.037

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГРУБОГО И ТОНКОГО ШЛИФОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ ШАРИКОВ

Щетникович К.Г., Ковалевич К.О.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Заготовки шариков из стекла, ювелирного камня и других хрупких материалов имеют значительные отклонения от сферической формы и большую разноразмерность. Низкая точность шарообразных заготовок связана с технологическими особенностями формообразующей операции, выполняемой без силового или геометрического замыкания инструмента. Разница максимального и минимального диаметров заготовок в партии, имеющих шарообразную форму, может быть более 1,0 мм, поэтому грубое шлифование шариков на производстве осуществляется в сепараторе между двумя плоскими эксцентрично расположенными приводными дисками [1]. В результате заготовки приобретают сферическую форму, а их геометрические параметры имеют один уровень точности.

Окончательное шлифование [2] осуществляется на станке, нижнее звено которого представляет планетарно перемещающуюся планшайбу, на верхнюю поверхность которой наклеена листовая резина. Верхний диск, изготовленный из чугуна или латуни, имеет конические отверстия для размещения заготовок. Поступательное движение по окружности нижней планшайбы обеспечивает равенство линейных скоростей, а, следовательно, одинаковые условия обработки для всех шариков в партии. После взаимной приработки поверхностей инструмента и заготовок достигается высокая точность сферической формы.

Однако недостатком процесса шлифования шариков на подобных станках является то, что в начальной стадии обработки основное силовое воздействие инструмента воспринимают отдельные шарики в обрабатываемой партии, имеющие наибольшие размеры. Максимальные нагрузки на эти шарики в некоторые моменты времени могут на порядок превышать среднее значение и вызывать повреждение хрупких заготовок.

Более равномерное распределение нагрузки на шарики обеспечивает сборная конструкция инструмента, представленная на рисунке 1. В состав устройства входит нижний диск 1, верхняя поверхность которого покрыта слоем полиуретана 3, и верхний диск 7, в отверстия которого установлены втулки 6. Обрабатываемые заготовки 4 размещают во втулках, в которых помещены цилиндры 8, и прижимают к шарикам верхней пластиной 10 через эластичную прокладку 9, сделанную из губчатой резины. Нагрузка на шарик определяется весом цилиндра и степенью деформации эластичной прокладки 9, которая регулируется шпилькой 13 при помощи гайки-барашка 11 и пружины 12.

Установка неподвижного верхнего диска 7 осуществляется с помощью кронштейнов 5, жестко закрепленных на его торцевой поверхности и опирающихся на три стойки 2. Стойки 2 закреплены на столе станка. Загрузка заготовок во втулки осуществляется при снятой верхней пластине. В процессе шлифования в зону обработки добавляется абразивная суспензия соответствующей зернистости. Для извлечения обработанных шариков ослабляем центральную гайку-барашек и снимаем сборный инструмент со стоек.

Тонкое шлифование осуществляется инструментом, показанном на рисунке 2, в котором изменена только конструкция цилиндра 5. По оси цилиндра просверлено отверстие 4 диаметр, которого равен половине диаметра шарика 1, а на нижней торцевой поверхности выполнена коническая фаска 2. Контакт шарика с верхним инструментом в данном случае осуществляется по конической поверхности, что позволяет достигнуть минимальных отклонений от сферической поверхности. В процессе тонкого шлифования шарики 1 не контактируют со внутренней поверхностью втулок 3, но они исключают выпадение заготовок из зоны

обработки вследствие вибраций и других случайных факторов.

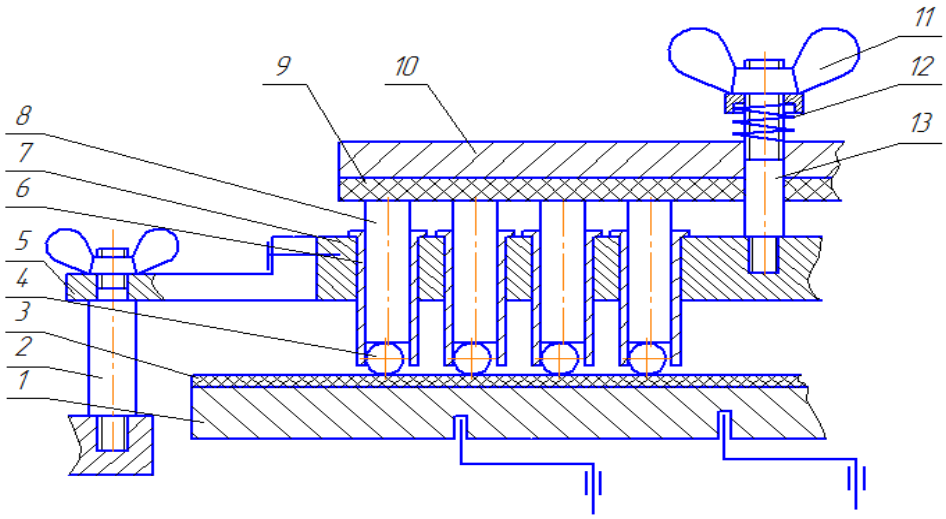


Рисунок 1– Устройство для грубого шлифования шариков

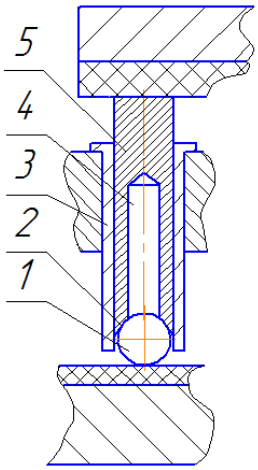


Рисунок 2 – Устройство для тонкого шлифования шариков

Достоинством предлагаемой конструкции инструмента является то, что максимальные нагрузки на шарики, особенно в начальной стадии шлифования, незначительно превышают среднее давление на заготовки в обрабатываемой партии. В результате повышается выход годного и появляется возможность шлифовать шарики из хрупких минералов, обладающих совершенной спайностью. Положительным фактором также является повышение качества поверхностного слоя, вследствие снижения динамических нагрузок.

1. Технология оптических деталей: учебник для вузов/ М.Н. Семибратов, В.Г. Зубаков, С.К. Штандель; под ред. М.Н.Семибратова. – М.: Машиностроение, 1978. – 432 с.
2. Справочник технолога-оптика/ М.А.Окатов [и др.]; под ред. М.А.Окатова. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехник, 2004. ─ 679 с.

УДК 679.91

ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ ПРЯМОЛИНЕЙНО ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ ИНСТРУМЕНТОМ

Щетникович К.Г., Пазыко С.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Шлифование шариков из хрупких неметаллических материалов выполняется на станках с поступательным перемещением инструмента. Заготовки размещают в конических отверстиях подвижного верхнего диска, а нижняя планшайба, имеющая резиновое покрытие, совершает поступательное движение по окружности [1]. Обработка происходит в результате скольжения заготовок о стенки отверстий в присутствии абразивной суспензии под действием сил терния о резиновое покрытие нижней планшайбы. После взаимной приработки рабочих поверхностей инструмента и шариков контакт между ними происходит по поверхности - шаровому поясу, высота которого постоянно увеличивается. Большая площадь контакта инструмента и заготовок

обеспечивает относительно высокую скорость съема припуска, несмотря на низкую скорость поступательного перемещения инструмента. Скорости любой точки планшайбы одинаковы, поэтому условия обработки и интенсивность шлифования в любом коническом отверстии одинаковы.

Анализ кинематики шариков в коническом отверстии показывает, что при поступательном движении по окружности нижней планшайбы угол наклона мгновенной оси вращения шарика к горизонтальной плоскости остается постоянным и теоретически ось вращения проходит через одни и те же точки на поверхности сферы. Данный вывод подтверждается экспериментальными исследованиями движения шарика при очень низкой скорости поступательного перемещения инструмента. Однако в справочной и учебной литературе [1,2] указывается, что смещение положения мгновенной оси вращения шарика происходит вследствие постоянного изменения направления вектора скорости планшайбы. Действительно, при поступательном движении по окружности, вектор скорости планшайбы за каждый цикл перемещения планшайбы поворачивается на 360° , но это не гарантирует автоматического получения сферической поверхности.

Причиной изменения мгновенной оси вращения шарика являются колебания и вибрации в технологической системе, которые усиливаются по мере возрастания скорости перемещения инструмента. Возмущающими факторами, вызывающими вибрации инструмента, являются работа приводных устройств, погрешности направляющих элементов станка, неуравновешенность движущихся частей, неточности рабочих поверхностей инструмента, погрешности формы самих заготовок, неравномерность распределения абразивной суспензии в зазоре между шариком и коническим отверстием и т.д.. Вследствие неравномерного распределения давления по поверхности контакта шарика с инструментом, касательные силы не уравновешиваются и вызывают смещение оси вращения шарика.

Однако, как показывают результаты шлифования шариков из минерального сырья действия возмущающих факторов в технологической системе не всегда достаточно изменения мгновенной оси вращения шарика. В обработанной партии часто имеются заготовки, имеющие значительные искажения сферической формы несмотря на длительное шлифование. Чаще всего это случается, когда исходная заготовка имеет вытянутую форму и в процессе шлифования вращается преимущественно вокруг своей наибольшей оси.

Авторы патента [3] предлагают для повышения «степени беспорядочности движения шариков» сообщать верхнему диску сложное движение по замкнутой кривой второго порядка с переменной скоростью. Однако и в этом случае закономерное изменение положения оси вращения шарика не гарантируется, так как при перемещении по криволинейной траектории шарик будет стремиться вращаться вокруг оси, момент инерции вокруг которой минимален. Кроме того, реализация способа связана с преодолением значительных технических трудностей.

Достигнуть закономерного изменения оси вращения шариков проще всего, если резко изменить направление движения инструмента на 90° [4]. В этом случае, если ось вращения первоначально перемещалась, допустим, в горизонтальной плоскости, то после изменения направления движения будет находиться в вертикальной плоскости. Описываемая ниже установка обеспечивает перемещение шариков по траектории, близкой к прямоугольнику.

Схема установки для обработки шариков прямолинейно перемещающимся инструментом представлена на рисунке 1.

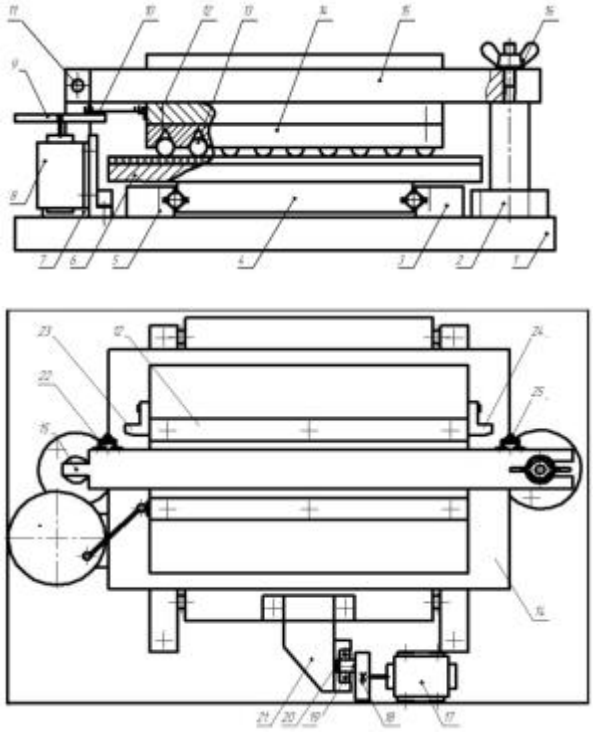


Рисунок 1 – Схема станка для обработки шариков

На столе 1 установлены шариковые направляющие 3,5, к каретке 4 которых прикреплена прямоугольная планшайба 6, имеющая резиновое покрытие. Обрабатываемые шарики 13 размещаются в конических отверстиях верхнего инструмента 14, к которому крепится направляющая 12. В прямоугольный паз направляющей скольжения входит откидная планка 15, которая может поворачиваться вокруг оси 11 стойки

7.Прижим планки 15 к стойке 2 осуществляется гайкой-барашком 16. Возвратно-поступательное движение верхнему инструменту сообщается от двигателя 8, с помощью кривошипно-ползунного механизма 9,10.

Кратковременное смещение планшайбы осуществляется с помощью эксцентрика 18и вилки 21. Для снижения сил трения на пальце 19 установлен подшипник 20.В крайних положениях верхнего инструмента упоры 23,24 входят в контакт с микропереключателями 22,25.

При вращении электродвигателя 8 верхний инструмент совершает возвратно-поступательное движение вдоль планки 15. В крайнем левом положении инструмента упор 23 нажимает на кнопку микропереключателя 22 и сигнал поступает на блок управления 9 (на схеме не показан) с шаговым двигателем 17, который поворачивается на заданный угол и вызывает перемещение каретки 4,а следовательно и нижней планшайбы на требуемую величину. При перемещении верхнего инструмента в крайнее положение под воздействием упора 24 срабатывает микропереключатель 25 и блок управления дает команду шаговому двигателю на смещение нижней планшайбы в прежнее положение. В результате, за время одного оборота кривошипа 9, траекторией движения каждого шарика будет фигура, близкая по форме к прямоугольнику. Резкое изменения направления движения шарика вызывает смещение положения его мгновенной оси вращения.

Наибольшее удаление от своего первоначального положения мгновенная ось вращения шарика получит, если величина смещения планшайбы в поперечном направлении составит 1/4πd, 3/4 πd, 1 ¼ πd,1 ¾ πd…, где d- диаметр шарика. Угол поворота шагового двигателя задается блоком управления исходя из этих величин. Быстрые смещения оси вращения шарика обеспечивают высокую точность сферической поверхности.

1. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов, Э.А. Антонов, А. Байгожин. – СПб.: Политехника, 2004.- 679 с.
2. Семибратов, М.Н. Технология оптических деталей: учебник / М.Н. Семибратов, В.Г. Зубаков, С.К. Штандель. – М.: Машиностроение, 1985. - 368 с.
3. Способ шлифования шариков: пат. 1510250 РФ, 6 В24В 11/02 / Л.Н. Васин, И.А. Коробченко; заявитель научно –исследовательский институт оптическго приборостроения для народного хозяйства и любительской кинофотоаппаратуры ВНЦ «ГОИ им.С.И. Вавилова» - №4242987/08; заявл. 13.05.87; опубл. 10.12.95/ 1995.
4. Бонд, В.Л. Технология кристаллов / В.Л. Бонд. – 1-е изд. –США: 1976.- 303 с.

УДК 621.923.7

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИАБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ (SiO_2–TiO_2) ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН

Якубовская С.В.[1], Корбит А.А.[1], Денисман В.Г.[2], Сечко Т.Н.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
[2]Филиал «Камертон» ОАО «ИНТЕГРАЛ»
Пинск, Республика Беларусь

В настоящее время единственным способом финишной обработки поверхности пластин монокристаллического кремния при производстве СБИС является двухстадийное химико-механическое полирование (ХМП) водной суспензией ультрадисперсного диоксида кремния. Однако наряду с высокими эксплуатационными показателями суспензии имеют ряд недостатков: они недостаточно стабильны, склонны к коагуляции. Отклонение этих характеристик от оптимума приводит к изменению скорости съема, появлению дополнительных дефектов и нарушенного приповерхностного слоя, что недопустимо при производстве СБИС.

Наиболее перспективными направлениями для повышения эксплуатационных свойств полирующих суспензий на основе ультрадисперсного диоксида кремния следует считать модифицирование их состава путем дополнительного введения ультрадисперсных оксидов и введение поверхностно-активных веществ (ПАВ), позволяющих изменить свойства поверхности ультрадисперсных порошков и повысить агрегативную устойчивость, абразивную и полирующую способность суспензий.

Целью настоящей работы являлось исследование агрегативной устойчивости, реологических и эксплуатационных свойств полиабразивных суспензий SiO_2-TiO_2 различного состава и разработка новой полирующей композиции для ХМП кремниевых пластин.

Агрегативную устойчивость водных суспензий в присутствии ПАВ оценивали исходя из седиментационной стабильности суспензий, характеризующейся высотой столба жидкой фазы в мм над седиментационным осадком, формирую-

щимся при расслоении суспензий в зависимости от времени выдерживания.

В качестве стабилизирующих ПАВ использовали неионогенные, в том числе высокомолекулярные, катионные, анионные ПАВ, а также амфолитные из класса аминокислот.

Исследования влияния состава суспензий на процесс ХМП кремниевых пластин Ø 100 мм (1-я стадия) проводили на Филиале "Камертон" ОАО "ИНТЕГРАЛ".

Испытания полирующих суспензий проводили в соответствии с действующей ОКУ 076224891000.60200.00024 "Полировальная" на станках "Ладья" Ю 1М3.105.016 при следующих технологических параметрах: материал полировальника – политан вид 2; угловая

LOPON PO и M-PYROL за счет образования прочных адсобционных слоев ПАВ, препятствующих агрегации дисперсных частиц.

Результаты испытаний полиабразивных суспензий SiO_2-TiO_2 на операции ХМП (1-я стадия) кремниевых пластин (Ø 100 мм) представлены в таблице 1.

Согласно полученным данным, на среднюю скорость процесса полирования и качество поверхности кремниевых пластин оказывают влияние такие факторы, как марка аэросила, концентрация дисперсных компонентов, природа ПАВ, а также концентрация этилендиамина (ЭДА) в суспензии.

При концентрации ЭДА 2,0 мас. % (таблица 1, составы 2, 5) и более, наблюдается наличие отдельных пластин с матовостью поверхности. Это можно объяснить повышением химической активности суспензии, в результате которой возможно появление матовых участков на поверхности пластин. В связи с этим, при последующем определении состава полиабразивной суспензии в качестве оптимальной была выбрана концентрация ЭДА 1,5 мас. %, позволяющая достигать требуемого значения скорость вращения полировальника – 60 об/мин; скорость подачи суспензии – 25-35 мл/мин; количество одновременно полируемых пластин – 64 штуки; марка кремниевых пластин – 100 КДБ 10 (111); толщина кремниевых пластин (∅100) – 470-475 мкм.

В процессе испытаний определяли скорость съема и, далее, среднюю скорость съема, а также соответствие качества обработанных пластин требованиям ТУ РБ 200181967026-2002 "Пластины монокристаллического кремния диаметром 76, 100, 150 (СП10) путем определения геометрических параметров полированных пластин, качества обработанной поверхности.

Полученный нами экспериментальный материал по исследованию влияния состава полиабразивных суспезий SiO_2-TiO_2 , в том числе марки аэросила, концентрации дисперсных компонентов, природы ПАВ и органических аминов на их агрегативную устойчивость и реологические свойства (вязкость) позволил определить составы суспензий (1-8), характеризующиеся однородной консистенцией и высокой агрегативной стабильностью (например, рисунок 1).

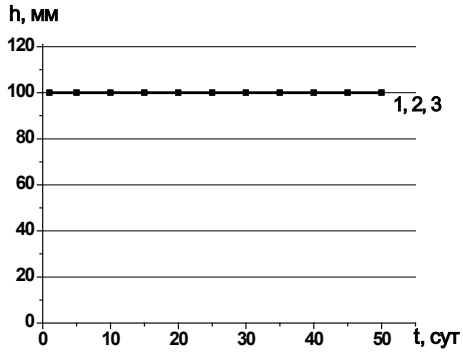
Таблица 1 – Результаты испытаний суспензий SiO_2-TiO_2 на операции химико-механического полирования (1-я стадия) кремниевых пластин (Ø 100)

Состав суспензии	Средняя скорость съема, мкм/мин	Качество полированных кремниевых пластин (Ø 100)
		качество полированной поверхности
1	0,50	соотв. требованиям
2	0,59	соотв. требованиям (на отдельных пластинах присутствует матовость; имеются микроцарапины в допустимых пределах)
3	0,56	соотв. требованиям (на отдельных пластинах имеются микроцарапины в допустимых пределах)
4	0,55	соотв. требованиям (на отдельных пластинах имеются микроцарапины в допустимых пределах)
5	0,50	соотв. требованиям (на отдельных пластинах присутствует матовость; имеются микроцарапины в допустимых пределах
6	0,65	соотв. требованиям
7	0,58	соотв. требованиям
8	0,54	соотв. требованиям

Наибольший эффект достигается в случае использования таких диспергирующих, стабилизирующих ПАВ, как Dispers 715 W, ДДБС, pH 11,6-11,7 без проявления эффекта локальных растравов поверхности пластин, что подтверждается отсутствием появления матовости на поверхности полированных пластин составами 1, 3, 4, 6-8 (таблица 1).

Согласно полученным экспериментальным данным, наибольшая средняя скорость съема наблюдается при использовании суспензий, содержащих аэросил А 150 (таблица 1, составы 2, 6). Так, состав 6 характеризуется достижением наибольшей из всех исследованных составов скоростью съема, составляющей 0,65 мкм/мин, что превышает скорость полирования применяе-

мой в настоящее время суспензии диоксида кремния (Nalco 2358). При этом отмечается хорошее качество поверхности полированных пластин: микроцарапины и царапины на поверхности пластин отсутствуют.



1–концентрация SiO_2 (аэросил А 175) 5,0 мас. %, TiO_2 1 мас. %; 2–концентрация SiO_2 (аэросил А 90) 4,0 мас. %, TiO_2 1 мас. %; 3– концентрация SiO_2 (аэросил А 150) 5,0 мас. %, TiO_2 5 мас. %;

Рисунок 1 – Влияние ПАВ Dispers 715 W (0,2 мас. %) (1), LOPON PO (0,4 мас. %) (2), и M-PYROL (0,3 мас. %) (3) на седиментационную устойчивость суспензии SiO_2-TiO_2

Скорость съема, достигаемая при использовании состава 4, содержащего аэросил А 175 и аналогичный составу 6 диспергатор, составляет только 0,55 мкм/мин. На поверхности полированных пластин отмечается наличие микроцарапин, а также отдельных царапин, общая длина которых однако не превышает установленные требования. После травления на пластинах отмечается наличие нарушенного слоя: присутствуют риски, микроцарапины (следует отметить, что согласно ТУ (СП 10) нарушенный слой не контролируется). Можно полагать, что появление царапин на поверхности пластин, вероятно, обусловлено более высокой концентрацией диоксида титена в рассматриваемой суспензии по сравнению с другими составами, что позволяет считать концентрацию TiO_2 0,5 мас. % наиболее приемлемой для изготовления полиабразивных суспензий.

Сопоставление средней скорости процесса полирования суспензиями, содержащими различные ПАВ указывает, что наиболее эффективным диспергирующим и стабилизирующим ПАВ, обеспечивающим наиболее высокую скорость съема является Dispers 715 W и далее LOPON PO. Следует отметить, при использовании суспензии состава 7 нарушенный слой на поверхности пластин после травления отсутствует. Усиление действия адсорбционных процессов в случае использования указанных выше ПАВ ускоряет механические процессы, приводящие к разрушению поверхностных слоев кремниевых пластин, сказываясь на структуре поверхности кристалла и повышая производительность обработки, что и наблюдается в действительности.

Таким образом, наиболее высокие значения производительности процесса полирования (средней скорости съема), хорошее качество поверхности полированных кремниевых пластин и хорошие геометрические параметры обеспечивает полиабразивная суспензия

SiO_2 (аэросил А 150)–TiO_2, содержащая в качестве диспергирующего, стабилизирующего ПАВ Dispers 715 W (таблица 1, состав 6).

УДК 621. 382

ЭЛЕКТРОПОЛЕВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ГЛУБОКИХ ЦЕНТРОВ В КРЕМНИИ

Сопряков В.И., Комлева И.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Наличие примесей и дефектов, образующих в запрещенной зоне полупроводника глубокие энергетические уровни, может приводить ко многим полезным эффектам в материалах и приборах. К ним относятся повышение быстродействия приборов, управление удельным сопротивлением, фотопроводимость, влияние на спектр излучения светодиодов, расширение динамического диапазона мощности излучения у фотоэлектрических полупроводниковых преобразователей с многозарядными примесями.

Значительный прогресс в изучении глубоких центров (ГЦ) внесла релаксационная спектроскопия, использующая емкость p-n-перехода или другой структуры с потенциальным барьером в качестве дозиметра концентрации ГЦ.

Следует учитывать, однако, что энергия активации ГЦ и сечение захвата носителей заряда, определяемые этим методом, зависят от распределения напряженности электрического поля по координате в области пространственного заряда p-n-перехода, что приводит к сложной мультиэкспоненциальной кривой релаксации емкости. Последнее обстоятельство затрудняет интерпретацию экспериментальных данных, однако оно позволяет изучать электрополевые зависимости параметров ГЦ, используя обратное смещение p-n-перехода. Воздействие электрического поля, таким образом, может быть использовано для

модуляции параметров ГЦ, а также для определения их природы.

Для объяснения полевых зависимостей скоростей термической эмиссии носителей заряда из глубоких уровней необходимы данные о поведении потенциала ГЦ в электрическом поле.

Эффект Френкеля заключается в понижении кулоновского потенциального барьера ГЦ приложенным электрическим полем. Понижение потенциального барьера ($\Delta\varphi$) и координата максимума потенциала (x_0) даются формулами

$$\Delta\varphi = \left(\frac{ze\mathcal{E}}{\pi\varepsilon_0\varepsilon}\right)^{1/2}, \quad x_0 = \left(\frac{ze}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_\varepsilon}\right)^{1/2}, \qquad (1)$$

где ze - заряд центра, ε - напряженность электрического поля.

Рассмотрим эффект понижения потенциального барьера нейтрального центра во внешнем электрическом поле в дипольном приближении. Упругий дипольный момент нейтрального центра

$$p = \varepsilon_0 \alpha \varepsilon_{лок}, \qquad (2)$$

где α - поляризуемость центра, $\varepsilon_{лок}$ - локальное поле. Предположим, что локальное поле для неполярных кубических кристаллов определяется добавкой Лоренца к макроскопическому полю в окрестности центра, зависящей только от поляризации атомов основной решетки и не зависящей от свойств примесного центра

$$\varepsilon_{лок} = \frac{\varepsilon + 2}{3}\varepsilon_м. \qquad (3)$$

Пусть прямая, соединяющая точечный заряд с центром, совпадает с направлением внешнего поля, а расстояние между центром и точечным зарядом много больше размеров диполя. Тогда напряженность макроскопического поля

$$\varepsilon_м = \varepsilon_0 - \varepsilon_e, \qquad (4)$$

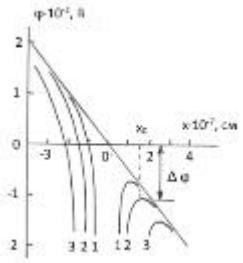
где ε_0 - напряженность поля точечного заряда.

Вычисляя дипольный момент (2) и напряженность электрического поля диполя с учетом (3) и (4), найдем зависимость потенциала центра во внешнем поле от расстояния (рис. 1, область $x > 0$)

$$\varphi(x) = -\varepsilon_{0x} - \frac{\alpha G}{x^4} + \frac{\alpha H \varepsilon_0}{x^2}, \qquad (5)$$

где $G = \frac{\varepsilon + 2}{3} \cdot \frac{\varepsilon_0 e}{2(4\pi\varepsilon_0\varepsilon)^2}$, (6)

$$H = \frac{\varepsilon + 2}{3} \cdot \frac{1}{4\pi\varepsilon}.$$



(ε = 11,7; $\varepsilon_0 = 5\cdot10^4$ В/см).
Значения x: 1 - $1\cdot10^{-21}$ см^3, 2 - $1\cdot10^{-20}$ см^3, 3 - $1\cdot10^{-19}$ см^3.

Рисунок 1 – Зависимость поляризационного потенциала нейтрального центра от расстояния во внешнем электрическом поле

Второе слагаемое в (5) представляет потенциал центра, поляризованного точечным зарядом, а третье учитывает вклад поляризации центра внешним электрическим полем.

Как видно из (5), в области $x > 0$ потенциал имеет максимум, понижение которого увеличивается с ростом поляризуемости (см. рис. 1). Если пренебречь третьим слагаемым в (5), то величины $\Delta\varphi$ и x_0 могут быть выражены аналитически.

$$x_0 = (4xG/\varepsilon)^{0,2} \qquad (7)$$

$$\Delta\varphi = -1{,}25(4xG)^{0,2}\varepsilon^{0,8}. \qquad (8)$$

В резком p-n-переходе напряженность электрического поля изменяется по линейному закону, а потенциал - по квадратичному. Однако в окрестности центра напряженность электрического поля можно положить постоянной, а зависимость потенциала от расстояния линейной, так что результаты расчета x_0 и $\Delta\varphi$ могут быть использованы для анализа опытных данных.

В настоящей работе изучались радиационные дефекты в резких p^+-n-переходах на базе кремния n-типа с концентрацией $5\cdot10^{15}$-$2\cdot10^{16}$ см$^{-3}$. Исследование проводилось методом изотермической релаксации емкости. Измерялось время релаксации заполнения ГЦ (τ), обратное скорости термической эмиссии электронов.

Для объяснения зависимостей $\tau(\varepsilon)$ учитывалось не только понижение потенциального барьера центра $\Delta\varphi$ в электрическом поле, но и зависимость $x_0(\varepsilon)$ для кулоновского (1) и поляризационного потенциала (7). Сечение захвата центра оценивалось, как геометрическое (x_0), величина которого уменьшается коэффициентом, отражающим сложность процесса обмена энергией носителя заряда с решеткой. Такой подход позволил объяснить полевые зависимости скоростей термической эмиссии носителей из кулоновских центров (рис. 2).

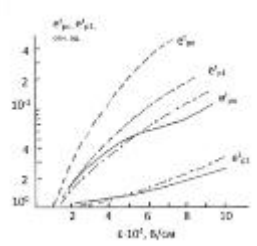
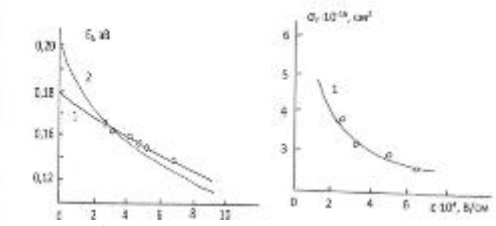


Рисунок 2 – Зависимость скоростей термической эмиссии дырок из нейтрального (e_{p0}^t , T = 104 K) и однократно заряженного (e_{p1}^t , T = 232 K) центра Zn в Si от напряженности электрического поля

Сплошные линии - эксперимент (данные Германа и Саа), штриховые линии - расчет с учетом Δφ, штрих-пунктирные - расчет настоящей работы с учетом Δφ и x_0

Электрополевые зависимости энергии активации, сечения захвата электрона, а также времени релаксации заполнения А-центра в облученном кремнии были объяснены на основе модели поляризационного потенциала с учетом Δφ(ε) и x_0(ε) при $\alpha = 2{,}5 \cdot 10^{-20}$ см$^{-3}$ (рис. 3).



1 - поляризационный потенциал;
2 - кулоновский потенциал.

Рисунок 3 – Экспериментальные и расчетные зависимости энергии активации и сечения захвата электронов для А - центра в Si (T = 77 K) от напряженности электрического поля

Экстраполированное значение энергии активации центра в нулевом электрическом поле составило 0,18 эВ, что согласуется с литературными данными.

Секция 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ И ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 658

ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ

Акунец В.П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Экономика – это особая сфера общественной жизни со своими законами, проблемами и противоречиями. В этой сфере формируется экономический потенциал общества, производятся продукция и услуги для удовлетворения потребностей людей.

Экономическая наука, как и технические науки, математика или любая другая область исследований общественных явлений, не дает полного понимания всех тех проблем, с которыми она имеет дело. В экономической науке ограниченность понимания обусловлена необходимостью опираться в основном не на экспериментальные данные, а на логический анализ и опыт.

Следует отметить, что экономика как и менеджмент является наукой не точной.

Сегодня интерес людей к экономической теории все более возрастает. Объясняется это глобальными переменами, которые происходят во всем мире.

Одной из не исследованных частей экономики являются экономический методы управления. Экономические методы управления сегодня должны соответствовать новым рыночным условиям. Понимание событий, происходящих в обществе, требует умения оперировать большими объемами статистических данных. Многое, хотя и не все, происходящее можно лучше понять, если принимать во внимание изменения, происходящие во внешней окружающей среде.

Поэтому важно изучение механизма взаимодействия всех элементов экономических знаний, уточнение и развитие новых категорий и понятий, исследование их сущности в рыночных условиях.

Экономические методы управления позволяют принимать оптимальные управленческие решения.

На каждом уровне управления обществом действуют свои экономические методы управления.

Экономические методы управления позволяют правильно составить бизнес-план предприятия.

Бизнес-план предприятия имеет разную структуру, в зависимости от специфических условий его реализации. Различают бизнес-план для вновь создаваемого предприятия и бизнес-план действующего производства. Целью последнего является анализ и выбор оптимального пути реконструкции предприятия для удержания им определенного сегмента рынка, выживания в жестких рыночных условиях.

В бизнес-плане должна быть реально обоснованная стоимость изделия.

Управление стоимостью и анализ затрат являются составной частью финансового менеджмента. Процесс управления стоимостью и анализ затрат включает три основных стадии:

-планирование затрат;

-контроль затрат;

-управление стоимостью для принятия решения.

Практическая реализация стадий по управлению стоимостью

включает решение следующих основных укрупнённых задач:

- учёт материалов;
- учёт и начисление заработной платы;
- учёт и определение налогов;
- расчёт потерь от брака;
- учёт затрат на производство;
- учёт денежных средств и расчётов
- учёт фондов, резервов и результатов хозяйственной деятельности.

В результате решения перечисленных задач составляются сметы затрат. Например, смета расходов составляется как план ожидаемых затрат; смета перспективных доходов" устанавливает плановые поступления и издержки будущих периодов; производственный план и смета затрат на производство продукции показывает планируемые уровни запасов, количество единиц изделий, которые предприятие собирается произвести и стоимость различных видов ресурсов, которые будут затрачены на выполнение производственных планов. В любой смете затрат должна быть заложена возможность осуществления контроля путём сравнения фактических затрат с запланированными, определения отклонений и их анализа.

Таким образом, управление стоимостью и анализ затрат на производство продукции направлены на обеспечение изготовления продукции с минимальными затратами.

Производственный учёт - неотъемлемая, органически взаимосвязанная функция любой системы управления. Основная задача производственного учёта состоит в обеспечении управления реальной информацией о выполненных производственных процессах. По характеру управленческих процессов производственный учёт может быть классифицирован по следующим видам:

- технический;
- экономический;
- организационный;
- правовой учёт.

Производственный учёт может быть классифицирован и по целям управления:

- перспективный;
- текущий;
- оперативный.

Каждому из этих видов производственного учёта присущи свои конкретные задачи, а также особенности, методики решения этих задач, которые вытекают из целей и содержания конкретных систем управления. Исследования состояния видов производственного учёта и решения задач по дальнейшему их развитию является одной из проблем повышения эффективности управления.

Оперативный учёт производственных процессов позволяет с помощью анализа давать своевременную оценку развития системы управления и вырабатывать соответствующие решения по её регулированию. Этот вид производственного учёта, как в теоретическом, так и в теоретическом аспекте разработан недостаточно. Основные задачи, решаемые на стадии оперативного учёта, сводятся к следующим:

- учёт выполнения договоров с поставщиками и потребителями;
- учёт работы имеющегося парка оборудования;
- учёт движения изделий по рабочим местам;
- учёт выработки продукции;
- учёт затрат на производство продукции.

Кроме основных задач в оперативный учёт может включаться целый ряд конкретных специальных задач. Основная цель решения задач оперативного учёта направлена на экономию материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

Основной целью оперативного учёта является своевременное обеспечение управляющей подсистемы необходимой информацией о фактическом состоянии производственных процессов. Предметом оперативного учёта являются управляемые элементы процесса производства, совершаемые на разных его стадиях.

Оперативный учёт сводится к изучению краткосрочных производственных процессов. Главной особенностью оперативного учёта является своевременное отражение путём соответствующих расчётов, группировок и изменений производственных процессов по заданным параметрам с целью обеспечения наиболее эффективного функционирования системы управления, Своевременность оперативного учёта характеризуется отражением результатов производственных процессов, которые дают необходимый запас времени для осуществления остальных функций управления. Это даёт возможность выявить образование отклонения от заданных параметров протекания производственных процессов. В результате анализа причин отклонений устанавливаются предельные контрольные сроки реализации производственных процессов. Очень важной и сложной задачей оперативного учёта является определение пределов величины отклонения заданных параметров по отдельным показателям, превышение которых служило бы сигналом включения в действие основных функций управления.

Величина фактических издержек, производимых в отчётном периоде, определяется следующим образом:

$$ИП1 = О \cdot Ц,$$

где ИП1 - фактические издержки производства;

О - объём фактически использованных факторов производства;

Ц - фактические цены на приобретение.

Учёт фактических издержек характеризует производственные процессы в прошедшем отчётном периоде. В приведённой выше формуле не учтено распределение единовременных и калькуляционных издержек, страховых взносов, налогов, амортизационных отчислений и единовременных выплат. Данные виды издержек учитываются по оценочным усреднённым или плановым ценам по формуле

$$ИП2 = О \cdot Цр,$$

где ИП2 - условные фактические издержки производства;

Цр - расчётные цены.

Таким образом, рассчитываемые на практике издержки не являются фактическими издержками отчётного периода. Учёт фактических издержек - это база для итоговой калькуляции за отчётный период. Учёт фактических издержек недостаточен для контроля эффективности и управления производством. Этому служат нормативные издержки.

Нормативные издержки рассчитывают на основе иных, чем фактические показатели использования факторов производства.

Нормативы, рассчитанные по данным прошлых периодов, называются средними издержками. Нормативы, рассчитанные для будущих периодов, называются плановыми издержками. Плановые издержки определяют при помощи

различных калькуляций, анализа затрат рабочего времени и затрат на материалы, а также на основании экспертных оценок или сведений о ценных поставщиках.

Таким образом, экономические методы управления на предприятии позволяют правильно управлять стоимостью продукции, что позволяет обеспечить более высокие экономические показатели предприятия.

1. Акунец В.П. Экономические методы управления. – Минск: Веды, 2003. – 68 с.
2. Мухин В.И. Исследование систем управления: Учебник для вузов /В.И. Мухин – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 384 с.

УДК 681.2

ФОРМИРОВАНИЕ МАРКЕТИНГО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Барановский С.И., Рыхлицкая А.В.
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

В современных условиях нашей экономики большинство белорусских промышленных предприятий сталкиваются с различными проблемами, связанными с разработкой, производством и реализацией своей продукции. Несмотря на то, что трудности в данных областях могут порождаться различными причинами, решение на первом этапе необходимо свести к одной схеме – к внедрению маркетинго-логистической системы в виде обособленного отдела.

Маркетинго-логистическая система представляет собой комплексную систему, основанную на тщательном изучении условий и требований рынка, максимальном приближении производства к этим условиям и воздействии на потребителей с помощью инструментов маркетинга и логистики, предусматривающих анализ спроса и поведения потребителей на рынке, определения товарного ассортимента, проведение гибкой ценовой политики и выбор эффективных видов рекламы, снижение логистических затрат по всей цепочке движения сырья и готовой продукции, что позволяет адаптироваться к изменениям конъюнктуры рынка, увеличивать объем реализации готовой продукции и ее рентабельность [1].

Существуют возможные варианты построения маркетинговых и логистических систем, при каждом из которых приоритетными становятся задачи того или иного отдела:

1) выталкивающая система (отдел маркетинга обеспечивает необходимые продажи, а отдел логистики – складирование и транспортировку того, что поставил отдел закупок);

2) вытягивающая система (отделы закупок и логистики обеспечивают своевременную поставку и транспортировку необходимого ассортимента, с нужными характеристиками и в нужный срок, определяемыми отделом маркетинга).

На данный момент на предприятиях Республики Беларусь отделы маркетинга и логистики функционируют обособленно. Поэтому для совершенствования деятельности отделов имеет смысл объединить их усилия в одну маркетинго-логистическую систему.

Для своевременного решения возникающих вопросов и координации принимаемых решений предприятиям рекомендуется перейти к сбалансированной маркетинго-логистической системе (два отдела учитывают задачи друг друга и стараются решить их совместно, исходя из наилучшего результата и оптимизации общих затрат; при этом ответственным за учет прямых и косвенных затрат на всех этапах и вынесение окончательных управленческих решений выступает отдел логистики).

Эта система предполагает акцент на прогнозирование и планирование продаж, закупок,

движение запасов. При этом учитываются самые разнообразные факторы, влияющие на планирование. Большое внимание уделяются всем затратам на пути товара от поставщика до клиента. Очень часто это требует использования системы (как правило, автоматизированной), связывающей все отделы и процессы предприятия. Любые внедрения первоначально долго и тщательно просчитываются и моделируются.

Из плюсов системы можно выделить следующие:

– минимальные затраты на единицу продукции;

– оптимальные запасы и способ их пополнения;

– заведомо прибыльная деятельность (все стратегические цели имеют свою «цену», и, допуская в некоторых случаях убыточную тактику, компания делает это осмысленно и с определенными целями).

Из минусов сбалансированной системы:

– компания может нести серьезные убытки при отсутствии слаженности действий или поддержки управленческих решений разными отделами;

– сложные системы расчётов показателей, необходимых для работы;

– громоздкие системы автоматизированного управления, требующие качественной поддержки отдела информационных технологий [2].

В заключение можно отметить, что решение задачи по внедрению маркетинго-логистической системы на предприятии наиболее целесообразно осуществлять совместными усилиями менеджмента предприятия и консультантов. Причем в задачи консультантов должно входить, с одной стороны, методическое сопровождение реструктуризации системы сбыта, маркетинга, логистики, а с другой стороны – обучение управляющей команды современным подходам и методикам внедрения маркетинго-логистической системы на предприятии.

1. Братенкова, Т.М. Бенчмаркинговая модель как инструмент определения эффективности функционирования маркетинго-логистических систем предприятий лесного комплекса / Т.М. Братенкова, С.В. Шишло, В.А. Усевич – Пинск: ПолесГУ, 2012. – С.144-146.
2. Разгуляев, В. Взаимодействие маркетинга, закупок и логистики при управлении запасами / В. Разгуляев // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://upravlenie-zapasami.ru/. – Дата доступа: 15.08.2014.

УДК 681.2

ТЕХНОСОЦИАЛЬНАЯ СРЕДА ЭЛЕКТРОННОЙ ЭКОНОМИКИ

Беляцкая Т.Н.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Основным драйвером цифровой экономики является Интернет. Интернет превращается в глобальный рынок, средство общения и распространения информации. Поскольку все больше людей выходить в интернет по всему миру, число потенциальных потребителей увеличивалось экспоненциально. В 1995 году 34% всех интернет-пользователей были за пределами Северной Америки; в 2005 году этот показатель составлял 77%.

Всемирная паутина была создана с целью доступа к данным, в форме взаимосвязанной гипертекстовой информации, из любой точки мира в любое время. Всемирная паутина (web) не в полной мере являются синонимом сети Интернет. Система Web может быть определена как техно-социальная система, предназначенная для взаимодействия между человеком и коммуникационными сетями.

Техно-социальная система (web) обладает свойствами, повышающими уровень интеллектуального потенциала: восприятие, вербализацию, степень вовлеченности и участия в сообществах. Развитие электронной экономики связано с динамикой технологий web и связанными с ним технологиями. Выделяют следующие этапы развития этой социально-технологической сети: web 1.0 (информацию генерируют профессиональные участники рынка, а потребители пассивно воспринимают); Web 2.0 (связано с возможностями вербализации, т.е. передачей голосовых данных, возможностью генерировать и размещать любую информацию любого участника сети); Web 3.0 (принадлежность к сообществам, взаимодействие с большим количеством географически распределённых участников сети); и перспективные направления развития; Web 4.0 как сеть интеграции и Web 5.0 как децентрализованный коммуникатор, что точно не определено и относитс к будущим технологиям.

Web-1.0

Web 1.0 - первое поколение веб - создано в 1989 Тим Бернерс-Ли , работающим в CERN (Европейская организация по ядерным исследованиям) в Женеве , в Швейцарии. Стадия web 1.0 продолжалось с 1989 по 2005 года. Web 1.0 использовался для поиска и чтения веб-страниц, взаимодействие пользователей было ограничено возможностью обмениваться информацией друг с другом, не было возможности для взаимодействия непосредственно с веб-сайта.

С точки зрения электронной экономики это было именно то, что хотели большинство владельцев веб-сайтов: их цель при создании веб-сайта заключалась в обеспечении присутствия в Интернет, тем самым добиваясь того, что информация о бизнесе и товарах становилась доступной любому пользователю, в любое время. В то же время в период между 1994 по 2004гг. создание сайтов не было доступно непрофессионалам, так ка требовало знание языка гипертекстовой разметки HTML (Hypertext Markup Language). В это же время сформировался социальный радел в электронной экономике на потребителей и генераторов продуктов и финансовых потоков.

Характеристика web ресурсов web 1.0. выглядит следующим образом:

- статические веб-страницы, основанные на html (hypertext markup language);

- потребитель информации имеет возможность только чтения содержания;

- веб-администратор несет полную ответственность за обновление пользователей и управления контентом веб-сайта;

- веб-администратор вручную назначает все гиперссылки к содержанию веб-страницы;

- в качестве контактной технологии используют преимущественно офф-лайн коммуникацию (факс, телефон), начинает развиваться коммуникация по электронной почте;

- содержимое страниц web-1.0 может быть понятно только людям, но не роботам.

Web 2.0

Web 2.0 является вторым поколением технологии социально-технической системы, основанной на сети Интернет. Создание новой web-технологии произошло в результате мозгового штурма между O'Reilly и Media Live International. Сущностью Web 2.0, принципиально отличающей ее от предыдущей технологии – сеть, позволяющая осуществлять, и чтение, и запись контента, позволяющая собирать глобальные сообщества, объединенные общими интересами, появление термина «коллективный разум» (развитие crowdsourcing, crowdfouncing).

Web 2.0 создали пространство, где пользователи так же важны, как и контент, ими создаваемый. Web 2.0 позволила создавать и распространять контент любому участнику сети. Примерами нового вида электронного бизнеса, ставшего возможным технологии web 2.0 являются социальные сети (например, MySpace, Facebook, Twiter); обмен видеоконтентом (например, You Tube, SlideShare) социальные закладки (например, Delicious and CiteULike); совместные энциклопедические площадки (например, Wikipedia), творческой работы (напри мер, блогах и микроблогах), агрегации и организация контента (например, RSS (Really Simple Syndication).

Основными технологиями web 2.0 являются блоги, really simple syndication (RSS), вики, гибридные приложения, тэги и облака тэгов. Краткая характеристика этих технологий, лежащих в основе современного электронного бизнеса представлена ниже.

- Блоги. Термин «блог» был предложен в 1997 году. Блог является составной частью веб-страницы, которые называются сообщениями (posts), которые публикуются в хронологическом порядке, начиная с самого последнего, формат представления таких сообщений напоминает журнальный стиль. Посетители блогах могут добавлять комментарии под записью в блоге. Большинство блогов текстовые и но есть и другие виды, такие как фотоблоги, видеоблоги или подкасты (цифровая запись радио- или телепрограммы, которую можно скачать из интернета). Линковка (linking) является важным аспектом ведения блога, увеливающая восприятие блогосферы как информации разговорной природы.

- RSS представляет собой семейство форматов веб-каналов, которые используются для объединения контента из блогов или веб-страниц. RSS является XML-файлом, который суммирует элементы информации и ссылки на источники информации. С помощью RSS пользователи информируются о новинках из блогов или веб-сайтов, которые их заинтересовали.

- Вики - это веб-страница (или набор веб-страниц), которые могут быть легко изменены с помощью тех, кто имеет доступ. В отличие от вики может быть имеют функцию истории и могут быть восстановлены с помощью функции отката. Функции, поддерживаемые вики: язык вики-разметки, простая структура сайта и навигации, простой шаблон, поддержка нескольких пользователей, встроенный поиск, простой рабочий процесс.

- Гибридные приложения - это веб-страница (или веб-сайт), который объединяет информацию и услуги из различных источников в Интернете. Гибридные приложения могут быть сгруппированы в семь категорий: карты, поиск, мобильные приложения, сообщения, спорт, магазины и фильмы. Более 40 % из гибридных приложений это карты. Создавать гибридные приложения проще и быстрее, чем кодировать приложения с нуля традиционным способом. Такая возможность является одним из наиболее ценных особенностей web 2.0 . Гибридные приложения, как правило, создаются при помощи интерфейсов прикладного программирования. Некоторые средства разработки доступны для создания блогов, вики и социальных сетей. Эти инструменты сделали веб 2.0 проще, быстрее и дешевле. Такое развитие web технологии создало предпосылки к сокращению цифрового разрыва. Разработчики используют несколько основных подходов для разработки и создания приложений Web 2.0, среди них, асинхронный JavaScript и XML (AJAX), инструментарий Google Web Toolkit. Google Web Toolkit (GWT) является открытым исходным кодом.

Web 3.0

Третье поколение World Wide Web, основано на семантической маркировке содержания. Веб 3.0 также называют семантическим web (Semantic Web). Основой семантического web является интеграция данных. Используя метаданные (данные о данных), данные преобразуются в значимую информацию, которая может быть размещена, оценена и доставлена программными агентами пользователю.

УДК 372.851

РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ НА ЗАНЯТИЯХ МАТЕМАТИКОЙ И ИНФОРМАТИКОЙ

Гундина М.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Творчество в учебном процессе проявляется как направленность на познавательный процесс, способность генерировать нетрадиционные схемы мышления и поведения, проявлять оригинальность, инициативность.

Развитие творческого потенциала возможно при наличии образовательной среды, включающей в себя различного рода учебно-творческие задачи, направленные на создание оригинальных идей и решений и формирование прочных знаний.

Рассмотрим некоторые приемы стимулирования творческого потенциала студентов: диалог-визуализация, методика творческих заданий, занятие в малых группах.

Диалог-визуализация. Тема занятия: «Способы решения дифференциальных уравнений». Цель: формирование умения выбрать способ решения задачи и составить план решения этой задачи.

Нахождения решения дифференциального уравнения – порой нелегкая задача для студентов. Для повышения уровня усвоения данного раздела рассмотрим возможную разработку класса пошаговых алгоритмов, следуя которым можно решить основные задачи курса.

Одной из обязательных тем курса математики в технических вузах является раздел, посвященный решению дифференциальных уравнений. Сложность усвоения этой темы студентами связана с большим количеством типов уравнений, каждый из которых решается определенным образом.

Решением данной проблемы является разработка студентами раздаточного материла, содержащего наглядные пошаговые схемы поиска решений, учитывающие основные принципы дидактики, которые бы включали бы в себя: а) общий вид уравнения (по которому студент бы сразу определял, к какому типу данное уравнение относится); б) общую схему решения (которой бы студент придерживался бы при решении большинства задач, притом количество подробных шагов студент для схемы выбирает самостоятельно). На рис.1. приведены некоторые из таких схем.

Пошаговые схемы могут быть разработаны по следующим типам уравнений: ДУ с разделяющимися переменными, с однородными функциями, линейные неоднородные, ДУ Бернулли, ДУ в полных дифференциалах, ДУ, допускающие понижение порядка, ЛОДУ с постоянными коэффициентами, метод вариации для ЛНДУ, ЛНДУ со специальной правой частью и др.

Такой подход эффективен в случае, когда математика не является профильной дисциплиной для данных студентов, и в курсе, в основном, рассматриваются схожие стандартные задачи, для которых можно выявить общий схему решения. Алгоритмы позволяют таким студентам самостоятельно освоить технику нахождения решений дифференциальных уравнений основных типов.

Достоинством этого подхода является то, что у студента формируется четкое представление о последовательности действий, которые необходимо совершить, чтобы получить результат. Также применение данных алгоритмов в раздаточном материале способствует реализации такого принципа дидактики, как наглядность.

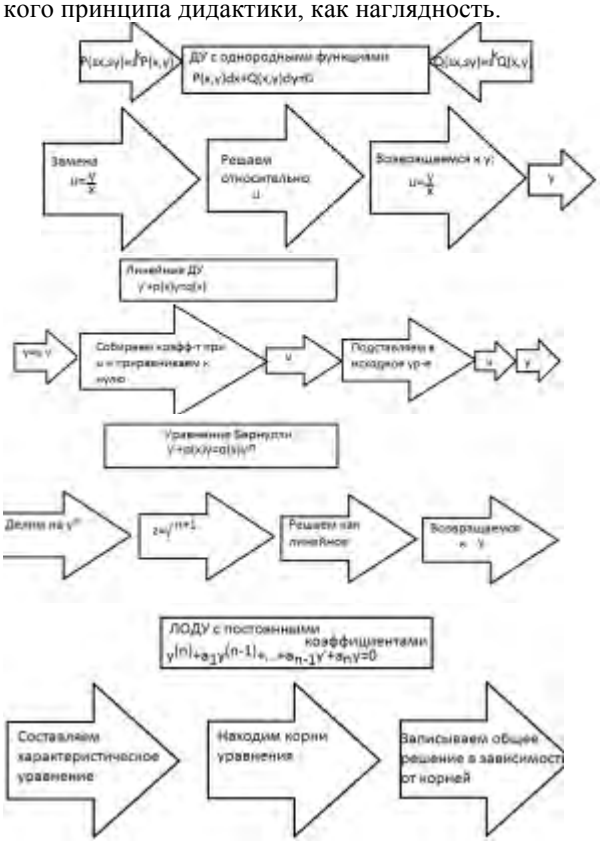


Рисунок 1 – Примеры элементов раздаточного материала по теме «Дифференциальные уравнения»

Раздаточный материал, содержащий такие пошаговые схемы позволяет конкретизировать и иллюстрировать ход решения, способствует

формированию умения решать задачи такого рода.

При самостоятельном составлении алгоритма действий студентом реализуется принцип сознательности и активности в обучении. Вовлекая студента в процесс создания раздаточного материала, мы позволяем ему осмысленно и творчески подойти к изучаемому материалу.

Студентам не раз за время обучения приходится возвращаться к теме решения дифференциальных уравнений. Наличие такого раздаточного материала в конспекте учащегося позволяет освежить знания, опираться на приобретённые навыки решения данного класса задач на последующих этапах обучения.

Занятие в малых группах. Тема занятия: Матрицы. Операции над ними. (Лабораторное занятие по математике в компьютерном классе) Цель: формирование умения выполнить анализ условия задачи, умение пользоваться сравнением и аналогией в процессе решения задачи.

Использование элементов теории графов при обучении студентов позволяет представить совокупность объектов(городских дорожных сетей, схемы станций метро и т.п.), связанных группой свойств, доступно и наглядно. Теория графов неразрывно связана со многими разделами математики(логикой, геометрией, теорией матриц и т.д).

Студенты нередко задают вопросы о применении той или иной математической теории на практике(например, применение матриц или теории множества в реальной жизни). Ответом на некоторые из них может быть построение графов на занятиях в компьютерных классах. На языке теории графов условия многих задач приобретают наглядность, упрощается поиск решения задач.

После введения определения матрицы и рассмотрения основных операция ними, возможно исследование свойств реальной совокупности объектов(например, совокупности социальных сетей, сетей цитируемости и др.(рис.2)), посредством построения соответствующего графа, и следствие -- матриц, соответствующих графам(матрица смежности, матрица инцидентности) и т.д. На занятии также можно провести аналогию между операциями над множествами и операциями над графами (объединение, пересечение). Такой подход к построению занятий, позволяет студенту увидеть реальное применение полученных теоретических знаний на практике.

Методика творческих заданий. Тема занятия: «Устройство персонального компьютера». Цель: формирование умения формулировать точные логические выводы, умения пользоваться анализом и синтезом.

Для построения прочных знаний, необходимо хорошее усвоение материала студентом. Для этого необходимо развитие всесторонних математических способностей, таких как аргументация, суждение, воображение, креативность и т.д.

Рисунок 2 – Построение графа для схемы Лондонского метрополитена

Для развития математических способностей необходим соблюдение двух условий: время и возможность самостоятельно углубиться, проработать материал, пройти последовательный путь от конкретного к абстрактному. Реализация такого подхода для высшей школы представляет непростую задачу: рамки учебной программы, ограниченное количество часов, отведенных на овладение конкретной темы и на формирование определенных навыков, большой объем теоретического материала.

Лабораторная работа по теме «Устройство персонального компьютера» содержит большой объем теории, что составляет большую сложность для овладения материалом. В этом вопросе необходимо наличие интересной и занимательной задачи, что обеспечит осознанное овладение специальной терминологией, привлечет внимание студента и зафиксирует его на протяжении всего занятия. Вариантом творческого задания по данной теме может быть создание кроссворда понятий(или разработка учебного теста) по теме, презентация полученного результата перед группой, рефлексия. Также в роли творческого задания может быть представлена презентация устройства персонального домашнего компьютера студента, выполненная в виде демонстрационного материала.

Использование аудиторной деятельности с использованием подобных приемов способствует становлению творческой индивидуальности личности студента, повышению и реализации творческого потенциала студента.

УДК 658

ПРЕИМУЩЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ КЛАСТЕРОВ

Гурина Е.В., Приходько Е.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Отличие инновационного кластера от других форм экономических объединений заключается в том, что компании, входящие в кластер, не идут на полное слияние, а создают механизм взаимодействия, позволяющий им сохранить статус юридического лица и при этом сотрудничать с другими предприятиями, образующими кластер и за его пределами. В кластерах формируется сложная кооперация, особенно в инновационных процессах.

Взаимодействие внутри инновационного кластера осуществляется посредством вертикальных (цепи покупок и продаж), а также горизонтальных связей (дополнительные изделия и услуги, использование подобных специализированных процессов, технологий и т.д.). Именно от взаимодействий внутри инновационного кластера, от способности его участников эффективно использовать внутренние и мобилизовать внешние ресурсы зависит конкурентоспособность всего инновационного кластера.

Устойчивое развитие инновационных кластеров в решающей степени зависит от доступа к передовым источникам научных знаний и современных технологий, а также от возможностей концентрации значительных объемов ресурсов. Определяющую роль в процессе инновационной ориентации кластера играет наличие развитой инфраструктуры интеллектуального и финансового капитала. Инновационные кластеры становятся своеобразной «площадкой», на которой осуществляется непрерывное взаимодействие финансового и интеллектуального капитала. В эффективно функционирующих инновационных кластерах ускоряется инновационный процесс, а у участников кластера развиваются такие преимущества, как восприимчивость к инновациям, рационализация бизнеса, опережающий рост производительности и т.д.

Инновационный кластер включает в себя всю инновационную цепочку от генерации научных знаний и формирования на их основе бизнес-идей до реализации товарной продукции на традиционных или новых рынках сбыта. Центры генерации инноваций того или иного вида имеются в любом кластере, и поэтому любой кластер обладает той или иной степенью инновационности.

Как представляется, к основным характеристикам инновационного кластера относятся следующие.

Во-первых, в инновационном кластере нецелесообразно разделять уровни «Основная деятельность» и «Обеспечение основной деятельности». Это связано с тем, что основным результатом, товаром являются и научные знания, и научно-технические услуги, и образовательные услуги. В то же время предприятия выполняют функции обеспечения образовательного характера или коммерциализации научных результатов путем налаживания связей с учреждениями образования и создания малых фирм. Об основной или обеспечивающей деятельности в кластере можно говорить только с точки зрения основных и обеспечивающих бизнес-процессов;

Во-вторых, в инновационный кластер не могут входить органы власти и управления. Уровень «Управление/регулирование» в кластере, как правило, отсутствует. Исключение, жестко централизованный холдинг, только подтверждает это правило. Регулируют деятельность предприятий кластера экономические интересы и выгода, которая не всегда может иметь денежное выражение, но в конечном итоге всегда базируется на экономических интересах;

В-третьих, инновационный кластер является открытой системой. Однако установление хозяйственных отношений с одним или несколькими участниками кластера не приведет к немедленной интеграции предприятия в его среду. Экономическое взаимодействие должно быть дополнено информационным и интеллектуальным. . Эти рассуждения могут показаться необязательными, но процесс формирования кластера, особенно инновационного, включающего в себя научные, образовательные, производственные организации, очень сложен и требует специального исследования. Хотя один вывод можно сделать уже сейчас: кластер нельзя учредить приказом, произвольно «приписать» какую-либо организацию в состав кластера также нельзя.

Следует согласиться с мнением ряда специалистов, что модель инновационного кластера отличается качественными параметрами, такими, как: связность кластера, которая характеризует уровень взаимовлияний элементов кластера, а также их потенциальную доступность к необходимым ресурсам.

Особое значение кластер приобретает в силу достижения в его рамках синергетического эффекта, который является интегральной характеристикой результатов, полученных от суммы инновационных потенциалов отдельных элементов. Другими словами синергетический эффект определяет количественную оценку синергетического взаимодействия элементов кластера по

тем параметрам, по которым происходил анализ взаимовлияний.

Проводя анализ матрицы связности и потенциала элементов, можно выделить: базовый элемент или элементы кластера, ядро кластера и резервы роста. Базовый элемент или элементы кластера вносят главный вклад в организацию взаимодействий, и являются движущей силой системы. Ядро кластера (центры дохода) – это те организации, которые вносят основной вклад в результаты работы кластера. Резервы роста – это те структуры и организации, потенциал которых не раскрыт полностью, но способен устранить слабые места в организации инновационных процессов кластера и определить мероприятия по стратегическому развитию всей инновационной структуры.

Таким образом, возникновение и развитие кластеров и инновационной активности являются закономерными процессами. Тенденции к образованию кластеров чаще всего имеют совместную научную или производственную базу, более того успешное развитие кластера может быть гарантировано лишь при условии, что научная база позволяет построить кластер не по специализированному, а по дифференцированному типу.

В мировой практике существуют различные способы активизации и совершенствования инновационной среды. К ним можно отнести формирование развитой инновационной инфраструктуры (технопарки, бизнес-инкубаторы, инновационные фонды), пропаганда результатов инновационной деятельности и распространение инноваций с привлечением торгово-промышленных палат, прямую и косвенную финансовую поддержку инновационных проектов, а также кластерный подход в реализации инновационной политики.

Формирование инновационных кластеров синтезирует эффект синергии, возникающий на основе всеобщей стандартизации продукции. При этом все участники кластера получают дополнительные конкурентные преимущества под воздействием совокупного влияния эффектов масштаба, охвата и синергии.

УДК 330.322

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ, ЕГО СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ

Гурко А.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В последние годы перед экономическими объектами, функционирующими в рыночных условиях, все чаще возникает задача определения их состояния, которое постоянно меняется под влиянием не только внутренних, но и внешних факторов. Потребность в диагностировании возникает из необходимости оценки эффективности экономического объекта, т.е. определения степени соответствия (фактического или ожидаемого) результата его функционирования, требуемому (желаемому). Решить данную задачу можно с помощью экономической диагностики.

Практика диагностирования приборостроительных предприятий показывает, что при исследовании и разработке методов и средств диагностирования экономического объекта, необходимо учитывать его системные свойства и особенности.

Любой экономический объект обладает следующими системными свойствами [1]:

- *абстрактность* (создан в результате творческой деятельности человека);
- *искусственность* (является продуктом созидательной деятельности человека);
- *постоянство* (в течение заданного времени функционирования сохраняет существенные свойства, определяемые предназначением этого объекта);
- *динамизм* (имеет множество возможных состояний, которые изменяются как непрерывно, так и в дискретные моменты времени);
- *формальная неопределенность* (высокий уровень неопределенности в описании);
- *открытость* (обменивается с окружающей средой энергией и веществом);
- *активность* (способен противостоять воздействиям внешней среды (стихии, конкурентов и т.д.) и сам может воздействовать на нее);
- *управляемость* (реализует процесс целеполагания и целеосуществления);
- *эргатичность* (человек сопряжен с техническими устройствами, причем окончательное решение принимает человек, а средства автоматизации лишь помогают ему в обосновании правильности этого решения);
- *сложность* (сложная пространственно-распределенная система, в которой подсистемы (ее составные части) относятся к категориям сложных.

Являясь сложной системой, экономический объект обладает дополнительными свойствами:

- допускает разбиение на подсистемы (объекты низшего уровня), изучать каждый из которых можно самостоятельно;
- функционирует в условиях существенной неопределенности, воздействия внешней среды на него обусловливают случайный характер

изменения его показателей;

- осуществляет целенаправленный экономический выбор своего поведения;

- обладает свойствами, которыми не обладает ни один из составляющих его элементов;

- большие размеры объекта;

- сложная иерархическая структура;

- в объекте циркулируют большие информационные, энергетические и материальные потоки.

При диагностировании экономического объекта необходимо также учитывать его функциональные, структурные, реализационные, рабочие и эргономические особенности.

К *функциональным* особенностям можно отнести:

- наличие общей задачи и единой экономической цели функционирования для всего экономического объекта;

- сложность поведения, связанная со случайным характером внешних воздействий и большим количеством обратных связей внутри объекта;

- устойчивость по отношению к внешним и внутренним помехам и наличию самоорганизации и адаптации к различным воздействиям;

- надежность объекта в целом, построенного из не абсолютно надежных компонент;

- способность к развитию, выражающаяся в способности изменять свои функции и структуру.

Структурные особенности экономического объекта диагностирования:

- большое количество взаимодействующих элементов, составляющих экономический объект - целостное образование;

- возможность выделения групп взаимодействующих элементов, имеющих свое специальное назначение и цель функционирования;

- наличие иерархической структуры связей элементов и иерархии критериев качества функционирования всего объекта;

- высокая степень неоднородности состава элементов;

- большая территориальная рассредоточенность элементов;

- динамичность структуры.

К *реализационным* особенностям объекта относятся:

- значительные затраты на проектирование и создание;

- разнообразие вариантов построения и функционирования экономического объекта;

- использование при проектировании и создании экономического объекта многих научных дисциплин;

- наличие несоответствий проектных решений, определенных в документации, реализованным проектным решениям;

- возможность поэтапного ввода в строй различных элементов.

Рабочие особенности объекта диагностирования:

- большой объем циркулирующей в объекте информации, эффективная обработка которой вручную практически невозможна;

- осуществление прогноза последствий нештатных (аварийных) ситуаций;

- невозможность достоверно прогнозировать воздействие непрерывно изменяющейся окружающей среды вследствие не полноты информации о возможных изменениях в среде за период жизненного цикла экономического объекта;

- необходимость развитой инфраструктуры, обеспечивающей ремонт и восстановление компонентов.

- многократное частичное изменение структуры и состава объекта в процессе его функционирования, связанного с непрогнозируемыми изменениями внешней среды, уточнением параметров самого объекта и целей его функционирования.

Эргономические особенности экономического объекта:

- основной функцией человека в управляющем элементе экономического объекта является управление;

- способность человека оперировать нечеткими представлениями, воспринимать сложные объекты, процессы или явления как единое целое;

- умение творчески, гибко действовать в сложных непредвиденных ситуациях в условиях недостаточной или не полностью достоверной информации;

- способность переходить от одних технологий управления к другим в зависимости от конкретных управленческих ситуаций;

- непредсказуемость поведения, настроения, работоспособности;

- субъективный характер принимаемых решений, особенно в условиях острого дефицита времени и отсутствия достаточно полной информации, возможность случайных и преднамеренных ошибок при обработке информации или формировании информационных сообщений;

- низкая вычислительная мощность человека, неспособность воспринимать большое число вариантов исходов, прогнозировать результаты принятых решений.

Для целей диагностирования, рассматривая экономический объект с системных позиций, необходимо учитывать такие важные составляющие как элемент, связи, взаимодействия, целеполагание [2].

Таким образом, *экономический объект диагностирования* представляет собой множество

составляющих единство элементов, связей и взаимодействий между ними и внешней средой, образующие присущие данному объекту целостность, качественную определенность и экономическую целенаправленность.

Рассмотренные системные свойства и особенности учтены при моделировании процессов диагностирования ряда приборостроительных предприятий, что позволило оценить их полноту и разрешающую способность.

1. Мухин В.И. Исследование систем управления: Учебник для вузов /В.И. Мухин – М.: Издательство «Экзамен», 2003. – 384 с.
2. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами / Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.

УДК 65.011

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

Демченко М.А., Филиппова М.В.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Движущей силой развития промышленности в условиях рыночной экономики является стремление предприятий повысить конкурентоспособность и качество выпускаемой продукции, как обязательного условия ее реализации на рынке. Конкурентоспособность предприятия, среди всего прочего зависит от качества, его продукции, которое в свою очередь, зависит от качества процессов проектирования, подготовки к производству, производства и эксплуатации.

Проверенный десятилетиями и десятками тысяч иностранных фирм путь к выживанию и развитию предприятия на рынке в условиях обостряющейся конкурентной борьбы заключается в создании на предприятии эффективно действующей системы менеджмента качества на основе интегрированной системы управления предприятием в целом.

Согласно стандартам ИСО серии 9000 управление производством должно быть систематическим и информационно прозрачным. Стандарт основан на восьми принципах менеджмента качества, направленных на улучшение деятельности всего предприятия в целом. Важнейшие принципы, реализация которых связана с созданием организационных условий функционирования системы качества, следующие [1]:

- процессный подход;
- привлечение работников;
- постоянное улучшение процессов;
- принятие решений.

Учитывая рассмотренные аспекты деятельности отечественных предприятий, необходимо разработать организационные условия с обеспечение измеримости эффективности систем качества и результативности процессов деятельности предприятия. С учетом вышесказанного выделены следующие организационные условия функционирования системы обеспечения качества процессов производства, представленные на рис. 1.

Представленная классификация позволяет обеспечить выполнение принципов качества. Так процессный подход формирует основу для отношения «клиент-заказчик-исполнитель». Это проявляется при взаимодействии различных процессов направленных на обеспечение потребностей заинтересованных сторон. Методология устойчивого производства способствует повышению качества и эффективности производственных процессов. при этом проблемы качества рассматриваются с точки зрения причин, их вызывающих, то есть позволяя рассмотреть процессы производства как объект управления качеством. Повысить эффективность системы обеспечения качества процессов приборостроительного производства в условиях устойчивого производства можно путем решения следующих задач:

- определение этапов производственных процессов;
- контроль технико-экономических параметров;
- систематический контроль и анализ производственных процессов;
- выявление и устранение причин отклонений от заданных параметров производственных процессов;
- постоянное улучшение качественных параметров производственного процесса;
- уменьшение затрат на производство.

Использование комплексного подхода при решении приведенных задач позволяет выделить производственные процессы, соответствующие поставленным условиям к качеству или процессы, которые не соответствуют данным условиям с их дальнейшим совершенствованием.

В условиях информационной прозрачности при использовании принципа постоянного улучшения производственных процессов в свою очередь выполняется принцип принятия решений основан на фактах, поддержка принятия решений

на основе фактов требует компьютеризации (автоматизации) деятельности. что позволит более точно определять эффективность системы управления качеством процессов приборостроительного производства.

Процессный подход является основой для внедрения информационных технологий на всех видах производственных процессов, т.е. информационная прозрачность между различными уровнями предприятия выполняется в сокращенные сроки, тем самым уменьшается трудоемкость и повышается эффективность системы управления качеством процесса производства.

Организационные условия функционирования системы управления качеством процессов приборостроительного производства позволяют выполнить основные принципы менеджмента качества, что заложены

Рисунок 1 – Организационные условия функционирования системы управления качеством процессов приборостроительного производства

в стандарте ИСО 9000:2009. Реализация полного комплекса представленных условий способствует повышению эффективности функционирования системы контроля качества организации производства. Информационные потоки, которые функционируют в данной системе, необходимы для насыщения ее необходимой информацией. Для этого создаются условия постоянного совершенствования как существующих на предприятии систем, так и для внедрения новых систем управления качеством процессов производства.

Организация производства должна обеспечить согласованное и эффективное функционирование этих элементов в рамках производственной системы. Из вышесказанного логично вытекает вывод, что совершенствование организации производственных процессов, повышение культуры труда и ритмичности производства являются неизменными условиями содержания и улучшения их качества, а значит достижения уровня качества продукции [2]. Более того, в показателях оценки качества производственных процессов заложено качество всех элементов производственной системы: материалов, комплектующих изделий, оборудования, труда, информации, технологии производства.

- Каста, Дж. Большие системы / Дж.. Каста – М.: Мир, 1982. – 216 с.

- Калянов, Г. Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов. Серия «Реинжиниринг бизнеса». – М.: СИНТЕГ, 2000. – 212 с.
- Адамов Е.О., Дукарский С. М. Основные принципы построения автоматизированного машиностроительного производства. – М.: ИАЭ-4111/16, 1985.
- Адлер Ю.П., Щепетова С. Методология ABC-ABB-ABM. Стандарты и качество. – №5, 2002.
- Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии). – М.: Экономика, 1982. – 256 с.
- Анализ и моделирование производственных систем / Б.Г. Тамм, М.Э. Пуусепп, Р.Р.
- Беляев М.И. Всеобщее управление качеством, М.: "МИЛОГНЯ", 2000. – 315 с.

УДК 658.15:338.32

ПОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРОТНЫХ СРЕДСТВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Енин Ю.И., Аносов В.М.
Белорусский национальный технический университет
Минск Республика Беларусь

Создание условий повышения эффективности оборотных средств является важнейшим фактором повышения прибыльности и эффективности производства, определяет возможности его дальнейшего расширения и развития.

Применительно к оборотным средствам основной целью анализа должно стать изучение их состояния, условий и факторов изменения эффективности.

При помощи индексного метода нами предлагается проанализировать основные показатели деятельности организаций приборостроения и, в части, вопросы эффективности использования оборотных средств.

Для оценки эффективности использования оборотных средств в настоящее время применяется несколько показателей – коэффициент оборачиваемости, продолжительность 1-го оборота, коэффициент загрузки, рентабельность оборотных средств.

Учитывая, что перечисленные показатели во многом взаимосвязаны и взаимообусловлены, то для оценки эффективности использования оборотных средств нами принят один из важнейших - коэффициент оборачиваемости.

Рассчитывается коэффициент оборачиваемости оборотных средств по формуле 1:

$$Э_{ос} = V_p / O_c \qquad (1)$$

где $Э_{ос}$ - оборачиваемость оборотных средств (коэффициент),

V_p - выручка от реализации продукции, млрд. руб.,

O_c - средняя стоимость оборотных средств, млрд. руб.

На ряде предприятиях анализ эффективности использования оборотных средств и последующая разработка мероприятий по ее повышению ограничивается определением состояния этого показателя и динамики его изменения. Вместе с тем, очевидно, разработка реальных обоснований планов использования оборотных средств и мероприятий по его повышению невозможно без учета условий и факторов, определяющих состояние и изменение этого показателя. По нашему мнению, при решении перечисленных задач целесообразно учитывать, что обобщающий показатель оборачиваемости оборотных средств складывается, с одной стороны, под влиянием уровня, степени рациональности их использования, а с другой - изменений структуры отличающихся по ликвидности групп, элементов оборотных активов. В этой связи для обеспечения условий роста обобщающего показателя оборачиваемости оборотных средств необходима оценка состояния использования важнейших их элементов, поиск резервов совершенствования управления ими, а также учет возможных изменений их структуры. Для решения перечисленных задач предлагается провести расчет показателей эффективности использования важнейших элементов оборотных средств – запасов и затрат, дебиторской задолженности и денежных средств, изменения этих показателей в анализируемом периоде, и их удельного веса в структуре оборотных средств необходимых для проведения пофакторного анализа.

Расчет эффективности анализируемых элементов оборотных средств осуществляется по формуле 2:

$$Э_i = V_p / O_i \qquad (2)$$

где $Э_i$ - эффективность соответственно запасов и затрат. дебиторской задолженности, денежных средств,

O_i - стоимость запасов и затрат. дебиторской задолженности, денежных средств.

Удельный вес отдельных элементов оборотных средств в их структуре рассчитывается по формуле 3:

$$У_i = О_i / О_с \quad (3),$$

где $У_i$ - удельный вес соответственно запасов и затрат. дебиторской задолженности, денежных средств.

Приращение показателя оборачиваемости оборотных средств за счет изменения в анализируемом периоде использования запасов и затрат предлагается определять по формуле 4.

$$\Delta О^{зз}_{ос} = (Э^{1}_{зз} - Э^{0}_{зз}) * У^{0}_{зз} \quad (4),$$

где $\Delta О^{зз}_{ос}$ - приращение обобщающего показателя оборачиваемости оборотных средств за счет фактора использования запасов и затрат,

$Э^{1}_{зз}$, $Э^{0}_{зз}$ – уровень эффективности использования запасов и затрат соответственно в отчетном и базисном периоде,

$У^{0}_{зз}$ – удельный вес запасов и затрат в структуре оборотных средств в базисном периоде.

Изменения эффективности оборотных средств под влиянием оборачиваемости дебиторской задолженности рассчитываются по формуле 5.

$$\Delta О^{дз}_{ос} = (Э^{1}_{дз} - Э^{0}_{дз}) * У^{0}_{дз} \quad (5)$$

где $\Delta О^{дз}_{ос}$ - приращение обобщающего показателя оборачиваемости оборотных средств за счет фактора использования дебиторской задолженности,

$Э^{1}_{дз}$, $Э^{0}_{дз}$ – уровень эффективности использования дебиторской задолженности в отчетном и базисном периоде,

$У^{0}_{дз}$ – удельный вес дебиторской задолженности в оборотных средствах организации в базисном периоде.

Влияние на обобщающий показатель оборачиваемости оборотных средств изменений использования денежных средств может быть определено при помощи формулы 6.

$$\Delta О^{дс}_{ос} = (Э^{1}_{дс} - Э^{0}_{дс}) * У^{0}_{дс} \quad (6),$$

где $\Delta О^{дс}_{ос}$ - приращение обобщающего показателя оборачиваемости оборотных средств за счет фактора использования запасов и затрат,

$Э^{1}_{дс}$, $Э^{0}_{дс}$ – уровень эффективности использования запасов и затрат соответственно в отчетном и базисном периоде,

$У^{0}_{дс}$ – удельный вес запасов и затрат в структуре оборотных средств в базисном периоде.

Сводный показатель оборачиваемости оборотных средств под влиянием изменения использования отдельных элементов оборотных средств может быть рассчитан при помощи формулы 7.

$$\Delta О^{и}_{ос} = \Delta О^{зз}_{ос} + \Delta О^{дз}_{ос} + \Delta О^{дс}_{ос} \quad (7)$$

где $\Delta О^{и}_{ос}$ – влияние изменений использования элементов оборотных средств (запасов и затрат, дебиторской задолженности, денежных средств) на обобщающий показатель их оборачиваемости.

Важное влияние на формирование обобщающего показателя оборачиваемости оборотных средств оказывают изменение их структуры. Воздействие этого фактора на коэффициент оборачиваемости проявляется через изменение соотношения различающихся по ликвидности, потенциальной эффективности элементов. Доминирующее положение в структуре оборотных средств организаций, как правило, занимают запасы и затраты. Очевидно, этот элемент оборотных средств, происходящие изменения его доли с неизбежностью сказываются на оборачиваемости оборотных средств в целом.

$$\Delta О^{узз}_{ос} = (У^{1}_{зз} - У^{0}_{зз}) * Э^{1}_{зз} \quad (8)$$

где $\Delta О^{узз}_{ос}$ - влияние на оборачиваемость оборотных средств изменения доли в их структуре запасов и затрат.

$У^{0}_{зз}$ и $У^{1}_{зз}$ – удельный вес запасов и затрат в структуре оборотных средств в базисном и отчетном периоде.

Снижение удельного веса запасов и затрат, происходившее на обследуемом предприятии может быть расценено как положительный фактор, который, с одной стороны создает предпосылки увеличения в структуре оборотных средств денежных средств, с другой – и дебиторской задолженности. Расчет влияния на оборачиваемость оборотных средств изменений доли дебиторской задолженности в их структуре был проведен с помощью формулы 9.

$$\Delta О^{удз}_{ос} = (У^{1}_{дз} - У^{0}_{дз}) * Э^{1}_{дз} \quad (9)$$

где $\Delta О^{удз}_{ос}$ - влияние на оборачиваемость оборотных средств изменения доли в их структуре дебиторской запасов и затрат,

$У^{0}_{дз}$ и $У^{1}_{дз}$ – удельный вес дебиторской задолженности в структуре оборотных средств в базисном и отчетном периоде.

Оценка влияния на оборачиваемость оборотных средств удельного веса в их структуре денежных средств проведена с применением формулы 10.

$$\Delta О^{удс}_{ос} = (У^{1}_{дс} - У^{0}_{дс}) * Э^{1}_{дс} \quad (10)$$

где $\Delta О^{удс}_{ос}$ - влияние на оборачиваемость оборотных средств изменения доли в их структуре денежных средств,

$У^{0}_{дз}$ и $У^{1}_{дз}$ – удельный вес денежных средств в структуре оборотных средств в базисном и отчетном периоде.

Денежные средства являются самой ликвидной частью оборотых активов, поэтому нахождение оптимальных значений этого показателя является необходимой предпосылкой обеспечения устойчивого финансового положения организации.

Суммарное воздействие структуры оборотных средств на обобщающий показатель их оборачиваемости может быть измерено при помощи формулы 11:

$$\Delta О^{уi}_{ос} = \Delta О^{узз}_{ос} + \Delta О^{удз}_{ос} + \Delta О^{удс}_{ос} \quad (11)$$

где ΔO^{yi}_{oc} – обобщающий показатель воздействия изменений в структуре оборотных средств на их оборачиваемость.

Суммарное воздействие факторов изменения использования и структуры оборотных средств на обобщающийся показатель оборачиваемости может быть оценено при помощи формулы 12.

$$\Delta O^{yi}_{oc} = \Delta O^{узз}_{oc} + \Delta O^{удз}_{oc} + \Delta O^{удс}_{oc} \quad (12),$$

где ΔO^{yi}_{oc} – обобщающий показатель воздействия изменений в структуре оборотных средств на их оборачиваемость.

Суммарное воздействие факторов изменения использования и структуры оборотных средств на обобщающийся показатель оборачиваемости может быть оценено при помощи формулы 13.

$$\Delta O_{oc} = \Delta O^{ии}_{oc} + \Delta O^{yi}_{oc} \quad (13),$$

где ΔO_{oc} – приращение оборачиваемости оборотных средств.

Применение индексного метода допускает возможность подобного рода расхождений. Они объясняются наличием так называемого нераспределенного остатка, вызванного суммарным воздействием анализируемых факторов. Нераспределенный остаток либо пропорционально относится на полученные в ходе исследования параметры, либо выделяется в самостоятельный фактор – прочие причины. Нами предлагается использовать именно этот подход - $\Delta O^{пр}_{oc}$.

Формула 13 приобретает вид :

$$\Delta O_{oc} = \Delta O^{ии}_{oc} + \Delta O^{yi}_{oc} + \Delta O^{пр}_{oc.}$$

Ожидается, что реализация предлагаемых мер по совершенствованию методических подходов к организации анализа использования оборотных средствам и управлением позволит не только давать объективную оценку их состояния и тенденций изменения, но и позволит вскрывать резервы, разрабатывать обоснованные мероприятия по повышению эффективности.

1. Закон Республики Беларусь от 13.07.2012 № 415–З «Об экономической несостоятельности (банкротстве)». Закон Республики Беларусь от 13.07.2012 № 415–З/ Нац.центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012.
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12.12.2011 № 1672 «Об определении критериев оценки платежеспособности субъектов хозяйствования» . Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12.12.2011, № 1672/ Нац.центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.
3. Об утверждении правил по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов: Постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 31.08.2005г. №158 (в редакции Постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 29.02.2012 № 15)/ Нац.центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012.
4. Об утверждении инструкции о порядке расчета коэффициентов платежеспособности и проведения анализа финансового состояния и платежеспособности субъектов хозяйствования: Постановление Министерства финансов, Министерства экономики Республики Беларусь от *27 декабря 2011г. №140/206* (в редакции Постановления Министерства финансов Республики Беларусь, Министерства экономики Республики Беларусь от 7.06.2013 г. №40/41)/ Нац.центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2011.
5. Постановление МФ №102 от 30.09.2011 Об утверждении Инструкции по бухгалтерскому учету доходов и расходов и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства финансов Республики Беларусь и их отдельных структурных элементов).
6. Постановление Министерства экономики Республики Беларусь 30 октября 2006 г. №186 "Об утверждении рекомендаций по разработке прогнозов развития коммерческих организаций на пять лет и рекомендаций по разработке бизнес-планов развития коммерческих организаций на год" (в ред. постановлений Министерства экономики от 30.10.2007 № 190, и от 21.11.2012 №99).
7. Анализ хозяйственной деятельности в промышленности: учебное пособие / В.И. Стражев [и др.]; под ред. В.И. Стражева, Л.А. Богдановской. – 7–е изд., испр. – Минск: Выш. шк., 2008. – 527 с.
8. Ковалев, В.В. Управление финансовой структурой фирмы / В.В. Ковалев. – М. ТК Велби, Изд-во «Проспект», 2009. – 256 с.
9. Ковалев, В.В. Финансовый менеджмент: теория и практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2007. – 1024 с.
10. Отраслевые финансы: учеб. пособие / Г.Е. Кобринский [и др.]; под общ. ред. Г.Е. Кобринского – Минск: БГЭУ, 2012. – 211 с.
11. Савицкая Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. - М.: ООО «Новое знание», 2011. – 651с.

УДК 001.895:338.24

УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Журавлев В.А.
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время жизненный цикл инноваций в промышленности составляет 2–3 года, а в приборостроении 1-2 года, в этих условиях предприятия приборостроения для обеспечения успеха в конкурентной борьбе должны непрерывно заниматься *инновационной деятельностью*.

К особенностям предприятий приборостроения относятся:

-частая сменяемость продукции, обусловленная научно-техническим прогрессом (НТП);

-большая номенклатура выпускаемых изделий;

-высокая наукоемкость и сложность современных радиоэлектронных приборов с точки зрения применяемых технологических процессов и оборудования, что усложняет организацию производства;

-широкая номенклатура применяемых материалов, комплектующих изделий, в том числе и драгоценных металлов;

-относительная малогабаритность радиодеталей и радиоузлов, что даёт возможность организовать производство в “комнатных” условиях;

-большой удельный вес сборочно-монтажных, настроечных и регулировочных работ в общей трудоёмкости изделий.

Согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ 31279-2004 «Инновационная деятельность. Термины и определения», ***инновационная деятельность*** – это деятельность, обеспечивающая создание и реализацию инноваций, который включает в себя прикладные исследования, подготовку и пуск производства, а также деятельность, обеспечивающую создание инноваций, - научно-технические услуги, маркетинговые исследования, подготовку и переподготовку кадров, организационную и финансовую деятельность [1].

Таким образом, *инновационная деятельность* предприятий и организаций – это все виды научной, проектно-конструкторской, технологической, производственной, организационной, финансовой и коммерческой деятельности, обеспечивающие разработку, производство и распространение инноваций на рынке.

Мотивами инновационной деятельности предприятий и организаций в настоящее время являются.

Внешние мотивы:

1. Научно технический прогресс (НТП);
2. Влияние спроса, развитие потребительских рынков;
3. Влияние предложения, появление новых продуктов;
4. Деятельность конкурентов;
5. Структурные отраслевые изменения;

Внутренние мотивы:

1. Необходимость обеспечения конкурентоспособности предприятия и продукции;
2. Стремление увеличить объемы продаж;
3. Расширение рынка, выход на новые рынки;
4. Экономическая безопасность и финансовая устойчивость предприятия;
5. Максимизация прибыли в долгосрочном периоде.

Инновационная деятельность на предприятиях приборостроения осуществляется путем реализации ***инновационных проектов***, которые предусматривают:

1. Анализ и прогнозирование спроса на новую продукцию,
2. Анализ и прогнозирование достижений науки и техники.
3. Разработку технических заданий (ТЗ) на НИР, выполнение НИР;
4. Разработку ТЗ на ОКР на основе результатов НИР.
5. Выполнение ОКР, разработку конструкторской документации, изготовление и испытания образцов новой продукции;
6. Приемку результатов ОКР;
7. Подготовку и освоение производства новой продукции;
8. Коммерческое распространение новой продукции на рынке.

Для повышения эффективности разработки и реализации инновационных проектов в сфере высоких технологий западные, японские и южнокорейские фирмы широко применяют *методы инновационного, креативного и проектного менеджмента*.

Инновационный, креативный и проектный менеджмент в настоящее время стали постоянной прктикой и одними из главных факторов быстрого инновационного развития и повышения конкурентоспособности предприятий и фирм и их продукции в США, ЕС, Японии, Ю.Кореи.

Креативный менеджмент является частью инновационного менеджмента, он реализуется

на предпроектной и проектной стадиях инновационного цикла [2].

Задача креативного менеджмента – формирование *новых конкурентоспособных идей* и поиск инновационных *конструкторских решений на предпроектной и проектной стадиях* инновационных проектов, направленных на достижение успеха предприятия, организации, фирмы на рынке.

Креативный менеджмент направлен на решение проблем и задач *инновационного развития* на основе системного анализа, сетевого, коллективного мышления и использования специальных *креативных методов* разработки инноваций.

К этим методам относятся [2]:

1. *Методы, ориентированные на внешнюю среду предприятия*.

Это все методы маркетинговых исследований связанные сбором первичной информации о рынке, в т.ч.: анкетирование потребителей, клиентов, дилеров, дистрибьютеров, других посредников, поставщиков, экспертные оценки специалистов, метод фокус-групп, SWOT – анализ, АВС – анализ, маркетинговые эксперименты и наблюдения. Эти методы должны стимулировать формирование новых идей у разработчиков и респондентов, способствующих развитию предприятия и его товаров.

2. *Методы, ориентированные на персонал предприятия*. Они нацелены на формирование новых идей у специалистов предприятия на предпроектной и проектной стадиях инновационного цикла.

К ним относятся: мозговой штурм, обратная мозговая атака, корабельный совет, аналогии, синектика, конференция идей; списки контрольных вопросов, метод РВС, морфологический анализ, функциональный анализ, функциональный метод проектирования Мэтчетта, метод фокусных объектов, метод гирлянд ассоциаций и метафор, метод многократного последовательного классифицирования, метод синтеза оптимальных форм; функционально-стоимостной анализ (ФСА), функционально-физический метод поискового конструирования Р. Колера, теория и алгоритм решения изобретательских задач Г.С. Альтшуллера (ТРИЗ и АРИЗ).

Применение методов креативного менеджмента значительно повышает эффективность разработки и реализации инновационных проектов на предприятиях.

Для повышения эффективности управления инновационной деятельностью на предприятиях приборостроения должны быть созданы *отделы научно-технического (инновационного) развития* предприятий. Эти отделы должны обеспечивать планирование, организацию и координацию выполнения инновационных проектов по разработке новой и совершенствованию выпускаемой продукции и по модернизации и совершенствованию производства изделий.

1. ГОСТ 31279-2004. Межгосударственный стандарт. Инновационная деятельность. Термины и определения.
2. Журавлев, В.А. Креативный менеджмент и инновации / В.А. Журавлев В.А. – Мн.: Право и экономика, 2009. – 111 с.

УДК 658

ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И МАЛЫЙ БИЗНЕС В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Журба Я.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Развитие предпринимательства является приоритетным направлением государственной структурной политики, обеспечивающим повышение эффективности экономики.

Главной целью изменения производственных отношений является повышение эффективности общественного производства. В системе реформирования особое место занимает решение проблем развития малого и среднего предпринимательства, создание и развитие рыночной инфраструктуры.

Государство активно содействует формированию новых экономических отношений, обеспечивающих учреждение, поддержку и функционирование частного предпринимательства, преобразование государственных предприятий и собственности. Со стороны государства осуществляется жесткий контроль за соблюдением субъектами хозяйствования законодательно закрепленных положений на рынках не только продукции, но и денег, труда, капиталов, а также прав собственности на рынках.

Рыночные преобразования в республике проходят по тем же правилам, что и в других странах СНГ. Формируется открытая рыночная, многоукладная экономика. Особенностью преобразований в Беларуси является то, что она имеет самый большой государственный сектор из всех реформируемых государств СНГ, Центральной, Восточной Европы и Балтии.

Зарождению предпринимательства в Республике Беларусь предшествовал эксперименталь-

ный этап (1986-1987 гг.), когда в 1986 г. в СССР был принят закон "Об индивидуальной трудовой деятельности" и стали активно развиваться центры научно-технического творчества (НТТ) и временные творческие коллективы (ВТК), которые дали возможность реализоваться предпринимательскому потенциалу.

За последние десять с небольшим лет предпринимательство в республике прошло следующие основные этапы.

В целом, несмотря на то, что опыт становления и развития предпринимательства в Республике Беларусь имеет свои специфические черты, он свидетельствует о том, что малые и средние негосударственные предприятия - важный ресурс экономического роста, источник повышения производительности труда.

Одним из приоритетов экономической политики РБ является поддержка субъектов малого предпринимательства, в том числе предпринимателей без образования юридического лица. В частности, государством предусматривается оказание финансовой поддержки безработным, решившим заниматься предпринимательской деятельностью. Однако начало деятельности и формирование постоянного источника доходов данной категории работающих - это не одно и то же. Устойчивость начатого дела зависит не только от способностей его участников, но и от финансово-кредитной политики и налоговой среды, в которой осуществляется данная экономическая деятельность. Так, например, доходы от валютных операций, связанных с получением курсовой разницы; проценты по вкладам и другие доходы, которые до сих пор не облагаются налогом в развитых странах, подлежат налогообложению в Республике Беларусь.

В последнее время наблюдается концентрация субъектов малого предпринимательства в коммерческой сфере, а не в производстве. Объясняется это большей сложностью организации производственной деятельности, чем других сфер бизнеса, большим объемом необходимого начального капитала, большей длительностью срока оборота средств по сравнению, например, с торговлей, что в условиях гиперинфляции сводит на нет усилия предпринимателей. Существование в некоторых случаях неравных условий для частного и государственного секторов экономики приводит к возникновению значительных проблем с материально-техническим обеспечением в связи с приоритетом в этой области государственных предприятий (выделение квот, лимитов, дотаций).

С целью активизации привлечения инвестиций и для поддержки предпринимательства на территории Беларуси созданы свободные экономические зоны (СЭЗ).

Созданию в Беларуси ИП и СП, привлечению прямых иностранных инвестиций способствует ее географическое положение (как небольшого трансграничного государства между промышленно развитыми странами Евросоюза и богатой ресурсами Россией), а также структура национальной промышленности и экспорта с высокой долей машиностроительной продукции.

УДК 334.732

СОЗДАНИЕ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Журкевич М.В., Алексеев Ю.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для создания и развития малого и среднего предпринимательства чрезвычайно важна финансовая поддержка на начальном этапе. Банки отказываются кредитовать многие предприятия, находящиеся на начальном этапе развития, относя их к высокорисковым вложениям. Специалисты венчурных фондов, банков, крупных компаний, успешные бизнес ангелы отмечают следующие проблемы: недостаточно развит сервис по сведению проектных команд с потенциальными инвесторами, нет системы привлечения денежных средств физических лиц для целевого финансирования конкретных инновационных проектов.

Одним из выходов из ситуации является создание краудфандинговых платформ. Это позволит использовать технологии для облегчения движения капитала и других ресурсов для создания предприятий малого бизнеса, в том числе в тех случаях, когда банки отказывают в кредитовании. Суть краудфандинговой платформы в том, что она позволяет размещать ваши идеи реализации коммерческого предприятия онлайн, а затем обеспечивает инвесторам возможность приобретать акции или доли в создающейся компании. Платформа является посредником между предпринимателями и инвесторами. Еще одно преимущество краудфандинга по сравнению с традиционными займами это возможность предпринимателей оценить общественный интерес к своей продукции. Краудфандинговая платформа – Интернет сервис по сбору средств на коммерческие и благотворительные цели. [1]

Цели для сбора средств могут быть совершенно разными, например поддержка со стороны поклонников музыкальной группы; под-

держка политических кампаний; финансирование стартап-компаний и малого бизнеса, создание свободного программного обеспечения. Взамен люди получают моральное удовлетворение, подарки, упоминание в списке авторов, доступ к дополнительным материалам, право решать судьбу проекта.

Интересный и правильно преподнесенный проект, без проблем может набрать аудиторию в 10 тысяч человек за пару дней. Ведь механизм очень прост, достаточно несколько раз нажать кнопку мыши, ввести данные кредитной карты и отправить свой взнос. Наибольший вклад краудфандинга в развитие бизнеса заключается в поддержке стартапов. выход на рынок и продвижение.

Инициаторы проектов и инвесторы отмечают следующие проблемы: недостаточно развит сервис по сведению проектных команд с потенциальными инвесторами, существующие финансовые инструменты поддержки малого бизнеса не соответствуют его реальным потребностям, ограничены возможности начинающих инноваторов привлечь стартовый капитал, получить гранты, займы и кредиты. Создание краудфандинговой платформы потенциально обеспечивает возможность привлечения инвестиций в инновационные проекты.

Краудфандинговая платформа привлечения инвестиционных средств – качественно новый инфраструктурный элемент инновационной инфраструктуры, способствующий: увеличению реализации инновационных проектов, обеспечению качественного менеджмента на стадии привлечения инвестиций для инновационных проектов, упрощению вовлечения представителей научно-технического сектора, высших учебных заведений и потенциальных инвесторов в процесс коммерциализации разработок и инновационных идей. стимулированию инвестиций в инновационные сферы экономики.

Прямыми задачами краудфандинговой платформы являются проведение постоянной кампании по сбору средств на коммерческие проекты и информационное обеспечение участников инвестиционной деятельности. К долгосрочным задачам можно отнести систематизация и анализ инновационной деятельности, создание баз данных инвесторов и проектов с возможностью статистического анализа рыночных предпочтений.

Краудфандинговая платформа представляет собой Интернет сайт с подключенными платежными системами, дающая возможность пользователям разместить свои проекты и собрать необходимые средства на их реализацию.

Первым направлением краудфандинговой платформы является ее деятельность как комплекса мероприятий по отбору, оценке и подготовке инновационных проектов и компаний к инвестированию (до инвестиционная стадия). Сюда можно отнести прием и сопровождение заявок на инвестирование проектов, привлечение инвестиций, а также юридическое сопровождение сделок.

Вторым направлением краудфандинговой платформы является ее деятельность как базы данных, содержащая информацию о участниках инновационных процессов (юридических и физических лицах, инновационных проектах, заявках инициаторов проектов на привлечение инвестиций, заявках-предложениях инвесторов на финансирование проектов.

И третьим направлением краудфандинговой платформы является ее деятельность как сервиса, который позволяет клиентам ознакомиться с проектами и найти перспективный и эффективный проект для финансовых вложений, проводить кампании по сбору средств на коммерческие проекты.

Основные направления оказываемых услуг краудфандинговой платформы является содействие в привлечении инвестиционных ресурсов (оказание помощи в проведении экспертизы проекта, оценка проекта; помощь в поиске и привлечении стратегических партнеров и инвесторов) и помощь в установлении контактов и заключении хозяйственных сделок.

Также платформой могут оказываться услуги по экспертной оценке эффективности проекта, предварительной оценке стоимости бизнеса, подготовке и сопровождению основных условий инвестиционной сделки, инвестированию проектов, подбору проектов, технологий для заказчиков и инвесторов, подготовке документов для регистрации предприятия, подготовке договоров, внутренних документов фирмы, электронному документообороту.

Для инвесторов может использоваться две модели финансирования: акционирования и микрокредитования конкретных проектов.

Процедуры, связанные с акциями, сложны для небольших краудфандинговых проектов. Чтобы избежать излишних трудностей платформы используют несколько моделей.

Модель сотрудничества. Потенциальных спонсоров привлекают как членов закрытого инвестиционного клуба, а предложение не делается публично.

Клубная модель. Индивидуальные вклады объединяются и передаются юридическим организациям, которые инвестируют в проекты.

При использовании модели микрофинансирования физические лица предоставляют небольшие суммы инициаторам проектов в виде кредитов на согласованных сторонами условиях. Используются две основные модели.

Модель микрокредитования. Микрокредитование является предоставлением финансовых услуг клиентам с низкими доходами, которые не имеют доступа к банковским и сопутствующим услугам. Деньги собраны толпой и управляются посредником.

Модель кредитования «от одного к другому». Финансовая операция (заем), которая происходит непосредственно между физическими лицами без посредничества традиционных финансовых учреждений. Займодавцы могут одолжить небольшую сумму денег и какой-либо компании.

Краудфандинговая платформа – это, в первую очередь, виртуальная инвестиционная модель, главной целью которой является поиск средств под инновационные проекты.

В Республике Беларусь рынок краудфандинга совершенно не развит. Процесс создания такой платформы включает в себя 2 направления: маркетинговая и рекламная кампании.

Маркетинговая кампания. Планируется использовать опыт крупнейших платформ в мире, которые внедряют анализаторы статистики и рейтинги популярности для оценки эффективности своей работы.

Для привлечения постоянных пользователей и увеличения посещаемости сайта Краудфандинговой платформы разработана рекламная кампания, которая включает в себя выпуск и рассылка рекламных буклетов в организации инновационной инфраструктуры Республики Беларусь и других стран, регистрация в справочниках и каталогах сети Интернет, контекстная и баннерная реклама, размещение ссылок на внешних ресурсах, организация электронной почты и рассылки, написание, рассылка и размещение на других Интернет ресурсах пресс-релизов.

Таким образом создание краудфандинговой платформы позволит создать новый эффективный механизм коммерциализации научно-технических разработок, перспективных идей молодых ученых и поддержать начинающие инновационные проекты. Также национальная краудфандинговая платформа даст новый толчок в развитии национальной инновационной системы.

1. Двинских В.В., Шевченко Д.А. Краудфандинг для инвестиционных проектов: особенности построения сайта // Международный университет природы, общества и человека «Дубна». – 2011. – С.5.

УДК 658.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МАЛОГО БИЗНЕСА

Иванцов П.И.
Академия управления при Президенте Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

Эффективное развитие экономики страны фокусируется в системе составляющих, по которым, в свою очередь, можно судить и о степени зрелости экономической системы в целом. Важнейшим в ряду таких составляющих общепринято считать развитие малого предпринимательства. Пороговой величиной, свидетельствующей о том, что в стране осуществилась критическая масса рыночных преобразований, созданы благоприятные условия для бизнеса, эффективного использования инвестиций, является состояние экономики, когда доля малого бизнеса достигает примерно 40% от общей численности занятых. В экономически развитых странах доля малого бизнеса в общем объеме ВВП, как правило, превышает 50%. Малое предпринимательство вносит значительный вклад в развитие экономики, а также в решение актуальных задач по привлечению инвестиций, развитию сферы услуг, созданию новых рабочих мест, формированию бюджета, а так же важным стимулом экономического роста. Последнее в значительной мере способствует формированию конкурентной среды, установлению рыночного равновесия и, таким образом, играет большую роль в решении экономических и социальных задач в обществе. Поэтому государственная политика экономически развитых государств в сфере малого предпринимательства направлена на создание благоприятных условий для его развития. Переходный период к рыночным отношениям в Республике Беларусь характеризуется постоянным поиском регулирующей роли государства не только в формировании нормативно-правовой базы, а и в разработке экономического механизма создания новых организационных структур, которые могли бы значительно повысить как эффективность функционирующего народнохозяйственного комплекса страны, так и его экспортный потенциал, в том числе ив сфере приборостроения. Исходя из сущности и значимости малого бизнеса в развитии экономики Республики Беларусь государственная поддержка малого предпринимательства осуществляется по следующим основным направлениям: формирование инфраструктуры поддержки и развития малого пред-

принимательства, в том числе содействие организации и деятельности центров поддержки предпринимательства и инкубаторов малого предпринимательства, инновационных центров и торгово-промышленных палат; создание льготных условий для доступа субъектов малого предпринимательства к финансовым, материально-техническим и информационным ресурсам, а также к научно-техническим разработкам и технологиям; введение упрощенной системы регистрации, налогообложения, учета и отчетности для субъектов малого предпринимательства, лицензирования их деятельности, сертификации выпускаемой ими продукции; поддержка внешнеэкономической деятельности субъектов малого предпринимательства, включая содействие развитию их производственных, торговых, научно-технических и информационных связей с зарубежными партнерами; организация подготовки, переподготовки и повышения квалификации руководителей, специалистов и персонала для малого предпринимательства; реализация программ, направленных на насыщение рынка экологически чистыми и безопасными товарами, конкурентоспособными средствами их производства; организация многопрофильных исследований предпринимательских структур.

Мониторинг развития малого бизнеса в последние годы указывает на его положительную динамику. Однако соизмеряя результаты и требования программы роста доли малого бизнеса до 30% в 2015 году, в среднесрочной перспективе необходимы огромные усилия по увеличению темпов его роста и неординарных методов управляющей роли государства по стимулированию его развития. Оценивая сложность поставленных задач по развитию малого бизнеса в среднесрочной перспективе (запланировано увеличение доли малого предпринимательства в ВВП до 30 процентов и обеспечение численности занятых в этом секторе не менее 1,8 млн. человек к концу 2015 года), нами предлагается один из возможных вариантов формирования новых организационных структур (кластеров) в отраслях народного комплекса республики.

В данном случае, предложен вариант формирования новых инновационных структур на примере агропромышленного комплекса.

Первая и основная целеполагающая составляющая в формировании экспортного потенциала агропромышленного сектора – это его системная модернизация и формирование кластеров в отрасли (экспортный потенциал 2013 года - 5 млрд. долл. США, 2015 – 7 млрд. долл. США). Вторая важная составляющая успеха - практическая реализация неиспользованных возможностей человеческого потенциала за счет повышения его материальных стимулов. Это предполагает кардинальное улучшения внутрихозяйственных отношений, повышения личной заинтересованности кадров в конечных результатах экономики предприятий и их материальной ответственности. При создании структур рыночного типа осуществляется переход к предпринимательской деятельности по управлению дочерними компаниями холдинга. Это принципиально изменяет мотивацию деятельности руководителя по выполнению количественных и качественных параметров производственной деятельности организаций.

Важной составляющей эффективного функционирования предпринимательских структур является формирование корпоративной системы управления. Стратегия корпоративного управления состоит в единстве приоритетов и ценностей. Эффективность данной стратегии управления вырабатывалась веками. Примером такой эффективной системы является англо-саксонская аутсорсинговая модель управления, основанная на фрагментарной (распыленной) собственности акционеров, независимости инвесторов и менеджеров. Данная модель корпоративного управления изначально признает конфликт интересов между ними и прилагается максимум усилий для защиты миноритарных акционеров. При инсайдерской модели корпоративный контроль становится следствием концентрации капитала или властных полномочий по его управлению либо у одного инвестора, либо у определенной группы. При этом по структуре различают англо-американскую «унитарную» модель управления, в которой совет директоров осуществляет все функции управления, в том числе и исполнительные и континентальную – двухуровневую модель. В континентальной двухуровневой модели совет директоров состоит из исполнительного и наблюдательного советов. Однако в любой западной системе этот орган, включающий в основном независимых и высокооплачиваемых членов, подотчетен акционерам и обязан защищать общие интересы членов трудового коллектива. Разработка и применение корпоративной системы управления позволяет выходить на западный рынок инвестиций, поскольку правила допуска на биржи (в том числе российскую (включают наличие независимого совета директоров). Считается аксиомой, что это является конкурентным преимуществом уже по причине вовлечения дополнительных интеллектуальных ресурсов в управление предприятием. Более того, эволюция корпоративной среды привела к тому, что формально созданные советы директоров, заменяются независимыми специалистами, способными вырабатывать неординарные и профессиональные суждения, способствуют повышению управляемости предприятия и эффективности контроля над деятельностью исполнительной дирекции. При этом существование этого

органа корпоративного управления в выше приведенной формуле зависит от собственников, так как независимый директор (управляющий) должен занимать позицию не мажиротарного акционера, а быть на стороне правды (истины). С другой стороны независимый директор (управляющий) должен отвечать за свои действия перед собственником не только за злоупотребления, но и за любые просчеты. Таковым нормативно-правовым документом может быть ЭФФЕКТИВНЫЙ ДОГОВОР (договор ответственности). Практика применения такого договора призвана кардинально изменить существующую систему управления госсобственностью, где акционерные общества, зачастую, решают узковедомственные задачи, а не концентрируют внимание на корпоративных интересах, работать с прибылью и высокой добавленной стоимостью.

1. АПК будет учится самофинансированию, Белорусы и рынок 03.12.2012, № 46. – с.4
2. Иванцов, П.И. Инновационная деятельность в агробизнесе: теория, практика. Учебное пособие, Академия управления при Президенте Республики Беларусь, Минск, 2006. – 253 с.
3. Иванцов, П.И. Инновационная экономика. Пособие. – Минск, «Дикта». – 148 с.
4. Иванцов, П.И. Агропромышленный кластер как основа продовольственной безопасности // Наука и инновации. – 2012, № 11. – С. 30-32.
5. Иванцов, П.И. Когда стимул работает лучше. – Бел. Думка, №9, 2012. – С.64-67.
6. Кампанейщина вредит делу. Белорусская нива, 09.11.2012

УДК 338

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Казачинская Е.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день для функционирования национальной экономики актуальной задачей является переход к инновационо–ориентированной модели развития экономики. В последние годы в Республике Беларусь проводилась целенаправленная работа по сохранению и развитию научно-технического и инновационного потенциалов. Совершенствовалась система управления наукой, расширялась и укреплялась законодательная и нормативная правовая база научно-инновационной деятельности, принимались меры по повышению уровня инновационности производства, развитию инфраструктуры, малых инновационных предприятий [1].

По ряду направлений Республика Беларусь удерживает позиции среди лидеров в разработке фундаментальных проблем в области физики, математики, новых материалов[11]. Фонд идей и концепций, традиционные и новые научные заделы позволяют сегодня белорусской науке и экономике успешно сотрудничать с мировым научным сообществом по таким направлениям, как информатизация и программное обеспечение, нанотехнологии и наноматериалы, энергоэффективные технологии, генетика и биотехнологии, экологическая устойчивость, радиационная безопасность и другим [3].

Результаты прикладных исследований и разработок последних лет обеспечили достижения в области автомобиле- и тракторостроения, современных телевизоров, городского транспорта, медицинского оборудования и лекарственных препаратов, сенсорной техники [12]. Экономически развитые страны в настоящее время обеспечивают подавляющую долю роста своего ВВП результатами инвестирования в инновации и технологический прогресс. С 70-х гг. и в течение последующих трех десятилетий прошлого века определился основной круг инновационно развитых стран, отличающиеся растущими показателями глобального индекса валового внутреннего продукта и конкурентоспособности, интеллектуального развития и человеческого потенциала [13]. По официальным данным Всемирного экономического форума, интегрированный индекс инновационности в этих странах находится в пределах максимального значения – 82%, минимального – 55%. Беларусь не вошла в данный перечень стран [4].

Экономическая ситуация в Беларуси характеризуется рядом негативных факторов, среди которых можно выделить: институциональную неопределенность; наличие высоких рисков; низкий процент производства и внедрения инноваций, а также новых технологий; недостаточную развитость венчурного бизнеса в стране; неопределенность в законодательной и нормативно-правовой сфере; низкую инновационную активность предпринимательства; недостаточное финансирование исследований и разработок государством и нечеткая диверсификация финансирования инновационного процесса. Практика показывает, что имеется низкая степень координации деятельности хозяйствующих субъектов и

недостаточно высокий уровень реализации НИОКР [6].

Необходимость исследования проблем формирования национальной инновационной системы, актуализируется общей спецификой инновационной деятельности – неопределенность и отложенность результата, асимметричность информации, доступной исследователям, новаторам, инвесторам, потребителям; высокие риски; особые требования к квалификации кадров и качеству менеджмента [2], что обусловливает важность изучения доминирующей причинно-следственной связи, кардинально влияющей на инновационную деятельность – неопределенность и обусловленные ею высокие риски. Следовательно, одной из причин сложившейся ситуации является чрезвычайно высокий риск осуществления инновационных проектов [7].

Инновационный риск представляет собой риск, связанный с неопределенностями в инновационной сфере, начиная от выработки инновационной идеи до реализации на рынке. В этом случае возникает вероятность наступления неблагоприятных последствий в процессе создания, освоения и распространения объектов инновационной деятельности. Как уже было отмечено, инновационное развитие гораздо в большей степени, чем другие направления деятельности, сопряжено с риском. В результате неблагоприятного проявления инновационных рисков, как правило, из 10 инновационных разработок 5 являются убыточными. Из оставшихся 5 разработок только 3 позволят "выйти в ноль". Оставшиеся 2 инновации дают такую прибыль, что она распределяется на все 10 разработок объемом не менее 40% [8]. Тем не менее, перспективы получения высокой прибыли от внедрения инновационного проекта нивелируют повышенный риск инновационной деятельности. Избежать полностью риска в инновационной деятельности невозможно, поэтому предприятиям необходимо тщательно анализировать инновационные процессы, чтобы не допустить возможных ошибок на стадии отбора проектов [9].

Присутствие всех типов инновационных инвестиций в экономике в комплексе является главным фактором развития национальной инновационной способности, а именно возможности и готовности разрабатывать и внедрять новшества.

Таким образом, изучение современных инновационных рисков позволяет сделать вывод, что инновационные процессы на любом уровне экономики требуют создания определённого механизма управления рисками инновационного проекта, представляющего собой совокупность систематических мероприятий, направленных как на предотвращение наступления рисковых событий, так и на реагирование на них с целью уменьшения отрицательных и усиления положительных последствий их наступления[10].

1. Никитенко, П.Г. Инновации как фактор повышения конкурентоспособности / П.Г. Никитенко, Л.А. Платонова // Доклады НАН Беларуси. – Т.48. - № 5. 2004. – С. 112-115.
2. Бадюков, А.Ф. Инновационная деятельность как фактор повышения конкурентоспособности // Вестник ГрГУ. - № 1. – серия 2. – 2000. – С.111-114.
3. Концепция развития научно-инновационной деятельности в системе Министерства образования Республики Беларусь на 2010-2015 годы [Электрон. ресурс] / Министерство образования Республики Беларусь – Режим доступа: http://www.minedu.unibel.by/, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
4. Анчишкин, А.И. Наука – Техника – Экономика. – М.: Экономика, 1989. – 383 с.
5. Колонтай, М.М. Инновационный менеджмент. – Мн.: БГЭУ, 1997. – 191 с.
6. Фатхутдинов, Р.А. Инновационный менеджмент. Учебник для вузов. – М.: ЗАО "Бизнес-школа "Интел-Синтез", 1998. – 476 с.
7. Концепция межгосударственной инновационной политики государств-участников Содружества Независимых государств до 2005 года: Утв. Экономическим советом СНГ 22.06.01. – М., 2001. – 34 с.
8. Закон Республики Беларусь "Об основах государственной научно-технической политики" // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, – 2006 г., – № 122. – С.1.
9. Организация научно-технической деятельности в Республике Беларусь. Сб. нормативно-правовых актов. – Мн.: БелИСА., 1998. – 170 с.
10. Проблемы и перспективы развития научно-инновационного комплекса Республики Беларусь: Сб. науч. ст. / Редкол.: В.И. Недилько и др. – Мн.: БелИСА, 2001. – 120 с.
11. Нехорошева Л.Н. Научно-технологическое развитие и рынок. – Мн.: БГЭУ, 1996. – 212 с.
12. Алексеев Ю.Г. Создание и деятельность РУП «Технопарк БНТУ «Политехник» /Сб. докладов респ. научно-практ. семинара «Опыт создания и перспективы развития инновационной инфраструктуры республики» - Мн.: ГКНТ. – 2004. – С.91-96.
13. Межвузовский центр маркетинга научно-исследовательских разработок [Электронный ресурс] / – Режим доступа: http://www.icm.by/, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
14. Научно-технологический парк БНТУ "Политехник" [Электронный ресурс] / – Режим доступа: http://www.metolit.by/ru/, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

15. Хрусталев Б.М. Три звена успешного развития экономики страны [Электрон. ресурс] / Белорусский национальный технический университет – Режим доступа: http://www.bntu.by/, свободный – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

УДК 338.1

СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Калинин А.Ю.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Приборостроение является одной из наиболее высокотехнологичных и наукоемких отраслей национальной экономики как Республики Беларусь, так и большинства развитых стран. Это означает, что в рамках деятельности данной отрасли как создается так и используется значительное число результатов научно-технической деятельности, которые являются объектами интеллектуальной собственности. Стоит отметить, что объекты интеллектуальной собственности являются ключевым элементом нематериальных активов и представляют собой тот ресурс, который в полной мере не задействован в экономике нашей страны.

Как показывает мировой опыт, организация системы управления объектами интеллектуальной собственности является действенным инструментом не только повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, но и обеспечения максимальной отдачи от результатов научно-технической деятельности (объектов интеллектуальной собственности). Особое значение это имеет для организаций осуществляющих научные исследования и разработки, в том числе и высших учебных заведений, а также для организаций содействующих коммерциализации результатов научно-технической деятельности, в первую очередь – субъектов инновационной инфраструктуры.

Повышение и обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции осуществляется на основе мониторинга и анализа патентной информации, которая является неотъемлемым источником информации при осуществлении исследований и разработок, а также при подготовке производства и выводе продукции на рынок.

В соответствии с мировой практикой, обеспечение максимальной отдачи от результатов научно-технической деятельности (объектов интеллектуальной собственности) осуществляется в рамках стратегического управления интеллектуальной собственностью. В мировой практике, существует значительное количество данных стратегий, но на постсоветском пространстве наибольшее распространение получили следующие семь стратегий [1]:

1. Стратегия защиты (оборонительная стратегия);
2. Стратегия нападения (наступательная стратегия);
3. Патентно-лицензионная стратегия;
4. Стратегия формирования уставного капитала предприятия;
5. Стратегия создания имиджа организации (репутационная стратегия);
6. Мотивационная стратегия;
7. Стратегия оптимизации финансово хозяйственной деятельности.

Стратегия защиты (оборонительная стратегия) от конкурентов реализуется с помощью получения большого количества патентов (создание так называемой «патентной сети») в целях правовой охраны на рынке выпускаемых товаров и услуг.

Стратегия нападения (наступательная стратегия) базируется на основе получения монопольных прав в виде большого количества охранных документов (патентов и свидетельств) с целью вытеснения конкурентов и захвата преобладающего рыночного сектора.

Патентно-лицензионная стратегия направлена на получение организацией-правообладателем дополнительного финансового дохода от лицензионных сделок.

Стратегия формирования уставного капитала предприятия позволяет вносить исключительные права на объекты интеллектуальной собственности, принадлежащие юридическим или физическим лицам, в качестве неденежного вклада в уставный фонд предприятия, который в соответствии с законодательством Республики Беларусь может составлять до 50 % величины уставного фонда.

Стратегия создания имиджа организации (репутационная стратегия) направлена на поддержание в глазах общественности позитивного имиджа организации как технологически сильного предприятия. Результатом реализации данной стратегии является повышение инвестиционной привлекательности организации, дополнительная возможность привлечения кредитных средств, а также известных зарубежных партнеров.

Мотивационная стратегия предполагает использование патентов в управлении людскими ресурсами в качестве средства поощрения творческой деятельности работников, т.е. значительно повысить уровень оплаты творческих работников университетов и научных организаций за счет выплаты вознаграждений за создание и использование объектов интеллектуальной собственности.

Стратегия оптимизации финансово-хозяйственной деятельности позволяет за счет осуществления операций с нематериальными активами снижать налогооблагаемую базу.

На сегодняшний день среди предприятий Республики Беларусь наиболее распространена стратегия защиты. Приборостроение не является исключением, хотя учитывая то, что значительная часть объектов интеллектуальной собственности для приборостроения создается в научных организациях (в том числе в Белорусском национальном техническом университете), то наиболее перспективной стратегией для обеспечения коммерциализации результатов научно-технической деятельности видится в первую очередь стратегия формирования уставного капитала, которая может эффективно реализовываться при осуществлении взаимодействия с субъектами инновационной инфраструктуры.

Стоит отметить, что для успешной реализации любой из приведенных выше стратегий необходимо обеспечить выполнение следующих этапов [2]:

1. Инвентаризация;
2. Учет объектов интеллектуальной собственности в качестве нематериальных активов;
3. Анализ и последующая реализация возможных вариантов использования нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности;
4. Мониторинг использования нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности;
5. Регулирование процессов использования нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности.

На этапе инвентаризации устанавливается факт наличия нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности. Анализируется исходная информация по всем идентифицированным объектам. Исследуется возможность по использованию выявленных объектов.

Этап учета объектов интеллектуальной собственности в качестве нематериальных активов представляет собой мероприятия, включающие, как правило, оценку стоимости (внутреннюю или независимую экспертизу), постановку на баланс (если это возможно), начисление износа (амортизации) по каждому выявленному объекту. Стоит отметить, что нематериальные активы принимаются к бухгалтерскому учету по первоначальной стоимости.

На этапе анализа и последующей реализации возможных вариантов использования нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности исследуются возможные варианты использования всех выявленных объектов: передача прав пользования, продажа лицензий, патентов, публикация результатов исследований, включение в список конфиденциальной информации (коммерческая тайна). Для выбора наиболее эффективного варианта использования того или иного объекта на данном этапе рассматриваются все возможные варианты использования по каждому объекту с точки зрения получения максимальных конкурентных преимуществ на рынке, увеличения доли рынка, максимизации прибыли и т. д. Далее на данном этапе осуществляется реализация выбранных вариантов использования объектов с позиции максимизации эффекта.

На этапе мониторинга использования нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности осуществляется контроль над выполнением намеченных вариантов использования выявленных объектов. Выявляются ошибки и недостатки в процессе их непосредственного использования по намеченным вариантам.

Этап регулирования процессов использования нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности заключается в исправлении ошибок и недостатков в использовании, выявленных на этапе мониторинга, т. е. максимизируется положительный эффект с учетом новых данных.

В заключении стоит отметить, что так как нематериальные активы и объекты интеллектуальной собственности находят все более активное применение в хозяйственной деятельности, актуальным становится не просто использование имеющихся нематериальных активов и объектов интеллектуальной собственности, но и обеспечение максимально эффективного управления ими.

1. Нечепуренко, Ю.В. Коммерциализация объектов промышленной собственности - задача стратегическая / Ю.В. Нечепуренко // Интеллектуальная собственность в Беларуси. – 2013. – № 3. – С. 8-11.
2. Ивлиева, Н.Н. Стратегии управления нематериальными активами с целью повышения конкурентоспособности компании / Н.Н. Ивлиева, Д.В. Шишляев // Современная конкуренция. – 2007. – № 2. – С. 110-116.

УДК 796.07

ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА КАК ФАКТОР УКРЕПЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ

Ковель С.Г., Халло Г.В., Герасимчик М.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Укрепление здоровья, улучшение показателей физического развития и физической подготовленности студенческой молодежи является актуальной проблемой, в связи с ухудшением состояния здоровья обучающихся.

На здоровье студентов во время обучения влияет множество различных факторов. Среди них: распорядок дня, режим труда и отдыха, питание, условия проживания, организация досуга, занятия физическими упражнениями и др.

Анализ состояния здоровья студентов приборостроительного факультета БНТУ за последние несколько лет показал, что число студентов, относящихся по состоянию здоровья, к основной группе неуклонно снижается, а число студентов относящихся к подготовительной и специальной медицинской группе (СМГ) возрастает (таблица 1).

Таблица 1 – Распределение студентов 1 курса по группе здоровья (%)

Учебный год	Группа здоровья		
	Основная	Подготовительная	СМГ
2013/2014	41	21	32
2014/2015	47	26	34

В среднем доля здоровых студентов поступивших в 2014 году на приборостроительный факультет БНТУ составляет 47% от общего числа.

По дисциплине «Физическая культура» на основном отделении по общей программе совместно обучение проходят 73% студентов, имеющих основную и подготовительную группу здоровья. Из их числа 26% студентов имеют отклонения в состоянии здоровья по одному или нескольким заболеваниям.

Количество студентов первого курса приборостроительного факультета, имеющих два и более заболеваний в 2014 году составляет 26,8%, что практически не отличается от показателей прошлого (2013) года. Однако, количество студентов имеющих одно заболевание возросло на 29% и в 2014 году составляет 37,5% (рисунок).

Результаты медицинского осмотра студентов первого курса приборостроительного факультета БНТУ свидетельствуют о том, что на основном отделении занимаются 47% здоровых, остальные имеют различные заболевания слабой степени: миопия (24%), сколиоз (16%), ПМК 1 степени (8,6%), хронический гастрит (1,8%), плоскостопие (1,5%), в некоторых случаях у одного студента наблюдается по 2-3 заболевания.

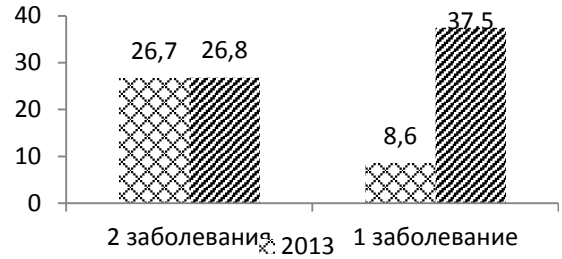


Рисунок 1 – Количество студентов 1 курса, имеющих заболевания (в %)

Все вышесказанное влияет на организацию и содержание учебных занятий по физической культуре в условиях вуза. Занятия по физической культуре должны наилучшим образом обеспечивать формирование и совершенствование психических и физических качеств, имеющих существенное значение для сохранения здоровья и формирования необходимых умений и навыков будущей профессиональной деятельности.

Для изучения объективных и субъективных факторов и условий повышения эффективности занятий по физической культуре с целью сохранения и укрепления здоровья студенческой молодежи было проведено анкетирование. Разработана анкета, которая была разделена на два блока, и состояла из 20 вопросов с веером ответов. Первый блок включал общие вопросы, позволяющие определить отношение студентов приборостроительного факультета к преподаванию физической культуры в университете, выявить потребности студентов к занятиям физическими упражнениями, второй блок был посвящен изучению самооценки занимающихся в вопросах, касающихся их здоровья, уровня физического развития, показателей физической и функциональной подготовленности.

В анкетировании приняли участие 389 студентов 1-4 курсов приборостроительного факультета БНТУ (210 юношей и 179 девушек).

Анализ ответов студентов на вопросы анкеты показал, что 63% из них никогда не курили, 46 % редко употребляют алкоголь, лишь несколько раз в год, 69 % считают, что они не страдают хроническими заболеваниями, 14,3 % указали, что имеют заболевания желудочно-кишечного тракта, 8,6 % –

отклонения в состоянии сердечно-сосудистой системы, 5,7 % – дыхательной и эндокринной систем.

Не смотря на данные медицинского осмотра, большинство студентов считают свое здоровье и физическое состояние в целом хорошим, питание разнообразным, но недостаточным и хаотичным. Для улучшения общего состояния своего организма студенты часто используют прогулки, реже – физические упражнения, тренажеры, массаж и сауну и др. Занятия физическими упражнениями считают далеко не первыми среди факторов, позволяющих создать здоровый образ жизни человека.

Студентам предлагалось оценить уровень своего физического развития, функциональной и физической подготовленности. Большинство опрошенных свое физическое развитие и функциональное состояние оценивают как среднее (31,4 %) пропорциональное (45,7 %). Свой уровень физической подготовленности (развитие двигательных качеств: силы и быстроты, выносливости, координационных способностей, гибкости) студенты оценивают выше среднего.

Многие из опрошенных занимаются физическими упражнениями 1-2 раза в неделю (40 %), 60 % отводят на занятия 30-60 минут, 51,4 % считают, что утомление их организма наступает лишь при значительных и длительных нагрузках. Во время учебы в средней общеобразовательной школе большинство из опрошенных студентов занимались различными видами спорта 54% девушек и 65% юношей.

Таблица 2 – Предпочтения студентов в занятиях физическими упражнениями

Выбор студентов	**Дев.**	**Юн.**
Посещать спортивную секцию	31%	58%
Заниматься спортивными играми:	20%	47%
футбол	1%	26%
волейбол	16%	8%
баскетбол	3%	8%
другие игровые виды спорта	-	5%
Различными видами спорта	11%	11%
Ритмической гимнастикой	37%	-
Посещать тренажерный зал	13%	19%
Посещать плавательный бассейн	14%	18%
Ничем	3%	5%

Во время обучения в БНТУ дополнительно занимаются физическими упражнениями 56% девушек. В свои занятия они включают такие виды упражнений, как утренняя гимнастика, плавание, волейбол, упражнения для мышц брюшного пресса. Иная картина у юношей, 60% из них не занимаются дополнительно физическими упражнениями, те же, кто ответил на этот вопрос положительно, выделяют увлечения современными видами спорта, посещение бассейна и тренажерного зала. Для повышения уровня своих физических кондиций на время обучения в БНТУ большинство юношей и многие девушки предпочли традиционным занятиям по физической культуре посещение спортивной секции по какому-либо виду спорта, девушки желают заниматься ритмической гимнастикой (аэробикой) (таблица 2). Из видов спорта, которыми студенты хотели бы заниматься, юношей выбрали футбол, а девушки – волейбол. Есть также и те, кто не хотел бы заниматься ничем.

Во время занятий физическими упражнениями самостоятельно могут обеспечить себе безопасность и самоконтроль, оказать первую медицинскую помощь 57,1 % опрошенных. Однако, 30% студентов, указали, что не смогут осуществлять контроль за состоянием других занимающихся при выполнении физических упражнений, разработать и порекомендовать оптимальный двигательный режим, порекомендовать обоснованный режим питания, рассказать о специфике воздействия физических упражнений на организм человека. Значительная часть студентов (88% девушек и 55 % юношей) положительно оценивают организацию проведения учебных занятий по физической культуре в БНТУ. В тоже время, среди опрошенных 6% девушек и 14% юношей к занятиям физической культурой в вузе относятся безразлично.

Также в анкете студенты указали на наиболее удобное для них время для занятий физическими упражнениями. Многие выразили желание заниматься физическими упражнениями сразу после учебных занятий по другим предметам, некоторые днем, и меньше всего студенты хотели бы заниматься физическими упражнениями утром и вечером. Наиболее предпочитаемое количество занятий в неделю два. Так ответили 59% девушек и 35% юношей, что соответствует предоставляемым возможностям университета.

В будущем студенты хотели бы посещать плавательный бассейн, юноши уменьшить количество занимающихся в зале, некоторые предпочли бы снизить нагрузку в упражнениях, уменьшить долю общеразвивающих упражнений и увеличить игровое время, что объясняется их интересом к занятиям спортивными играми.

УДК 681.3.06: 519.7

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Козелков О.А.
ОАО «Научно-производственное предприятие «КАНТ»
Москва, Российская Федерация

Целью работы является оценка реализуемости многономенклатурной производственной программы в приборостроении путем анализа возможности производства планируемых объемов продукции с учетом ожидаемых поставок ресурсов и имеющегося на предприятии оборудования. Оценка производится на основе математических моделей оптимальных параметров производственного процесса.

Задача оценивания производственного потенциала многономенклатурного производства на этапе прединвестиционного планирования состоит из следующих взаимосвязанных подзадач:

- оценка объемов производства продукции с учетом наличия сырьевых, энергетических, складских и других ресурсов, предполагаемой прибыли от реализации продукции и затрат на производство и хранение [1];
- оценка требуемого состава оборудования предприятия с учетом перспективного плана производства, состава и технических характеристик оборудования [2].

При определении реализуемого плана производства учитывается ряд факторов:

- обеспеченность сырьевыми, производственными, людскими и др. ресурсами;
- уровень материально-технического обеспечения;
- уровень складского обеспечения.

Получаемый в результате решения соответствующей оптимизационной задачи план производства содержит перечень выпускаемых номенклатур и объемы их производства. Эти данные используются для решения задачи планирования занятости оборудования [3].

Рассмотрим математическую модель задачи планирования номенклатуры и объемов производства, согласованных с возможностями сбыта продукции, определяемых спросом [4].

Используем следующие обозначения: d_{ij} – норма расхода материала j-го вида на изготовление единицы продукции i-го вида; $i = 1,2,...,m$; $j = 1,2,...,n$; N_{it} – объем спроса на продукцию i-го вида в t-й период, $t = 1,2,...,T$; $\underline{y_j}, \overline{y_j}$ - допустимые минимальный и максимальный запасы материалов j-го вида; c_j – стоимость единицы материала j-го вида; x_{it} – планируемый объем производства продукции i-го вида в t-й период.

Формальная модель задачи имеет вид: найти набор $X = (x_{it})$, минимизирующий

$$L(X) = \sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} d_{ij} c_j x_{it}$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$x_{it} \geq N_{it}\,,\ i = 1,2,...,m\,,\ t = 1,2,...,T\,,$$

$$\underline{y_j} \leq \sum_{i=1}^{m} d_{ij} x_{it} \leq \overline{y_j}\,,\ j = 1,2,...,n\,,\ t = 1,2,...,T\,.$$

Детерминированность спроса в определенной мере преодолевается в модели, в которой предполагается, что можно определить множество возможных состояний спроса. При этом вводятся матрица (k_{ij}), где k_{ij} – количество единиц изделий i-го вида, которые могут быть реализованы при j-м варианте спроса, и матрица (c_{ij}), где c_{ij} – соответствующая цена реализации этих изделий, $i = 1,2,...,m$, $j = 1,2,...,n$. Далее, если z_i – издержки производства изделия i-го вида, которые не зависят от спроса, то прибыль a_{ij} в результате реализации единицы изделия i-го вида при j-м варианте спроса, определяется формулой

$$a_{ij} = c_{ij} - z_i\,,\ i = 1,2,...,m,\ j = 1,2,...,n.$$

При этом прибыль от реализации k_{ij} изделий i-го вида при j-м варианте спроса будет равна

$$p_{ij} = a_{ij} k_{ij} = (c_{ij} - z_i) k_{ij}\,.$$

Таким образом, формируется матрица $P = (p_{ij})$, которая рассматривается как платежная матрица антагонистической игры. Строкам матрицы соответствуют чистые стратегии производства, а столбцам – чистые стратегии рыночного спроса.

Оптимальное распределение объемов выпуска продукции соответствует оптимальной смешанной стратегии предприятия, «играющего» с рынком. Искомая стратегия определяется путем сведения матричной игры к задаче линейного программирования [5].

Рассмотрим задачу закрепления оборудования, которая формулируется следующим образом: найти закрепление типов изготовляемых изделий за каждым рабочим местом или их группой, обеспечивающее минимальные затраты ресурсов на выполнение плана выпуска изделий. Появляется возможность маневрирования ресурсами мощностей путем передачи обработки с перегруженных на недогруженные группы оборудования.

Введем следующие обозначения: d_{ij} – средний расход ресурса при изготовлении изделия j-го типа оборудованием i-го типа, $i = 1,2,...,m$; $j = 1,2,...,n$; x_j – планируемое для изготовления коли-

чество изделий j-го типа; a_i –ресурс оборудования i-го типа.

Необходимо найти набор $x=\{x_j\}$, $j = 1,2,...,n$, максимизирующий суммарное количество изготовленных изделий

$$R(x) = \sum_{j=1}^{n} x_j$$

и удовлетворяющий ограничениям

$$\sum_{j=1}^{n} d_{ij} x_j \le a_i ,\ i = 1,2,...,m ,\ x_j \ge 0 ,$$

$$j = 1,2,...,n .$$

В этой модели предполагается, что в изготовлении изделий каждого вида участвует оборудование всех типов, расходуя при этом свой ресурс. При этом не учитывается, что в соответствии с технологическим процессом изготовления изделий на практике необходимо реализовать некоторую последовательность операций, каждая из которых не обязательно выполнима на любом из типов оборудования. Кроме того, в модели не учитывается, что при изготовлении многих видов продукции используется многофункциональное оборудование, на котором может быть выполнено (после переналадки) несколько необходимых операций. Отметим, что в этой модели не указывается тип ресурса (материальный, стоимостной, временной).

Введем переменные: a_{ijk} – затраты времени на производство единицы продукции j-го вида на станках i-й группы по k-му варианту технологического процесса; m – число групп оборудования; n – число наименований продукции; S – число вариантов технологического процесса; x_{jk} – количество единиц продукции j-го вида, планируемое для выпуска k-м вариантом технологического процесса; Φ_i – располагаемый фонд временного ресурса i-й группы оборудования; N_j – планируемое для изготовления число единиц продукции j-го вида, в соответствии с прогнозом спроса.

Тогда суммарные затраты времени на изготовление планируемой продукции по всем группам оборудования определяются выражением

$$L(X) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} a_{ijk} x_{jk} .$$

Задача состоит в отыскании плана загрузки оборудовании $X = (x_{jk})$, минимизирующего $L(X)$ и удовлетворяющего ограничениям

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{K} a_{ijk} x_{jk} \le \Phi_i ,\ \sum_{k=1}^{K} x_{jk} \ge N_j ,$$

$$x_{jk} \ge 0 ,\ i = 1,2,...,m ,\ j = 1,2,...,n ,\ k = 1,2,...,K .$$

Полученная задача определяет минимизацию времени производства с учетом вариантов технологических процессов, решается общими методами линейного программирования [5].

Таким образом, рассмотрены математические модели планирования многономенклатурного производства в двух постановках: минимизации расхода материалов и игровая задача компромисса рынка и производства. Научный результат заключается в том, что для реализуемости определенной цели инновационного развития предприятия «экономии» или «рыночной») может быть выбрана соответствующая модель.

Также рассмотрены модели, определяющие способ производства планируемого объема и номенклатуры продукции. Известная модель закрепления изделий за рабочими местами решает задачу максимизации количества изготавливаемых изделий, которые определяет реализуемость планируемого объема при заданном составе оборудования. Вторая модель учитывает варианты технологических процессов производства и минимизирует время производственного цикла. Таким образом, решается задача реализуемости планируемых сроков производства

Результаты работы могут быть использованы при принятии решений о возможности выполнения планов по выпуску инновационной продукции приборостроения с учетом характеристик производства, в том числе, имеющегося оборудования и вариантов технологических процессов. Практическая ценность работы заключается в определении условий применимости приведенных моделей с соответствующей целевой функцией, определяющей направления модернизации производства и обеспечивающей максимальный эффект. Эффект может заключаться как в достижении максимальной прибыли, так и в минимизации расхода ресурсов (как материальных, так и временных).

1. Разработка и принятие решений в управлении инновациями / И.Л. Туккель, С.Н. Яшин, С.А. Макаров, Е.В. Кошелев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 352 с.
2. Бодров В.И., Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Математические методы принятия решений. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. тех. ун-та, 2004. – 124 с.
3. Косачев А.В., Лялин В.Е., Семёнов В.В. Модель оптимального управления долгосрочным развитием интеллектуального предприятия // Аудит и финансовый анализ, 2006, № 4. – С. 314 – 349.
4. Мясникова О.В. Инструменты организационно-экономического механизма совершенствования производственной бизнес-системы путем оптимизации производственных процессов: реинжиниринг // Экономика и управление, 2011, № 1. – С. 51 – 57.
5. Карманов В.Г. Математическое программирование. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 264 с.

УДК 51(07.07)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АБИТУРИЕНТОВ И СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ПСФ БНТУ

Кондратьева Н.А., Мелешко А.Н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Уровень математических знаний абитуриентов, поступающих на специальности заочной формы обучения, и уже обучающихся студентов заочного отделения ПСФ БНТУ, по целому ряду причин в основном достаточно низкий. В то же время университет должен выпустить в достаточной степени подготовленных специалистов – инженеров, экономистов, менеджеров, способных использовать математические методы в решении производственных задач.

Наряду с разумно поставленной системой подготовки в учебном заведении студенты заочного отделения нуждаются в обширном и постоянно обновляющемся методическом обеспечении изучаемых дисциплин, и особенно, математики.

Учебно-методическое обеспечение должно быть ориентировано на разработку и внедрение в учебный процесс инновационных образовательных систем и технологий, адекватных компетентному подходу в подготовке выпускника вуза, а именно, вариативных моделей управляемой самостоя-тельной работы студентов, учебно-методических комплексов, модульных и рейтинговых технологий, тестовых и других систем оценивания знаний.

Основу учебно-методического обеспечения по дисциплине «Математика» для студентов заочной формы обучения и абитуриентов составляют электронные учебно-методические комплексы (УМК), которые имеют иерархи-ческий, модульный характер. Верхнюю ступень в структуре УМК занимает учебный план подготовки учащегося по определенной специ-альности. Рабочие программы дисциплин, определенных учебным планом, составляют второй уровень. Каждая дисциплина может включать несколько электронных курсов. Каждый электронный курс, в свою очередь, состоит из ряда обучающих и информационных модулей.

Программа содержит методические рекомендации преподавателям и методические указания для студентов по всем видам учебной работы и формам занятий по дисциплине, в том числе курсовым работам. В разделе "Учебно-методическое обеспечение дисциплины" имеется список основной и дополнительной литературы, используемой при изучении дисциплины. "Электронный конспект" является обучающим модулем электронного курса, предназначенным для организации самостоятельной работы студентов при изучении ими теоретических положений изучаемой дисциплины. С помощью электронного конспекта возможна реализация учебно-методических модулей различного типа. Тесты являются эффективным средством определения уровня знаний студентов, они подразделяются по назначению как обучающие и аттестующие.

На кафедре «Инженерная математика» имеется следующий набор программно-технических модулей, позволяющий реализовывать все виды учебной работы для математической подготовки студентов дневной и заочной форм обучения:

- электронные конспекты по читаемым дисциплинам;
- лабораторные работы по дисциплинам «Математика», «Информатика»;
- электронный практикум по «Прикладной математике»;
- проверочные тесты и задания по всем разделам курса «Математика»;
- справочные ресурсы по математике для абитуриентов и первокурсников.

В настоящее время наблюдается крайне низкий средний уровень знания математики учениками старших классов, абсолютно неприемлемый для поступления в высшее учебное заведение. Среди отстающих учащихся встречаются старшеклассники, совершенно не знающие даже простейших законов арифметики, так и те, кого учили по «шаблонному» принципу, предполагающему заучивание огромного числа совершенно ненужных вспомогательных правил и алгоритмов решения конкретных типов задач.

Результат «шаблонного» подхода к изучению математики привел к тому, что учащиеся не понимают обобщенную функцию предмета, т.е. формирование в сознании человека модели рационального мышления, повышение эффективности творческой составляющей мышления.

В сложившейся ситуации актуальна задача выпуска методического пособия способствующего:

-вытеснению из сознания школьника неверного представления о предмете в целом;

-пониманию материала абитуриентами с низким уровнем знаний;

-пониманию нюансов математических понятий.

Написание методического пособия «Базовые понятия элементарной и высшей математики» авторами Роговцовым Н.Н. и Мелешко А.А.

является попыткой в определенной степени решить вышеуказанные задачи.

Разработанное справочное пособие содержит разделы элементарной и высшей математики. Цель этого издания – дать возможность студентам и абитуриентам структурировано, в краткой форме изучить основные разделы математики, а также достаточно быстро находить формулировки необходимых понятий, утверждений, графиков, формул.

Подготовленное учебное пособие содержит большое количество примеров применения математической логики, что побуждает учащегося рассуждать последовательно и непротиворечиво, не забывая оценивать результат на каждом этапе рассуждений.

Преподавателями кафедры «Инженерная математика» создан и зарегистрирован электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Математика», который предназначен для студентов второго курса экономических специальностей заочного отделения приборостроительного факультета БНТУ. Получено регистрационное свидетельство №1271403879 от 31 марта 2014 года о включении в Государственный регистр информационного ресурса. Владелец информационного ресурса Белорусский национальный технический университет.

Электронный учебно-методический комплекс подготовлен авторами Кондратьевой Н.А., Бокуть Л.В., Мелешко А.Н., Крупенковой Т.Г. с целью обучения студентов начальным сведениям из курса высшей математики и включает материалы из разделов теории дифференциальных уравнений и систем, теории вероятностей и математической статистики.

Основной формой обучения на заочном отделении является самостоятельная работа над учебным материалом, которая заключается в изучении материала по учебникам и учебным пособиям, подготовка ответов на вопросы для самопроверки, выполнение контрольных работ. Целью комплекса является предоставление возможности изучения дисциплины «Математика» студентами второго курса, как в теоретической части, так и путем решения задач, а также проверки полученных знаний при помощи контрольных работ и теста.

ЭУМК имеет следующую структуру:

1) Общие рекомендации по изучению дисциплины «Математика».
2) Вопросы к экзамену.
3) Список рекомендуемой литературы.
4) Теоретические сведения по следующим разделам: дифференциальные уравнения и системы, теория вероятностей и математическая статистика.
5) Задания для контрольных работ.
6) Пример решения контрольной работы.
7) Тест для самоконтроля знаний при подготовке к экзамену.

В электронном учебно-методическом комплексе приведен широкий спектр задач на приложения математических методов в технике, физике, механике, что способствует установлению междисциплинарных связей, помогает студентам уяснить роль математических знаний при изучении общетехнических и специальных дисциплин, вырабатывает навыки применения этих знаний к решению задач прикладного характера.

Разработанный тематический тест в электронном учебно-методическом комплексе позволяет выявить и объективно оценить способность и готовность студентов заочного отделения на практике применять полученные знания и умения.

В связи с этим, при планировании учебной нагрузки кафедры «Инженерная математика» предусмотрено необходимое количество часов практических занятий, для защиты контрольных работ студентами-заочниками. А также для проведения рубежных тестов и осуществления накопительной модульно-рейтинговой системы оценки знаний студентов. Это помогает студентам уяснить роль математических знаний при изучении общетехнических и специальных дисциплин на Приборостроительном факультете БНТУ, вырабатывает навыки применения этих знаний к решению задач прикладного характера.

Упорядочение самостоятельной работы студентов позволит успешно организовать и разнообразить процесс активного усвоения материала. Ибо знания являются подлинным достоянием человека только тогда, когда они достигаются его собственной деятельностью.

1. Кондратьева, Н.А. Фундаментальное образование инженера – о проблемах качества / Кондратьева Н.А., Мелешко А.Н. // Тезисы докладов на 11 Международной НТК ППС БНТУ. Материалы в 4-х томах, том 3. – С.283.
2. Кондратьева, Н.А. Фундаментальные дисциплины в квалификации специалистов для приборостроения / Кондратьева Н.А., Мелешко А.Н. // Статья на 6-ой Международной НТК «Приборостроение–2013». – С.427–428.

УДК 658

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Лобачева Н.С.[1], Вороно К.И.[2]
[1]*Институт современных знаний им. Широкого, Минск, Республика Беларусь*
[2] *«Термопласт», Минск, Республика Беларусь*

Либерализация экономики ее трансформация – влечет изменения в управлении организациями.

Управление в условиях рынка означает, прежде всего, ориентацию организации на спрос и потребности рынка, постоянное стремление к повышению эффективности производства, поиск новых возможностей для получения наилучших результатов с наименьшими затратами.

Организации сталкиваются с могущественными силами, ведущими к изменениям. Усилилась конкуренция внутри стран и между ними. Организации изыскивают методы, программы, концепции и лидеров, способных справиться с головокружительным темпом перемен.

Управленческая деятельность - один из важнейших факторов функционирования и развития организации в условиях рыночной экономики. Эта деятельность постоянно совершенствуется в соответствии с объективными изменения в организационных формах и характере деятельности организации.

Функции управления формируются на основе соединения управляемых объектов со стадиями процессов управления, например: анализ состояния производства, планирование обеспечения ресурсами, организация и стимулирование коммерческой деятельности, информационное обеспечение научно-технического развития, контроль и регулирование экономического развития, оценка результатов социального развития.

При определении содержания каждой функции в ней выделяются работы и операции, описание которых служит основой организации как ее выполнения (в целом), так и основой организации труда персонала, выполняющего данную функцию. В условиях рыночной экономики можно совокупность групп функций управления характеризует содержание и объем управленческой деятельности на предприятии. Таким образом, объектом управления являются все стороны деятельности предприятия - организационная, техническая, экономическая, социальная.

В настоящее время актуальным является рассмотрение вопросов совершенствования управления организации и методологических подходов к его оценке.

Для совершенствования управления необходимость изучения в нашей стране в современных условиях теории и практики менеджмента очевидна. С переходом к рыночной экономике организации начинают действовать в качественно других условиях. Что производить, какие услуги оказывать, как и для кого - эти вопросы они решают самостоятельно.

Для эффективного функционирования организации необходимы прочные внутренние связи. Объединение различных частей предприятия в единое целое обеспечивается его организацией и управлением.

Обеспечение эффективности управленческого процесса в значительной степени определяется рациональным распределением полномочий в принятии решений между различными уровнями управления, т.е. соотношением централизации и децентрализации в управлении.

УДК 539.2: 621.373

НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Людчик О.Р., Зайков В.А., Вишневская Е.В., Михей В.Н.
Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Введение

Лазерные технологии материалов являются динамично развивающейся областью научных исследований в таких направлениях как электроника и фотоника, наноэлектроника и нанотехнология, медицина, диагностика материалов, эти технологии находят все большее применение в промышленности, в машиностроении, микроэлектронике, изготовлении сувенирной продукции и др. Лазерный отжиг, получение сплавов и покрытий с уникальными свойствами, сварка и резка, лазерная маркировка, формирование объемных изображений внутри прозрачных материалов – вот далеко не полный перечень задач, успешно решаемых сегодня при использовании автоматизированного лазерно-технологического оборудования [1–4]. Вместе с тем, в настоящее время практически не выпускается серийное лазерно-технологическое оборудование для использования в исследовательских и

учебных целях, что затрудняет подготовку высоко-квалифицированных научных и инженерных кадров для отечественной науки и промышленности, потребность в которых заметно возрастает.

Целью настоящей работы являются разработка научно-учебного лазерного комплекса на основе импульсного лазера с диодной накачкой, исследование его возможностей, а также разработка заданий для специального лабораторного практикума.

Описание научно-учебного лазерного комплекса на основе импульсного лазера с диодной накачкой

Комплект лабораторного оборудования включает в себя лазер с диодной накачкой, систему фокусировки и сканирования лазерного излучения, систему перемещения образцов, компьютер управления с установленным специальным программным обеспечением, а также современные системы регистрации характеристик генерации.

Научно-учебный лазерный комплекс имеет следующие основные характеристики:

– длина волны генерируемого лазерного излучения: 1,064 мкм, 0,532 мкм, 0,355 мкм, 0,266 мкм,

– частота повторения импульсов: до 200 Гц.

– длительность импульса: до 20 нс в режиме электрооптической модуляции добротности,

– энергия импульса излучения: до 25 мДж на длине волны 1064 нм,

– минимальный диаметр области фокусировки: 50 мкм,

– размер области обработки: 150x150x100 мм,

Научно-учебный лазерный комплекс можно разделить на следующие блоки: лазер и оптическая часть; механическая часть; программный модуль.

Основные характеристики лазера и оптической части комплекса: расходимость лазерного пучка менее 1 мрад; генерация в режимах моноимпульса и свободной генерации; фокусирующая линза не более 90 мм; автоматизированная система перемещения лазерного луча в плоскости XY.

Механическая часть содержит следующие узлы: автоматизированная и ручная система перемещения образцов в плоскости XY; автоматизированная установка фокусирующей линзы по координате Z; оснастка для крепления образца; закрытая стойка, исключающая выход лазерного излучения наружу.

С помощью программного модуля осуществляются следующие операции: установка режимов работы лазера и механики, таких как энергия генерации лазера, переключение режимов FR, Q-SW, установка скорости, ускорения перемещения координатного стола и т.д.; возможность ручного введение текста для гравировки и загрузка изображения; масштабирование и отображение на экране текущего цикла обработки образца.

Структурная схема лазерного комплекса приведена на рис. 1.

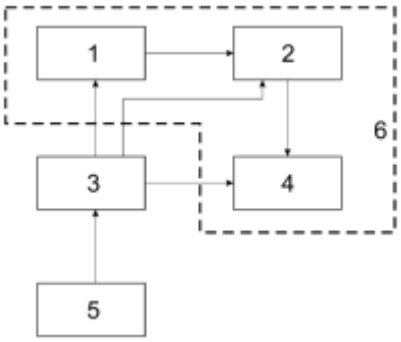


Рисунок 1 – Структурная схема научно-учебного лазерного комплекса

В состав научно-учебного лазерного комплекса входят следующие компоненты: 1 - импульсный лазер с диодной накачкой, 2 - система фокусировки и сканирования лазерного излучения, 3 - система управления комплексом, 4 - двухкоординатная система перемещения образца, 5 - компьютер, 6 - экран для защиты от лазерного излучения.

Пакет лабораторных заданий для освоения современных лазерных технологий

Пакет лабораторных заданий имеет комплексный характер и предусматривает освоение на практике современных лазерных технологий обработки материалов. В лабораторных заданиях изучается устройство и принцип работы импульсного лазера с диодной накачкой, исследуются процессы нагрева и испарения металлических материалов, а также явления лазерного пробоя оптически прозрачных материалов.

Практическое применение лазерных технологий рассматривается в работах по лазерной маркировке металлических, диэлектрических и полимерных материалов, а также в работах по формированию объемных изображений внутри стеклоэлементов. Отдельное задание предполагает использование научно-учебного лазерного комплекса для диагностики полупроводниковых материалов, например, регистрации спектров фотолюминесценции.

Первое задание предполагает изучение основных узлов и элементов комплекса, принципы генерации лазерного излучения, исследование расходимости лазерного излучения, принципы и предельные параметры фокусировки лазерного излучения, системы сканирования лазерных пучков, основы автоматизированной лазерной обработки материалов.

В основу последующих заданий положен подход, предусматривающий теоретическое и

экспериментальное изучение процессов взаимодействия лазерного излучения с поверхностью непрозрачных твердых тел (металлов, полимеров, полупроводников, диэлектриков) и объемными областями прозрачных материалов, включая явления нагрева, плавления, испарения, образования плазмы, оптического пробоя. Задания предусматривают изучение влияния параметров лазерных импульсов и системы фокусировки на области разрушения на поверхности непрозрачных образцов и в объеме прозрачных материалов, а также позволяют определить оптимальных условия работы комплекса, что дает возможность выполнить поставленную преподавателем задачу по лазерной обработке конкретного материала.

Задания по формированию объемных изображений внутри стеклоэлементов предполагают разработку заданного изображения с использованием одного из графических пакетов и последующее создание его внутри стеклоэлемента. В задание входит экономический расчет, позволяющий оценить уровень издержек и рассчитать цену конечного изделия.

Задание по регистрации спектров фотолюминесценции полупроводниковых материалов с помощью научно-учебного лазерного комплекса предполагает исследование наноразмерных объектов, например, квантовых точек Ge в матрице SiO_2, спектр которых в силу малого поглощения слоя квантовых точек может возбуждаться только с помощью мощных лазерных импульсов Возбуждение люминесценции проводилось с использованием второй и четвертой гармоник неодимового лазера в импульсно-периодическом режиме (длительность 40 нс, частота импульсов 50 Гц, плотность мощности на образцах составляла $2{,}0\cdot10^3$ Вт/см^2 и $6{,}0\cdot10^3$ Вт/см^2 для излучения с длиной волны 266 нм и 532 нм соответственно). Кроме того, исследуется воздействие мощного излучения с длиной волны 532 нм на образцы нанопористого кремния.

Заключение

В настоящее время научно-учебный лазерный комплекс на основе импульсного лазера с диодной накачкой используется в лабораторных практикумах на факультете радиофизики и компьютерных технологий Белгосуниверситета в системе подготовки высококвалифицированных научных и инженерных кадров для отечественной науки и промышленности.

2. Дьюли, У. Лазерная технология и анализ материалов – М.:Мир,1986.–504 с.
3. Kincade, K. Laser industry navigates its way back to profitability / K. Kincade, S.G. Anderson // Laser Focus World.–2007.–Vol.43.–Issue 3.
4. Hu, A. Optical and microstructural properties of diamond-like carbon films grown by pulsed laser deposition / I. Alkhesho, H. Zhou and W.W. Duley // Diamond and Related Materials. – 2007. – V.16. – P.149 – 154.
5. Voevodin,A.A. Combined magnetron sputtering and pulsed laser deposition of carbides and diamond-like carbon films / A.A.Voevodin, M.A.Capano, A.J.Safriet, M.S.Donley, J.S.Zabinski // Applied Physics Letters.– 1996.– Vol.69, № 2.– P. 188–190.

УДК 347.778

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ПРАВОВОЙ ЗАЩИЩЁННОСТИ ИННОВАЦИЙ В РАМКАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ляхевич А.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современная ситуация на мировом рынке характеризуется активизацией деятельности участников рынка в области обеспечения защищенности инноваций как правовыми, так и организационными механизмами. Широкое распространение получили так называемые «патентные войны», ставящие целью с одной стороны защитить собственные разработки и, в то же время, и эта цель не менее важна, нанести ущерб рыночной позиции конкурента. Уже привычными стали патентные войны Apple и Samsung, Apple и HTC, Google и Microsoft, Google и Oracle.

Классическим примером того, как патентное законодательство может стать серьёзным инструментом в конкурентной борьбе, стало судебное разбирательство между компаниями Kodak и Polaroid. Когда в конце 60-х годов прошлого века оборудование фирмы Polaroid захватило существенную долю американского рынка, компания Kodak вспомнила о ранее начатых ею разработках в этой области и решила вытеснить молодую компанию Polaroid с рынка, запустив в апреле 1976 года производство собственных камер и пленки для моментальной фотографии. Однако уже через неделю компания Polaroid подала иск на Kodak, обвинив фирму в нарушении прав на 12 патентов. Девятилетнее судебное разбирательство обернулось для Kodak остановкой производства камер и пленки для моментальной фотографии. компания была вынуждена закрыть завод, который обошелся ей в 1,5 млрд. долларов, уволить 700 рабочих и затратить еще 500 млн. долларов на выкуп 16 млн. камер для моментальной фотографии, проданных в период с

1976 по 1990 годы. Кроме того, Kodak пришлось выплатить конкурентам 925 млн. долларов в виде компенсации за нанесенный ущерб.

По оценкам сотрудников Бостонского университета ущерб корпораций от патентных войн только к 2011 году составили около 500 миллиардов долларов. А по оценкам самой Google патентные войны становятся серьёзным сдерживающим фактором для инноваций в области мобильных устройств. Появился даже термин «патентный тролль» - так характеризуют организацию, которая использует патентное законодательство не для защиты собственных разработок, а исключительно с целью извлечения материальной выгоды и нанесения ущерба конкурентам. Де факто патентное законодательство становится мощным рычагом в недобросовестной конкурентной борьбе. В мировой практике зафиксировано множество случаев, когда патентное законодательство использовалось очевидно недобросовестными конкурентами:

- в октябре 1999 года в России был опубликован патент на изобретение «Сосуда стеклянного», описание которого полностью соответствует обыкновенной стеклянной бутылке. Патентообладатель ООО «Технополис» попыталось потребовать от компаний, производящих пиво и безалкогольные напитки, лицензионные отчисления в размере не менее 0,5% от выручки [1]. В настоящее время патент аннулирован;

- 22 января 2008 года американская компания Minerva Industries запатентовала устройство, по описанию напоминающее смартфон, и тут же подала иски против крупных производителей мобильных телефонов: Apple, Nokia, RIM, Sprint, AT&T, HP, Motorola, Helio, HTC, Sony Ericsson, UTStarcomm, Samsung и некоторых других [2];

- в январе 2009 года компания Information Protection and Authentication of Texas подала иски против 22 крупнейших антивирусных компаний и производителей компьютеров, за использование методики ограничения запуска компьютерных программ или выполняемых ими операций, ссылаясь на патенты, полученные в середине 1990-х. В 2012 году суд закрыл дело в отношении Лаборатории Касперского, с вынесением оправдательного вердикта. Остальные ответчики предпочли заключить мировое соглашение и подписались на патентный портфель [3].

Необходимость реализации комплекса мероприятий по обеспечению правовой защищённости экономической безопасности собственного бизнеса давно признана предприятиями нашего основного экономического партнёра – Российской Федерации. Хотя действия эти порой и принимают «спорную» форму. Так, например, юридический департамент ОАО «Газпром» подал в Роспатент заявку на регистрацию синего цвета в качестве товарного знака [4]. В 2011 году датская фирма «Grundfos» запатентовала в России красный цвет своих циркуляционных насосов. «Grundfos» удалось доказать, что 96% специалистов по насосному оборудованию связывали красный цвет именно с насосами их производства. В феврале 2012 года была подана заявка Сбербанка, желающего закрепить за собой фирменный оттенок зеленого цвета, чтобы оградить себя от компаний, копирующих фирменный стиль Сбербанка. Аналогичные прецеденты существуют и в мировой практике. Так, компания «Cadbury» четыре года добивалась прав на эксклюзивное использование фиолетового цвета. В конце концов ей удалось доказать, что именно этот цвет ассоциируется у потребителей с шоколадками «Cadbury».

Белорусские предприятия, выходящие на зарубежные рынки, рано или поздно столкнутся с «патентными троллями», и чем успешнее будет деятельность белорусских организаций на мировом рынке, тем быстрее это произойдёт. Инновационная деятельность характеризуется высокими «стартовыми» затратами при реализации проектов. Последствия деятельности патентных троллей могут оказаться просто катастрофическими для экономической безопасности белорусских предприятий, зачастую не обладающими ни финансовыми ресурсами, ни необходимым опытом для противодействия недобросовестным конкурентам. В этой связи приобретает особую актуальность проблема оценки правовой защищенности белорусских технологий и разработка стратегий противодействия не добросовестным действиям конкурентов в данной области.

Для повышения эффективности проведения оценки правовой защищённости необходимо проведение патентных исследований в первую очередь по приоритетным направлениям (проектам, продукции). Качественное проведение патентных исследований – это долгий и дорогостоящий процесс. Очевидно, что нельзя провести патентные исследования с одинаковой степенью детальности для всех видов продукции. Без выделения приоритетных направлений время и средства будут распыляться, и в результате ни по одному из продуктов патентные исследования не будут проведены должным образом. Предлагается разделение продуктов на группы, на основании следующих показателей:

а) степень готовности к выходу на рынок. Под высокой степенью готовности будут пониматься продукты либо уже присутствующие на рынке, но, например, выходящие на новый рынок, либо же находящиеся на стадии промышленного освоения. Под средней степенью готовности будут пониматься продукты, находящиеся на завершающих стадиях НИОКР. Остальные продукты будут отнесены к низкой степени готовности;

б) планируемая прибыль от реализации продуктов. Будут выделяться продукты, приносящие высокий доход, средний и низкий уровень дохода, а также приносящие низкий уровень дохода, но позволяющие в последующем на своей базе реализовать высокодоходные проекты;

в) график поступления прибыли: поступление основного объёма прибыли от проекта равномерно; преимущественно в начальные периоды проекта (в краткосрочной перспективе); в среднесрочном периоде; в долгосрочном периоде;

г) прогнозируемая степень интенсивности конкурентной борьбы (по числу и характеристикам конкурентов, имеющихся у них ресурсах и манере их поведения на рынке, доле рынка которую предполагается захватить).

По каждому из показателей, в зависимости от стратегических планов развития предприятия, экспертными методами может быть назначен удельный вес, отражающий степень важности показателя, а также бальная оценка за отнесение проекта к тому или иному интервалу значений показателя. Полученная продуктами сумма баллов позволит проранжировать их. По высокорангговым продуктам следует проводить наиболее детальные патентные исследования, выделяя средства в первоочередном порядке.

В рамках предложенного подхода нельзя допустить концентрацию проводимых исследований только на продуктах с высокой степенью готовности. Это возможно только в краткосрочном периоде, для преодоления кризисных явлений на предприятии, когда предприятие ориентируется на быструю отдачу по уже готовым продуктам и временно замораживает (снижает интенсивность) разработки новых продуктов. Однако, по мере стабилизации ситуации и преодолении кризисных явлений, разработка новых продуктов будет продолжена. В этих условиях существенное уменьшение объёма патентных исследований на ранних стадиях жизненного цикла продукции способно привести к не эффективному расходованию средств на разработку продукта, в отношении которого невозможно должным образом обеспечить патентную защиту. Таким образом, необходимость проведения патентных исследований на всех стадиях жизненного цикла продукции является обязательным требованием при назначении экспертами удельных весов степени важности показателей и бальных оценок принимаемых этими показателями значений.

1. Похитители патентов // Коммерсантъ, Илья Зиновьев, 15.02.2010 [Электрон. ресурс].- 2010. - Режим доступа: http://www.kommersant.ru /doc/ 1315551
2. Крупнейших производителей смартфонов позвали в суд // Портал Lenta.ru, 28.01.2008 [Электрон. ресурс].-2008.- Режим доступа: http://www.lenta.ru/news/2008/01/28/smart/
3. Производители крупнейших антивирусов обвиняются в нарушении патента // Портал Security Lab, 15.01.2009 [Электрон. ресурс].-2009.-Режим доступа: http://www.securitylab.ru/ news/366453.php
4. «Газпром» патентует фирменный синий цвет// Известия, 01.11.2012 [Электрон. ресурс]. - 2012. - Режим доступа: http://izvestia.ru/news/ 538887

УДК 330.322

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТРАНСГРАНИЧНОГО ВЕНЧУРНОГО ИНВЕСТИРОВАНИЯ

Макарская М.М.[1], Венгурова Е.В.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
[2]Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка Минск, Республика Беларусь

Становление и развитие рыночных отношений привели к неизбежному выделению в самостоятельный сектор экономики рыночной инфраструктуры, посредством которой формируются отрасли, призванные осуществлять определенные услуги по отношению к материальным и нематериальным сферам деятельности. Сущность данного явления состоит в поддержке субъектов рынка и обеспечении их взаимодействия с эндогенной и экзогенной экономической средой. Процесс институционализации инвестиционных процессов включает три основные стадии, имеющие свои характерные особенности:

1) локализация – становление инвестиционного инструмента на национальной правовой и регламентарной основе позволяет обеспечить доступ частных инвесторов к решению внутригосударственных экономических и социальных задач через опосредованное направление капиталовложений в стратегически важные отрасли;

2) интернационализация – расширение границ инвестиционной деятельности за счет создания единых региональных рынков на основе международно-правовых актов обеспечивает трансграничное движение капитала в отрасли, представляющие наибольший интерес для государств-импортеров и наиболее выгодные условия инвестирования для участников;

3) глобализация – создание единого высокодинамичного и конкурентоспособного рынка

капитала в условиях гармонизации правовых норм обеспечивает свободное международное движение капитала, технологий, корпораций, услуг [1].

Инвестиционные ресурсы концентрируются в регионах, где можно достичь наибольшей эффективности. Приток иностранных инвестиций становится одним из ключевых критериев статуса страны, успешности ее включения в мировое хозяйство.Выход на иностранные рынки капитала ставит перед инвестором задачу выбора наиболее приемлемой формы коллективного инвестирования, соответствующей его инвестиционным целям и возможностям. Глобализация предусматривает не только фандрайзинг инвестиционных ресурсов, но и создание транснациональных объединений (экспортирование фондов через дистрибьюторов). Такая бизнес-модель инвестиционной деятельности является низкозатратной и приемлема для всех участников рынка. Одним из процессов, которые оказывают содействие глобализации экономической деятельности, есть процесс интернационализации капитала, который неразрывно связанный с интернационализацией производственной деятельности и развитием информационных технологий. Перелив финансовых ресурсов из одной страны в другую происходит большей частью в форме инвестиций, займов и кредитов. Одним из наиболее существенных достижений в области финансового посредничества, обеспечивающего привлечение, аккумулирование и эффективное использование финансовых ресурсов являются трансграничные инвестиционные фонды.

Трансграничное сотрудничество возникает в сфере экономики, но распространяется на охрану окружающей среды, культуру, образование, демографическое регулирование, другие области в границах определенного трансграничного пространства – территории, которая охватывает два и более регионов пограничных государств и объединяет их по определённым географическим и социально-историческим признакам. Соответственно, трансграничное сотрудничество – совокупность экономических, социальных, научных, культурных, экологических и других взаимосвязей, проявляющихся в форме конкретных проектов и программ, которые реализуются на государственном, региональном и локальном уровнях с целью учета совместных интересов территориальных сообществ на приграничных административно-территориальных единицах смежных государств.

В процессе развития трансграничного сотрудничества учитываются две тенденции:

– повышение экономического потенциала путем совместных действий на основе трансграничных целей;

– укрепление собственной обособленности и тождественности, базирующейся на принципах этого сотрудничества.

Трансграничное сотрудничество – это совокупность экономических, социальных, научных, культурных, экологических и других взаимосвязей, проявляющихся в форме конкретных проектов и программ, которые реализуются на государственном, региональном и локальном уровнях с целью учета совместных интересов территориальных сообществ на приграничных административно-территориальных единицах смежных государств. Основной акцент здесь сделан на необходимость активизации и расширения приграничного торгового обмена, развития взаимных инвестиционных проектов.

Субъектами трансграничного сотрудничества являются приграничные территории, их органы местного самоуправления и местные органы исполнительной власти, которые заключают региональные соглашения с соответствующими органами соседних государств с целью создания благоприятных условий для использования потенциальных возможностей ускорения социально-экономического развития своих территорий.

Целью трансграничного сотрудничества является укрепление связей, взаимная координация и гармонизация действий и норм в различных сферах жизни между приграничными регионами, а также равномерное общественно-экономическое развитие приграничных территорий, относящихся к разным странам. В процессе развития трансграничного сотрудничества учитываются две тенденции: повышение экономического потенциала путем совместных действий на основе трансграничных целей и укрепления собственной обособленности и тождественности, базирующейся на принципах этого сотрудничества [2, с.42].

Трансграничные инвестиционные фонды представляют собой форму коллективного портфельного инвестирования межрегиональных и межотраслевых проектов, публичное или частное объединение капитала под профессиональным управлением компетентных лиц. Цель управления - обеспечение прироста капитала путем представления интересов инвесторов на различных финансовых рынках [3].

Классическим примером трансграничных инвестиционных фондов являются суверенные фонды благосостояния, как их принято называть, или по сути проправительственные образования, обеспечивающие поддержание ослабленных мировым кризисом финансовых рынков за счет перераспределения целевого капитала по территориальному, отраслевому принципу при условии эффективной международной диверсификации активов. Данная форма фондов в перспективе представляется достаточно эффективной в связи

с реализацией целей сбережения, накопления и приумножения суверенного капитала, образованного за счет сверхдоходов от экспорта, налоговых поступлений и прочего, в том числе в пользу будущих периодов.

Необходимо отметить, что в отношении венчурных трансграничных фондов имеются некоторые особенности. Это проявляется в осуществлении прямых инвестиций, когда капиталовложение сопровождается приобретением права участия в деятельности создаваемого или созданного хозяйствующего субъекта, в пределах и на основе которого реализуется инновационный проект.

На объем трансграничных инвестиций и на направление инвестиционных потоков влияют состояние мировой экономики, политическая стабильность и инвестиционные режимы в зарубежных странах, мировые цены на сырье и ряд других факторов. Для осуществления трансграничных венчурных инвестиций также требуется присутствие субъекта непосредственно в государстве, где находится портфельная компания. Это позволит менеджеру фондов венчурного капитала наиболее эффективно решать задачи привлечения в этих государствах нового капитала для инвестиций и мониторинга уже действующих проектов. В идеале, активность на местном уровне должна охватывать все функции по управлению (в основном это касается способности принимать инвестиционные решения или активно в них участвовать, а также управления портфельными компаниями). Кроме того, расширение пределов инвестиционной деятельности фондов за счет снятия административно-правовых барьеров на финансовых рынках обеспечит трансграничную мобильность капитала, технологий, корпораций, услуг.

1. Кауракова, М.В. Трансграничный инвестиционный фонд как субъект МЧП / М.В. Кауракова // Юриспруденция [Электронный ресурс] . – 2014. – Режим доступа : http://www.justicemaker.ru/view-article.php?id=12&art=3366. – Дата доступа : 30.08.2014.
2. Литвинюк, А.И. Трансграничное сотрудничество и еврорегиональная кооперация: монография / А.И. Литвинюк ; под науч. ред. д-ра экон. наук Л.Н. Давыденко. – Минск : БГПУ, 2009. – 182 с.
3. European fund classification // Finesti fund connect [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.fundconnect.com/Solutions/Assets/EuropeanFundClassification.pdf. – Date of access : 03.09.2014.

УДК 658

ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО И ОРГАНИЗАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Манулик Н.П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В условиях рыночной экономики устойчивость и успех любого хозяйствующего субъекта может обеспечить только эффективное планирование его деятельности.

Современный этап развития экономики республики характеризуется значительными проблемами в сфере материального производства.

Мировая практика свидетельствует, что большинство предприятий бизнеса терпят убытки только потому, что не предусмотрели или неправильно спрогнозировали изменение внешней среды и не в полной мере оценили свои возможности.

В настоящее время значительно расширились возможности решения одних и тех же производственных задач различными технологическими и организационными методами, что позволяет усовершенствовать устаревшие технологические процессы и значительно повысить эффективность производства. Поэтому тема планирования технического и организационного развития на предприятии является весьма актуальной, поскольку многообразие возможных вариантов технологии и организации производства существенно усложнило выбор оптимального варианта и породило сложную технику анализа и расчетов в данной области.

Планирование как целенаправленная внутрихозяйственная деятельность позволяет рассматривать одновременно множество взаимосвязанных экономических, социальных, организационных, инвестиционных, управленческих и других проблем как единую целостную систему. Поэтому планирование на предприятии служит основой организации и управления производством, является нормативной базой для выработки и принятия рациональных организационных и управленческих решений.

Ускорение НТП на современном этапе превратилось в магистральное направление социально-экономического развития во многих странах мира. Поэтому в стратегических планах предприятий предусматривается перевод их на более высокую ступень технического и организационного развития.

Чтобы обеспечить при имеющихся кадрах и

материальных элементах производства максимальную производительность и наибольший экономический эффект, новая техника и технология должны сочетаться с наиболее рациональной организацией производства.

Важнейшими вопросами, связанными с совершенствованием организации производства и на этой основе повышения его эффективности, являются:

1) расчленение производственного процесса на частичные процессы и операции и закрепление их за определенными цехами, производственными участками и рабочими местами;

2)расположение на площадях цехов и производственных участков оборудования с соответствующей расстановкой рабочих;

3)установление определенного порядка перемещения предметов труда по фазам и операциям производственного процесса и расчеты ритма частичных процессов и производственного процесса в целом;

4) строгое соблюдение установленных технологических процессов и взаимосвязей между ними, намеченного порядка и ритма движения предметов в пространстве;

5)оперативное руководство и контроль за осуществлением производственного процесса на предприятии и в его отдельных производственных подразделениях;

6) разработка мероприятий по совершенствованию организации производства и внедрению их на тех участках производства, где нормальный ход производственного процесса нарушается.

Планирование характеризует картину будущего, где ближайшие события начертаны с известной отчетливостью, соответственно ясности всего плана, а отдаленные — представлены более или менее смутно. Таким образом, план — это предвидимая и подготовленная на известный период программа (прогноз) социально-экономического развития предприятия и всех его подразделений.

Планирование деятельности является на каждом предприятии наиболее важной функцией производственного менеджмента.

УДК 681.2

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ МОЛОДЕЖИ

Манулик Н.П.[1], Корсикова Ю.В.[2]

[1]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

[2]Минский государственный высший радиотехнический колледж, Минск, Республика Беларусь

Экономическое воспитание совместно с обучением участвует в решении проблемы развития потребностей людей в материальной и духовной сферах, приобретения ими полезных навыков и привычек, умения принимать решения, воспитания чувства ответственности за последствия этих решений, понимания и бережного отношения к окружающему миру, а также определения своего места в жизни.

В современных условиях потребность в экономических знаниях, в овладении ключевыми социально-экономическими компетенциями, в социально-психологической подготовке подрастающего поколения возросла настолько, что ее игнорирование школой просто недопустимо.

Можно сформулировать несколько проблем, свидетельствующих о важности и значимости решения вопросов всеобщего экономического воспитания молодежи:

1. в период проведения экономических реформ, построения принципиально новой экономической модели общества многократно возросла объективная необходимость приспособления и выживания, в том числе детей и подростков в новых социально-экономических условиях;

2. явно обозначились такие социально-психологические феномены, обусловленные именно экономическими факторами, как рост отчуждения, замкнутости людей, которые сопровождаются всплеском агрессивности или стремлением уйти в себя и наблюдаются прежде всего у детей и подростков, как наименее закаленных и защищенных в социальном плане;

3. выбор рыночного пути развития ведет к необходимости формирования у учащейся молодежи установки на постоянный профессиональный рост, готовности к неоднократной смене профессии и вида деятельности, то есть большей социальной мобильности и подвижности по сравнению с прежними поколениями. Кроме того, в новых социально-экономических условиях значительно повышается ответственность при выборе профессии, так как от этого во многом будет зависеть уровень благополучия и благосостояния человека;

4. экономическое воспитание часто оторвано от практической деятельности, в частности, от реального труда по найму (или предпринимательской деятельности), который для многих школьников остается лишь формальностью, зачастую мало привлекательной. Учащиеся не получают экономических знаний в достаточном объеме, не овладевают навыками и умениями, необходимыми для экономической деятельности, у них не формируются экономические компетенции;

5. до сих пор суть экономического воспитания многими педагогами сводится лишь к формированию привычки экономить электроэнергию, воду, хлеб и прочее, то есть к воспитанию бережливости. Это, безусловно, важно и поэтому необходимо выполнять, но этим направлением не исчерпывается вся система экономического воспитания, которое подменяется просвещением по поводу, например, рационального отношения к своему и чужому времени, деньгам и т.д., то есть сводится к нравоучениям, словесному воздействию, что в современных условиях малоэффективно;

6. формирование экономической культуры педагогически целесообразно проводить сразу по всем составляющим (сознание, убеждения, деятельность, ценностные ориентации). Гипертрофия одного из них может привести к формированию личности созерцателя либо прагматика, довольствующегося только получаемой пользой, без учета последствий своей деятельности.

Экономическое воспитание – это ведущее средство повышения экономической культуры личности и общества, оно существенно повышает шансы на жизненный успех, позволяет у занять более активную гражданскую позицию, расширяет диапазон применения способностей.

Экономическое воспитание подрастающего поколения представляет собой ценное экономическое благо, которое следует постоянно воспроизводить, наращивать и совершенствовать в любых формах и любыми способами.

УДК 658

ЛОГИСТИКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Манулик Н.П., Леваневич А.Ю.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Курс на построение социально ориентированной рыночной экономики в Республике Беларусь требует все более активного использования таких современных систем управления, как логистика. Ее целью выступает решение тактических и стратегических задач хозяйственной деятельности на основе оптимизации потоковых процессов и достижения эффективности этой деятельности с точки зрения удовлетворения интересов конечных потребителей, снижения общих затрат цепи «поставщик — потребитель» и повышения качества продуктов и услуг.

Основными причинами, побуждающими обращаться к логистике, являются обострение проблемы сбыта продукции, рост затрат на транспортировку, достижение рядом предприятий предела эффективности производства, изменений философии товарно-материальных запасов, расширение ассортимента выпускаемых товаров, развитие информационных и коммуникационных технологий в связи с необходимостью гибкого реагирования производственных и торговых систем на быстро изменяющиеся приоритеты потребителя.

Применение логистических принципов управления в национальной экономике мотивируется и рядом других факторов. Так, низкий уровень обеспеченности собственными материально-сырьевыми и топливно-энергетическими ресурсами заставляет отечественного производителя завозить их из других стран; многие крупные предприятия республики являются экспортоориентированными. Выгодное геополитическое положение нашей страны, ускорение процессов глобализации и транснационализации, создание союзов и альянсов предприятий объективно предопределяют использование логистических подходов в ее международном бизнесе.

Актуальность логистики усиливается возможностью повысить эффективность функционирования материалопроводящих систем. Благодаря логистике существенно сокращается временной интервал между приобретением сырья и полуфабрикатов и поставкой готового продукта потребителю, резко уменьшаются материальные запасы, ускоряется процесс получения информации, повышается уровень сервиса. По оценкам специалистов, современное логистическое управление потоковыми процессами позволяет экономить до 15—20 % совокупных издержек по производству и доведению товаров до потребителей.

Деятельность в области логистики многогранна. Она включает управление закупками, продажами, транспортом, сервисом, складским хозяйством, запасами, кадрами, затратами, а также организацию информационных систем. Каждая из перечисленных функций представляет отдельную область управления, имеющую собственное содержание и выражающуюся в соответствующей отраслевой дисциплине. Принципиальная новизна логистики – это системный подход к управлению, предполагающий органичную взаимную связь и интеграцию вышеперечисленных областей в единую материалопроводящую систему, переход от подоптимизации к оптимизации всей производственно-экономической системы, ориентацию на уменьшение общих затрат по производству и доведению товаров до потребителей.

своевременного удовлетворения нужд и запросов потребителей, при этом исходя из товар-

ной, коммуникативной и распределительной политики предприятия.

За рубежом логистику в соединении с маркетингом и менеджментом называют «третьим рычагом оптимизации экономики» и «последним рубежом экономии затрат». Практика показывает, что использование логистики дает предприятиям серьезные преимущества в конкурентной борьбе, существенно повышает конкурентоспособность их продукции на внутреннем и внешних рынках.

Возрастающая роль логистики в мире бизнеса определила придание ей статуса профессии. Отечественные предприятия, расширяя свои хозяйственные связи, в том числе международные, все острее испытывают потребность в специалистах, способных профессионально заниматься логистическим управлением. Область логистики настолько объемна, что практически любые организации, как коммерческие, так и некоммерческие, могут рассматриваться в качестве потенциальных потребителей услуг менеджера-логистика.

УДК 531.7.08

ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЗАПИСЕЙ

Мелюшин П.В., Казачинская Е.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На мировом рынке в информационной сфере наблюдается активизация деятельности участников рынка в области автоматизации медицинских информационных систем. Важный элемент медицинских информационных систем — уникальность, безопасность и конфиденциальность данных пациента. Реализация медицинских информационных систем выделилась в направление EMP (эффективное медицинское планирование) и приводит к созданию не просто программы, а целой технологии идентификации, сохранения уникальности пациента и доставки данных в любую точку по запросу и разрешению пациента. Разрабатываемая технология должна обеспечить высокую безопасность электронных медицинских записей и оперативность перемещения записей пациента на любой компьютер и располагать потенциалом для чрезвычайных ситуаций. Особенности обработки электронных медицинских записей, несмотря на огромный рост компьютерной технологии в медицине, затрудняют автоматизацию. Большинство медицинских учреждений продолжает использовать бумажные технологии.

Врачи сталкиваются с многочисленным давлением со всех сторон:

- высокие ожидания пациента и государственное регулирование;
- сложные правила страхования и увеличение накладных расходов;
- снижение прибыли.

Усложнение требований к медицинскому обслуживанию означает, что врачи должны работать значительно эффективнее. Точная документация и оперативная информация является одним из наиболее важных вопросов для врачей. Растущая обеспокоенность по поводу стоимости и качества медицинской помощи служит основой для дискуссий по оценке выгод от автоматизации в организациях здравоохранения, страховых компаниях и федеральных правительств.

На качественные (цена и эффективность) и количественные (объемы обрабатываемой информации и скорость работы) характеристики EMP систем оказывают влияние нерешенность следующих проблем.

Оперативная производительность (OP) связана с реакцией EMP системы от запроса данных до их доставки потребителю пациенту, врачу, страховой компании). Обеспечивается оперативная производительность за счет сочетания нескольких взаимно связанных решений таких, как применение узкоспециализированных операционных систем, ориентированных на поддержку баз данных, параллелизм, оптимизация, баланс загрузки сервера. Одним из способов повышения производительности EMP систем является распараллеливание: параллельные операции ввода-вывода с диском, параллельные утилиты и параллельная обработка запросов. Параллельные операции ввода-вывода с диска позволяют серверу эффективно использовать многомерные таблицы и разбиение таблиц. Параллельные операции-утилиты (сортировка, построение индексов, загрузка, резервирование, восстановление) используют как параллельную обработку, так и параллельные обмены с диском.

Надежность (H) важнейшая характеристика EMP систем требует хранения более 60 лет медицинских записей и доступа к ним по запросам. Обеспечивается надежность и защищенность данных от сбоев через способность восстанавливаться как по чтению, так и по записи независимо от обстоятельств, включая выход из строя отдельных компонент. Реализуется отказоустойчивые на основе аппаратную избыточности и избыточность по данным. В первом случае используются отдельные платформы, процессоры,

сдвоенные диски , при котором один диск используется как копия другого и защищает его от сбоев. Избыточность по данным возможна в двух формах: программного зеркалирования и копирования, благодаря которым исключаются одиночные точки отказа.

Безопасность и защита данных (БЗ) связана с обеспечением врачебной тайны и требованиям неприкосновенности личной жизни. Эта проблема существует в системах бумажного хранения и обостряется в EMP системах. Медицинские бумажные данные дублируются и копируются по факсу через медицинских работников и страховых агентов. Обеспечить надлежащей безопасности в EMP системах еще сложнее, так как компьютерная запись требует особых алгоритмов по защите данных.

Наиболее популярны два основных подхода к защите данных:

- применение к каждому защищаемому объекту набора допустимых привилегий;
- определение каждому пользователю некоторого набора прав доступа.

Оперативная доступность (ОД). Основной характеристикой оперативная доступности БД является сопровождение их в реальном режиме времени. В EMP системах утилиты сопровождения должны поддерживать непрерывные операции, с помощью которых система должна обеспечить доставку данных и исключать плановые и неплановые неполадки на линни связи и сервере данных. Обеспечивается оперативная доступность через физическое положение базы данных, реорганизацию, управление памятью, архивирование протоколов и перезапуск системы с минимальным воздействие на приложения.

Уровень взаимодействия с пользователем (УВ) определяется наличием интерфейса обеспечивающего высокую эффективность общения пользователей с системой при реализации её основных функций и высоких показателей пользовательских характеристик системы в целом.

Модернизация (М) связана с ростом производительности, пропускной способности путем добавления вычислительных ресурсов без изменения приложений и административного сопровождения. Существуют два способа расширения баз данных: горизонтальный и вертикальный. Горизонтальное расширение может быть получено, когда несколько серверов базы данных (БД) действуют независимо и делят рабочее пространство. Вертикальное расширение достигается путем добавления к платформе дополнительных ресурсов с целью уменьшения времени отклика или увеличения пропускной способности. Поддержка сервера баз данных для вертикального расширения не должна требовать включения дополнительных программных модулей, поскольку это увеличивает административные издержки.

Новые требования к архитектуре корпоративных EMP систем усложняют проектирование медицинских информационных систем. Комплексная модель проектирования автоматизированной системы обработки электронных медицинских записей представляет набор параметров и зависит от доступных для разработчиков технологий работы с данными F = f(ОР, Н, БЗ, ОД, УВ, М) .

Совокупность перечисленных проблем определяют важный набор параметров автоматизированной системы обработки электронных медицинских записей. Решение рассмотренных выше проблем для различных типов распределенных EMP систем существенно сказывается на количественных и качественных показателях. Оценка параметров EMP системы конкретного типа выполняется для конкретного проектного решения выполняющего набор функций и содержит не только базы данных (запоминающее устройство со всеми атрибутами аппаратной и программной поддержки и его внутренним наполнением данными), но и сложную систему управления .

Проектирование комплексной по предметной направленности, интегрированной и большой по размеру распределенной EMP системы сложная задача, поскольку при этом явно наблюдается интеграция различных структур данных (неформатированные элементы, мультимедийные, гипертекстовые , распределенные данные и др.) и новые операции над данными (распределенная обработка, мультиплатформенность, многопротокольность, полнотекстовая обработка). Возникли новые требования к архитектуре корпоративных EMP систем, основные из которых следующие.

1) Обеспечение доступа ко всем необходимым данным распределенных БД,

2) Применение наиболее типовых и перспективных архитектур БД и программных средств: хранилищ данных, оперативной аналитической обработки данных (OLAP), быстрой разработки приложений (RAD) , средств поддержки принятия решений (DSS) на основе хранилищ данных.

3) применение методов логического вывода, нейронных сетей, нейрокомпьютеров.

4) применение единого интерфейса пользователя для работы с разными компонентами данных и приложений.

5) постоянная актуализация понятийной модели для учета новых понятий, возникающих при изменении прикладных задач.

Все это привело к модификации известных технологий проектирования EMP систем, а также к поиску новых, сочетающих в себе перспективные направления и методы построения средств искусственного (машинного) интеллекта. Как

показал анализ современных и перспективных EMP систем, параметры базы данных и EMP систем взаимосвязаны: конкретные значения параметров EMP систем могут быть получены только при наличии конкретного типа системы управления данными.

В технологии EMP систем выделились три направления совершенствования систем.

Направление Postgres. Характеризуется максимальным следованием известным принципам организации СУБД (если не считать коренной переделки системы управления внешней памятью).

Направление Exodus/Genesis. Основная характеристика: создание собственно не системы, а генератора систем, наиболее полно соответствующих потребностям приложений. Решение достигается путем создания наборов модулей со стандартизованными интерфейсами, причем идея распространяется вплоть до самых базисных слоев системы.

Направление Starburst. Характеризуется приспособляемостью к нуждам конкретных приложений путем использования стандартного механизма управления правилами. Системы представляют некоторый интерпретатор правил и набор модулей-действий, вызываемых в соответствии с этими правилами. Можно изменять наборы правил (совершенствуется специальный язык задания правил) или изменять действия, подставляя другие модули с тем же интерфейсом.

УДК 001.895

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

Минько М.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Безотлагательность перехода экономики Республики Беларусь на инновационный путь развития требует активизации инновационной деятельности, повышения инновативности предприятий, а именно: их способности четко и адекватно реагировать на изменения на рынке путем выпуска новой или усовершенствования существующей продукции, внедрения новых технологий производства и сбыта, усовершенствования системы внутрифирменного управления и использования новейших маркетинговых стратегий. Инновационная деятельность рассматривается как важнейший источник развития, позволяющий повышать конкурентоспособность экономики, а инновации являются своеобразным индикатором деловой активности, определяя быстро развивающиеся перспективные сектора при условии благоприятного инновационного и инвестиционного климата.

Одним из необходимых элементов успешного инновационного развития во всем мире является интеллектуальная собственность (ИС), различные объекты которой сопровождают все стадии инновационного цикла. Значительная часть инноваций представляет собой практическое использование прав на результаты интеллектуальной деятельности, многие нововведения базируются на объектах интеллектуальной собственности (ОИС), созданных или приобретенных хозяйствующим субъектом. Кроме того, многие ОИС генерируются непосредственно в ходе инновационных преобразований. При всем многообразии ресурсных показателей основой обеспечения инновационного развития является интеллектуальный ресурс, т.е. наличие новых идей, проектов, изобретений. Все это подчеркивает определяющее значение ИС в управлении инновационным процессом, механизмы которой охватывают объекты, источники и результаты инновационной деятельности. Содержание работ на каждом этапе инновационного цикла во многом предопределяет конкретную роль и вид ИС, который преобразуется по мере продвижения по стадиям и этапам цикла.

Субъекты реальной сферы экономики обращаются к инновациям в силу производственной и экономической необходимости для получения конкурентных преимуществ на рынке и поддержания прибыльности своего бизнеса.

Предприятия, выбравшие инновационный, или органический путь развития, со временем смогут создать и постоянно развивать уникальные конкурентные преимущества, трудновоспроизводимые конкурентами в силу того, что инновационный процесс – это комплексный и длительный процесс превращения инновационной идеи в товар, который протекает под влиянием многочисленных внешних и внутренних факторов, которые в тот или иной момент времени могут стимулировать или тормозить инновационное развитие предприятий.

Инновационное развитие любого производства – это развитие на основе прибыльного использования новых конкурентоспособных видов продукции, изготовленной с использованием новых технологий и материалов, а также на основе применения новых организационно-технических и социально-экономических решений производственного, финансового, коммерческого или административного характера. Именно инновационное развитие ведет к созданию и реализации конкурентоспособной продукции и оздоровлению экономического состояния производства.

В настоящее время выделяют три основных вида инновационного развития промышленного предприятия:

1) продуктовое – процесс обновления сбытового потенциала предприятия, обеспечивающий увеличение объема получаемой прибыли, расширение доли на рынке, сохранение клиентуры, укрепление независимого положения, повышение престижа, создание новых рабочих мест и т. д.;

2) технологическое – процесс обновления производственного потенциала предприятия, направленный на повышение производительности труда и экономию ресурсов, что дает возможность увеличить объем прибыли фирмы, усовершенствовать технику безопасности, провести мероприятия по защите окружающей среды, эффективно использовать внутрифирменные информационные системы;

3) социальное – процесс планомерного улучшения социальной сферы. Реализация инновационного развития такого рода расширяет возможности на рынке рабочей силы, мобилизует персонал, укрепляет доверие к социальным обязательствам.

На основе способа организации инновационного процесса на предприятии, который видоизменялся в процессе развития рыночного механизма, можно выделить следующие три модели инновационного развития.

1. Инновационное развитие на основе внутренней организации, когда инновация создается и осваивается внутри предприятия его специализированными подразделениями на базе планирования и мониторинга их взаимодействия по инновационному проекту.

2. Инновационное развитие на основе внешней организации при помощи контрактов, когда заказ на создание и (или) освоение инновации размещается между сторонними организациями.

3. Инновационное развитие на основе внешней организации при помощи венчуров, когда предприятие для реализации инновационного проекта учреждает дочерние венчурные фирмы, привлекающие дополнительные сторонние средства.

В условиях рыночных отношений промышленному предприятию необходимо осуществлять непрерывное инновационное развитие, что обуславливает потребность в объективной оценке уровня этого развития.

Можно выделить следующие методы и модели, в большей или меньшей степени охватывающие оценку инновационного развития предприятия и с различной степенью детализации реализующие задачи управления инновационным развитием:

1. Метод В.Е. Агафонова - осуществляется на принципах построения и использования информационной структуры управления. Информационная сеть накладывается на структуру управления инновационным развитием предприятия. Оценка инновационного развития производится на основе измерения роста информационных потоков.

2. Метод С.В. Дронова - основывается на анализе инновационной структуры предприятия. Оценка происходит на основе перманентного анализа организационной, производственной, технологической структур предприятия с позиции развития и внедрения инноваций.

3. Метод А.А. Трифиловой - основывается на анализе инновационной активности. Оценку предлагается осуществлять на основе расчета ряда коэффициентов и их сравнения с базисными значениями.

4. Метод С.Н. Яшина, Ю.С. Солдатовой – предназначен для комплексной оценки экономического состояния и уровня инновационного развития предприятия. Интегральный показатель рассчитывается в виде аддитивной модели, в которую входят обобщающие показатели с учетом их весовых коэффициентов. Фактические значения показателей сопоставляются с оптимальными, а полученные результаты приводятся в сопоставимый вид по методу балльных оценок.

5. Метод Ю. Арутюнова, И. Архипова, А . Барыкина – основан на выделении взаимосвязанных детерминант инновационного развития и определения пороговых значений.

6. Метод ССП (сбалансированной системы показателей) Д. Нортона и Р. Каплана. Оценка производится как на основе финансовых показателей, так и на основе показателей нефинансового характера.

7. Метод А. Шенхара и Д. Двира - основан на оценке в различных временных горизонтах. Оценка учитывает долгосрочные факторы инновационного развития предприятия, производится анализ новых технологий, навыков по созданию новых продуктов, научные достижения и т.п.

8. Метод Tableau de bord основан на оценке переменных факторов. Анализируется ряд переменных, сопоставимых с определенными изменениями инновационной деятельности предприятия

Каждый их этих методов эффективен при использовании одних составляющих оценки инновационного развития, но не учитывает другие компоненты, поэтому необходимо их объединение и формирование новой методики на этой основе. Кроме того, необходима разработка обоснованных индикаторов (и критериев) состояния предприятия с целью задания ориентиров будущего инновационного развития и разработки его стратегии.

УДК 378.1

МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

Подобед Н.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Электронные учебно-методические комплексы (ЭУМК) являются универсальным средством и методом поддержки учебного процесса в высшем учебном заведении. С помощью ЭУМК преподаватели и студенты могут получать учебную и справочную информацию, рационально организовывать процесс усвоения знаний, приобрести навыки самостоятельной работы, эффективно осуществлять контроль результатов обучения, активизировать познавательную деятельность, формировать и развивать определенные виды мышления.

Компоненты электронного учебно-методического комплекса, размещенные на внешнем носителе или сервере компьютерной сети должны обеспечивать все виды и этапы учебной деятельности. Соответственно, структура ЭУМК должна включать:

1. *Теоретический компонент*, содержащий информацию, которая поможет студенту осознать цели и задачи изучения дисциплины, выбрать приемлемую для него концепцию обучения, ознакомиться со структурой и содержанием учебного курса[1, с.173]. В состав этого компонента входят: учебный план, типовая (базовая) программа, рабочая учебная программа; методические указания по изучению дисциплины и ее отдельных тем; планы семинарских, практических и лабораторных занятий и методические указания к ним; квалификационные требования специальности.

2. *Практический компонент*, в который входят информационные ресурсы, поддерживающие исполнительный этап дидактического процесса: электронный учебник, содержащий учебный материал в гипертекстовой форме с изложением теории, необходимой для выполнения учебных заданий и демонстрационные примеры; электронный конспект лекций; практикум, содержащий большое количество примеров с решениями и задания для самостоятельного выполнения; лабораторный практикум по решению экономико-математических и статистических задач с использованием ПК; деловые игры, конкретные ситуации и другие активные формы обучения и рекомендации по их использованию; программные средства, методические рекомендации по их использованию (материалы на дисках, пакеты прикладных программ).

3. *Контрольный компонент*, предоставляющий возможность контроля и самоконтроля усвоения знаний. В составе этого компонента могут находиться методические материалы по контролю знаний студентов (перечень вопросов к экзамену, зачету, тестовые задания различных видов как по отдельным темам, разделам учебного курса, так и по всему курсу, находящиеся в свободном и ограниченном доступе); методическое обеспечение самостоятельной работы студентов (тематика рефератов, контрольных, курсовых, дипломных работ и методические рекомендации по их написанию).

4. *Справочно – информационный компонент*, в котором содержится различная справочная информация (таблицы, формулы, ссылки на открытые образовательные ресурсы, электронные каталоги и библиотеки, сайты, список рекомендованной литературы);

5. *Нормативно-правовой компонент, состоящий из* документов регламентирующих учебный процесс и систему оценки знаний (критерии оценки знаний студентов по 10- балльной системе);

6. *Вспомогательный компонент*: дидактические материалы для ТСО по темам курса (презентации лекций на электронных носителях), наиболее интересные рефераты, лучшие доклады студенческих научных конференций, задачи студенческих олимпиад, работы участников научного кружка, темы научных разработок кафедры и т.д.

В настоящий момент составление электронных учебно-методических комплексов поручена структурным подразделениям высших учебных заведений - кафедрам. Процесс создания ЭУМК имеет ряд особенностей, среди которых необходимо выделить разнообразие форматов разработки, представления и описания образовательной информации(*.doc, *.pdf, *.html и другие). В части описания и каталогизации ЭУМК нет общепринятых правил и единых инструментальных средств. Такая ситуация приводит к тому, что часто сложно найти нужную информацию, а образовательное пространство представляет собой большое число малосвязанных разноформатных сегментов. Отсутствует целостность образовательного информационного пространства [2, с. 174].

В связи с этим, актуальной становится разработка электронных учебно-методических ком-

плексов, основу которых, составляет общая распределенная база данных различных документов – от описания дисциплин специальностей в учебных планах до конспекта лекций и тестовых вопросов. В рамках разрабатываемого ЭУМК данная информация должна быть структурирована и определены связи различных компонентов в виде инфологической модели.

На верхнем уровне находится перечень специальностей, основанный на требованиях Министерства образования к уровню профессиональных компетенций соискателя, а так же на внесенных предложениях выпускника относительно приоритета дисциплин. Каждая специальность отображается в учебном плане, состоящем из фундаментальных, общепрофессиональных и специальных дисциплин государственного компонента, и дисциплин по выбору студента, задаваемых на уровне учебного заведения.

Конкретизация методики обучения проводится на уровне учебного курса по дисциплине, где в его типовой и рабочей программах отражаются объем и последовательность изучения теоретического материала, количество семинарских, лабораторных и практических работ, виды и объем контрольных мероприятий. В конечном итоге тот или иной вариант определяется объемом изучаемого по курсу материала методикой его освоения и степенью его универсальности. Таким образом, следующим уровнем иерархии учебно-методического ресурса являются текстовые и мультимедийные образовательные данные, содержащие собственно знания, подлежащие изучению.

Формирование данной иерархии на практике ведется на основе типовой образовательной программы, которую в этом контексте можно назвать первичным образовательным ресурсом. На ее основе строится содержание учебных дисциплин [2, с.175].

Основными принципами формирования ЭУМК являются:

1. Мультимедийность. Одновременное использование нескольких средств представления информации: графики, текста, видео, фотографии, анимации, звуковых эффектов, высококачественного звукового сопровождения.

2. *Интерактивность.* Интерактивность обеспечивается множественным выбором форм обучения; активизацией элементов интерактивной мультимедиа в ЭУМК; перемещением элементов ЭУМК для составления определенных композиций; объединением объектов связями с целью организации определенной системы.

3. *Доступность.* Доступность обеспечивается свободным размещение в локальной сети вуза или сети Интернет, позволяя работать с материалом любым пользователем бесплатно в удобное время. Доступность способствует повышению эффективности обучения, что особенно актуально для обучения на дому, а также для студентов с ограниченными возможностями.

4. *Оправданность.* ЭУМК должны применяться в обучении только в том случае, если соответствующая система обучения испытывает потребность в использовании подобных средств[3, с.75].

5. *Универсальность.* Качество, заключающееся в том, что ЭУМК привязан к конкретному курсу, но вместе с тем позволяет формировать знания по смежным дисциплинам, что приводит к междисциплинарному взаимодействию.

Использование в образовательном процессе электронных учебно-методических комплексов, позволяет структурировать учебные материалы, улучшить их поисковые характеристики, интегрировать информационные ресурсы в систему управления образовательным процессом, которая обеспечивает повышение качества образования за счет изменения технологии поиска и использования актуальной, профессионально-значимой информации.

1. Севастьянова, С.А. Информационный образовательный ресурс: структура, содержание, применение в учебном процессе // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2006. – № 6. – С. 172-173.
2. Курников, А.В. Модель формирования учебно-методического ресурса в информационном образовательном пространстве Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2011. – № 1-3. – С. 173-177.
3. Карабанов, А.А. Информационные образовательные ресурсы в обучении техническим дисциплинам в высших учебных заведениях / А.А. Карабанов, С.М. Родионов // Известия института инженерной физики. – 2009. – Т. 1, № 11. – С. 74-75.

УДК 51(0707)

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА К ИННОВАЦИОННОМУ ТИПУ ОБУЧЕНИЯ В ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕМАТИКА»

Прихач Н.К., Прусова И.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современные реалии требуют новых подходов к преподаванию необходимых будущему специалисту дисциплин. Белорусский национальный технический университет является одним из ведущих высших учебных заведений в белорусской системе образования и, как следствие, чтобы поддерживать должный уровень подготовки студентов, внедряет инновационные методы в практику преподавания различных предметов, в том числе и в преподавании одной из базовых дисциплин университета – математику.

В настоящее время почти не осталось сомнений, что традиционный подход к обучению, где важным является наработка техно-логической базы по решению типизованных задач, не всегда позволяет помочь студенту в будущем стать востребованным и адекватным времени специалистом, так как ритм жизни убыстряется и с феноменальной скоростью меняются требования на рынке труда. Необходимо иметь программу, позволяющую не просто решать созданные много лет назад задачи, но и вырабатывать систему на основе исследовательского характера, чтобы формировать навык поиска и работы с информацией, умения её применять для решения актуальных задач.

Дисциплина «Математика» относится к базовой части подготовки студентов в Белорусском национальном техническом университете. Без полноценного освоения базового курса не представляется возможным понимание исходящих из неё спецкурсов, к примеру, дисциплины «Прикладная математика» и прочие. Следовательно, полное понимание базы студентами составляет одну из важнейших задач для преподавателя данной дисциплины.

Курс математики является одним из обязательных курсов университета и преподаётся на каждой специальности, так как без понимания основ данной дисциплины невозможно производить обучение будущих специалистов по профильным предметам, большая часть из которых так или иначе связана с техническим направлением, инженерией, метрологией и прочим.

В связи с переходом с двенадцатилетней на одиннадцатилетнюю программу обучения в школах, была существенно реформирована и сокращена образовательная программа по предмету «математика». К примеру, в современных школьных учебниках не отводятся часы на изучение элементарных, но необходимых разделов, как производные, что является одной из основ для дальнейшего изучения математики в вузе. Следовательно, требуется реформирование научно-методической программы в вузе с выделением часов на изучение отпущенных в нынешнем школьном образовании темах.

Одной из существенных проблем перехода к инновационному типу обучения являются способы контроля знаний студентов. Контроль знаний посредством тестов не рассчитан на проверку уровня понимания учащимися дисциплины, а рассматривает исключительно наработку технологической базы. Существенной проблемой является также то, что составляются тесты людьми, имеющими весьма опосредованное отношение к дисциплине, что находит своё отражение на качестве тестов и достаточном количестве ошибок из них. Для решения этих насущных проблем, на наш взгляд, требуется привлекать к созданию материалов для контроля знаний людей, получивших образование по дисциплине, по которой составляются тесты, во избежание ошибок в условиях и вариантах ответа, которые замечают даже студенты. Также необходимо создавать новую научно-методологическую базу, позволяющую акцентировать проверку на понимании материала дисциплины. В связи со скачком, наблюдающимся в сферах IT, в последние годы, а также повсеместного внедрения новых технологий в рабочий и образовательный процесс резонность достаточно медленного – по сравнению с работой компьютера – вычисления «вручную» вызывает вопрос, требующий дальнейшего исследования.

Количество часов, отпущенных по программе, на преподавание математики в университете периодически сокращается, что тоже является насущной проблемой для профессорско-преподавательского состава, работающего в этой сфере. Исходя из нашего совместного опыта преподавательской деятельности, мы можем с уверенностью заявить, что для компенсации сокращенных часов по курсу «Математика» необходимо проводить внедрение новейших технологий в учебный процесс, так как их использование позволяет существенно увеличить количество поданного материала за два академических часа, не в ущерб его качества. Статистика показывает, что подавляющее большинство людей являются «визуалами», то есть большую часть информа-

ции лучше воспринимают посредством наглядной визуализации материала. Лекционная нагрузка, по своей сути, является передачей информации посредством слуха, а на слух информацию воспринимают лучше всего только около десяти процентов людей. Внедрение в преподавание лекций элементарного оборудования типа проектора и обеспечение материально-технической базы для создания и демонстрации визуальных материалов существенно бы упростило и облегчило процесс передачи информации от преподавателя к студенту.

Кафедра «Инженерная математика» Белорусского национального технического университета вносит свой вклад в процесс перехода к инновационному образованию по дисциплине «Математика» в научно-методическом направлении. В частности, на момент написания данной статьи, находится в процессе работа над информационным курсом математики, который включает в себя целый пакет материалов в цифровом виде. В финальный проект в курс войдут научно-методическое пособие, конспект лекций, электронное пособие для текущего контроля и самоконтроля знаний студентов. Над созданием проекта трудится почти весь коллектив кафедры, в том числе доктора физико-математических наук, кандидаты наук и преподаватели с многолетним стажем работы.

На данный момент коллектив кафедры уже разработал и выпустил в электронном виде конспект лекций по высшей математике, который полностью соответствует типовой программе для втузов Республики Беларусь и пакету нормативов, что предъявляет к научно-методическим работам Министерство образования. В таком виде конспект лекций включает базовую информацию, необходимую для освоения базиса предмета, а также содержит в себе дополнительную информацию, которая позволяет студентам более полно погрузиться в предмет, и материалы для самостоятельного ознакомления, с целью расширения кругозора. В таком полном изложении имеется существенное преимущество для преподавателей, так как лектор может самостоятельно выбирать необходимые для освещения моменты и уделять им больше времени в рамках курса. Использование подобного конспекта позволяет сокращать количество времени, необходимых для полной передачи информации от преподавателя к студенту, без существенной потери качества.

Научно-исследовательская деятельность также неразрывно связана с переходом к новому типу образования, так как позволяет студенту самостоятельно исследовать проблему, но непосредственно под контролем преподавателя, что снижает вероятность ошибок на первых порах исследовательской работы. Подобная практика является весьма существенной помощью, создаёт основу дальнейшей научно-исследовательской деятельности студента и последующего написания дипломной работы. У студентов имеется возможность участия в научных конференциях, семинарах и олимпиадах по предмету, что позволяет не только лучше понять предмет, но и выработать навык общения с публикой, умение работать над нетипичными задачами, что впоследствии оказывает благоприятное влияние на качество работы молодого специалиста, так как во многих сферах труда подобные навыки имеют весомое значение при отборе кандидатов на рынке труда. При работе преподавателям необходимо поощрять студента на использование новых технологий и технологий удалённого доступа.

В Белорусском национальном техническом университете существует также, наравне с очной, и заочная система обучения, которая не остаётся без внимания прогрессивных методов образования. В настоящий момент разрабатывается целый научно-методический комплекс для студентов заочного обучения по дисциплине «Математика».

Заочная система обучения подразумевает под собой большое количество самостоятельной и дистанционной работы студента, поэтому адаптация существующих методических ком-плексов и использование при работе с мате-риалами курса новых информационных техно-логий является одной из приоритетных задач создателей курса, наравне с его удобством и доступностью для студентов. Желательным является создание инструмента обратной связи и консультаций по спорным, сложным вопросам между преподавателем и студентом посредством существующих информационных технологий. Необходимым также является создание средства для самопроверки студентов-заочников и разработка графических систем для контролирования студентов своей успеваемости по предмету.

Естественным образом, данная работа не может полностью отразить работу кафедры и авторов статьи по разработкам направлений перехода к инновационному типу обучения, включающему в себя использование современных технологий и новых методов передачи информации. Однако, на данном этапе, мы полагаем, наиболее важным аспектом является создание и разработка новейших программ обучения, на основе которых и будет строиться дальнейшее обучение.

УДК 658.14/17 (075.8)

КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ И ДРУГИХ СТРАНАХ СНГ

Разумов И.А.
Полесский государственный университет
Пинск, Республика Беларусь

С вводом в действие Особенной части Налогового кодекса в Беларуси было отменено пять налогов: в 2010г. – налога с продаж, целевого сбора в республиканский фонд поддержки производителей сельскохозяйственной продукции и налога на приобретение автотранспортных средств, а в 2011 г. – налога на услуги и целевого сбора на развитие территорий. Четыре из пяти отмененных налогов – налоги косвенные. Поэтому отмену их можно считать фактом положительным. Однако, с того же 2010 г. была повышена ставка НДС на 2% (с 18% в 2009г. до 20% с 2010г.), удельный вес которого во всех налоговых платежах в республике по состоянию на 2009 г. составил 21,1% по сравнению с 4,9% удельного веса налогов, отмененных с 2010 г. В целом недобор налоговых поступлений по отмененным налогам по сравнению с повышением налоговой нагрузки по НДС из расчета налоговых поступлений 2009 г. должен был бы составить в 2010 г. примерно 1,5 трлн. руб. в текущих ценах 2009 г. Однако, поступлений в консолидированный бюджет от НДС в 2010 г. по сравнению с 2009 г. увеличилось на 4,14 трлн. руб., что намного перекрывает недобор по отмененным с 2010 г. налогам (2,8 трлн. руб.). В 2009 г. по сравнению с 2008 г. налоговые поступления в консолидированный бюджет уменьшились на 5,5 трлн. руб., а в 2010 г. по сравнению с 2009 г. – увеличились на 3,6 трлн. руб., несмотря на то, что в 2009 г. по сравнению с 2008 г. количество налогов и налоговые ставки (за исключением подоходного налога) не изменялись [1]. С 2012 г. правительство республики снизило ставку по налогу на прибыль на 6% (с 24% до 18%). Однако, доля налога на прибыль во всех налоговых поступлениях бюджета сектора органов госуправления (консолидированного бюджета и ФСЗН) составляет в пределах 10%, в то время, как НДС в последние годы (2012-2013гг.) – более 23% [1]. Кроме этого следует иметь в виду меры, предпринятые правительством республики в последние годы, представленные расширением налоговой базы по налогам на потребление и налогу на прибыль (учет реализации по факту отгрузки с 2013г.), увеличением ставок по экологическому налогу и наметившуюся вновь тенденцию на увеличение количества налогов, представленного вводом с 2014 г. налога на вмененный доход и транспортного сбора. В целом налоговая нагрузка на экономику, начиная с 2009г. по 2012гг. снизилась с 47,2% (2008г.) до 36,8% в 2012 г. по данным сводного консолидированного бюджета и ФСЗН. Однако, начиная с 2013г. вновь наметился ее рост: в 2013 г. она составила 38,1%, а в 2014г. должна составить 39,5% по плановым бюджетным показателям и налоговым поступлениям в ФСЗН.

Рассмотрим изменения в организации налогообложения в других постсоветских странах. Украина, например, активность в этой политике начала проявлять с 2011 года такой же законодательной нормой, как и Беларусь, – путем ввода в действие с 1 января 2011 г. практической части Налогового кодекса (НКУ). При этом, в отличие от Беларуси, Украина регулирование налоговых отношений с субъектами пыталась проводить путем снижения налоговых ставок без изменения количества налогов. Так, например, согласно разделу 5 НКУ, введенного в действие с 1 января 2011 г., ставка НДС до 2014 г. должна была составить 20%, а с 2014г. предусмотрено было ее снижение на 3% (до 17%). По сравнению с 2010 г. в 2011 г. ставка налога на дивиденды снижена была в 3 раза – с 15% до 5%. По налогу на прибыль тем же нормативно – правовым документом предусмотрено было поэтапное снижение ставок по этому налогу: с 25% - в 2010 году до 23% - в 2011 году, а с 2012 г. - до 21%, с 2013г. - до 19% и с 2014г. - до 16%. Однако, наряду со снижением ставок по основным налогам, проводилась политика повышения налоговых ставок по другим налогам. Например, ставок налога на землю. Налог на недвижимость до 2012 г. на Украине отсутствовал, но с 2012 г. был введен. Кроме того Украина в последние годы проводила активную политику по увеличению имущественного налогообложения недвижимости и земли, а также уровня социального налогообложения и планировало продолжить эту политику в 2014 году. При этом следует иметь в виду, что запланированное в НКУ поэтапное снижение ставок по основным налогам не соблюдалось. Так, например, снижение налога на прибыль с января 2014 г. по нормам НКУ планировалось с 19% до 16%, а фактически снижение составило только 1% (с 19% до 18%) [2]. При этом Правительство Украины до недавнего времени планировало повысить ставки социального налога, так как удельный вес пенсионного населения в этой стране не мень-

ший в сравнении с Беларусью. Однако, в связи с последними политическими событиями и отсутствием денежных средств в казне, а также по требованию ЕС, правительство страны пошло по пути повышения налоговой нагрузки, вернувшись к прогрессивной ставке налога на доходы физических лиц. Такое решение имеет лишь некоторое отношение к теории налогообложения, так как прогрессивное подоходное налогообложение преобладает в развитых странах мира, как последствие применения теории Дж. Кейнса, несмотря на значительное снижение верхнего лимита ставок в прогрессивных шкалах этих стран за последние 30 лет. Прогрессивные ставки, как известно, увеличивают налоговую нагрузку на высокодоходные субъекты. В развитых странах мира, в настоящее время, активно обсуждается вопрос о переходе к пропорциональным ставкам. Правда, пока что безрезультатно. Большинство населения развитых стран мира пока что приветствует повышенные ставки в отношении к состоятельным субъектам. Однако, едва ли можно считать количество мнений граждан (не экспертов) научным материалом. Теория же налоговых ставок пока же еще не разработана. Тем не менее, если рассчитать расходы государственного бюджета на одну национальную денежную единицу полученной предпринимательскими структурами чистой прибыли, то поддержка современным государством предпринимателей будет ниже, чем остальных слоев населения. То есть современное государство оказывает услуг населению больше, чем предпринимательским структурам с позиции государственных расходов. К этому следует добавить, что уровень налоговой нагрузки на основные предпринимательские структуры намного выше, чем на физические лица, работающих по найму. И эти данные отнюдь не в пользу прогрессии в налоговых ставках. К этом у следует добавить, что теоретическое обоснование прогресса в налогообложении в развитых странах мира была основана не на процентных, а на твердых налоговых ставках.

У России проблемы налогообложения близки проблемам Беларуси и Украины: первоначально (в 2011г.) Правительство РФ попыталась снизить ставки НДС до 12%, но не получилось, в первую очередь, в связи с проблемами выплат пенсий из Пенсионного фонда, проблемы по которому у РФ тоже есть. Именно в связи с проблемами этого фонда Россия вынуждена была в 2011 году повысить налоговую нагрузку на предпринимателей более, чем на 2,3% к их уровню в 2010 г., увеличив налоги социального характера с 26% до 34%. Однако, начиная с 2012 г. оценивая высокий уровень таких ставок для работодателей (в Пенсионный Фонд – 26%, в Фонд Социального Страхования – 2,9%, в Федеральный и Территориальный Фонды Обязательного Медицинского Страхования – 5,1% = 3,1% + 2,0%), была снижена ставка отчислений в Пенсионный Фонд РФ на 4% (до 22%). Тем не менее, начиная с 2016 года запланирован возврат к ставке отчислений в этот фонд по уровню 2011 г. (26%), а к 2018г. вновь вернуться к прогрессивным ставкам налога на доходы физических лиц [3]. В свою очередь Казахстан также проводит политику увеличения ставок социального налога. Последнее повышение в размере 5% датируется 2013 годом [4]. При этом как в Беларуси, так в России и Казахстане основная налоговая нагрузка относится на НДС, налоги от внешнеэкономической деятельности (таможенные сборы) и социальные налоги [4]. Однако, в России и Казахстане, в отличие от Беларуси, не меньшую роль выполняет налог на прибыль, что связано с высокой прибыльность значительного количества сырьедобывающих экспортноориентированных предприятий. В этой связи доля налога на добычу сырья в этих странах в 5 – 10 раз выше, чем в Беларуси (в РБ – 2%, в РФ и РК – колеблется от 10% до 25% в разные годы). При этом постоянно возрастает роль НДС и таможенных пошлин, учитывая также, что Россия нацелена на увеличение подоходного налогообложения богатых слоев населения путем ввода в недалеком будущем прогрессивных ставок. В свою очередь Украина изначально ориентируется на налогообложение физических лиц, как существенный источник доходов. Несложно предположить, что уровень налоговой нагрузки на субъекты как в Беларуси, так и других странах на постсоветском пространстве будет примерно в одинаковом размере. Ее относительно несложно определить для субъектов по Беларуси при среднегодовом уровне налоговых поступлений от коммерческих организаций в бюджет сектора государственного управления в размере примерно 190 трлн.руб., среднем удельном весе налогов на потребление во всех налоговых платежах коммерческих организаций в размере 35,2%, а также среднем удельном весе налогов, относимых на себестоимость – 54,2% и налогов, уплаченных из прибыли – 10,6%, среднегодовом размере ВВП в последние годы в размере примерно 600 трлн. руб. в год и среднем уровне рентабельности продукции по данным 2013 г. в размере 8,3% [1]. Налоговая нагрузка на субъекты предпринимательства в республике составит примерно 80%, что намного превышает предельный размер, определенный А. Лаффером (30%). И чем менее развита страна, тем выше уровень налоговой нагрузки, так как уровень косвенного налогообложения обратно пропорционален уровню развития экономики той или иной страны [5, с.122-123]. То есть, в налоговой политике, проводимой в Беларуси, в других странах

ЕЭП и в Украине, достаточно четко прослеживается тот факт, что исключение того или иного налога и изменение налоговых ставок практически не основано на ключевых положениях теории налогов. Поэтому повсеместное снижение или увеличение налоговых ставок не приносит ощутимых положительных результатов. Периодически налоговые ставки странами то поднимаются, то снижаются, количество налогов то увеличивается, то уменьшается в условиях отсутствия дифференцированного подхода к каждому плательщику налога, вне учета его финансовых возможностей., не принимая при этом во внимание высокую стимулирующую силу регрессивных процентных ставок и неэффективности твердых налоговых ставок. При этом финансовые госорганы в своих действиях не отличают прямой налог от косвенного, не оценивая, таким образом, последствия своих действий в государстве в целом, а не только с позиции формирования бюджета.

Значительная часть исследователей считают, что косвенные налоги взимать проще. Да и доход эти налоги, как принято считать, приносят государству куда больший. Оговоримся сразу – доход это, то что может остаться субъекту после уплаты косвенных налогов, которые в принципе не реагируют на прибыльность субъекта. Источником уплачиваемых налогов, как показывают наши расчеты, должен быть преимущественно необходимый продукт [6]. Практически вся чистая прибыль субъектов предпринимательства должна быть направлена на их собственное саморазвитие. Именно в этом критерии, считаем, заключается решение основных проблем в налогообложении не только в Беларуси, но и в других странах СНГ и не только в этих странах.

1. Доходы бюджета Республики Беларусь по видам доходных источников за 2007 – 2013 гг. Оф. интернет – портал МНС РБ «Nalog.gov.by» [Электронный ресурс] – Минск, 20 марта 2014. – Режим доступа: http://www.nalog.gov.by/uploads/documents/Doxody.xls/
2. Налог на прибыль в Украине в 2014 году снизится на 1%. Интернет – сайт информационного агенства ostro.org «Экономические новости». [Электронный ресурс]/Москва,18 декабря 2013. – Режим доступа: http://www.ostro.org/general/economics/news/433763/
3. Тарифы страховых взносов для страхователей, производящих выплаты физическим лицам. Интернет – сайт базы данных «Консультант плюс». [Электронный ресурс]. Москва, декабрь 2013. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93256/
4. Динамика и структура налоговых поступлений в бюджет РК. Интернет – сайт казахстанского информационного агенства yvision.kz. [Электронный ресурс]/Алматы, декабрь 2013. http://yvision.kz/post/337786.
5. Макроэкономическая политика и взаимодействие реального и финансового секторов экономики Беларуси в условиях цикличности развития. Отчет о НИР ПолесГУ, № госрегистрации 20130742, Минск: БелИСА, 2013. – 585с.
6. Разумов, И.А. Оценка возможности управления эффективностью налоговой политики государства на основе моделирования процесса формирования необходимого и прибавочного продукта. Экономика и банки. – № 2, 2013. – С.20-25.

УДК 535.317

ОБОБЩЁННАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рогальский Е.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Электронное обучение (e-learning) сформировало и продолжает интенсивно формировать новую образовательную систему с точки зрения организации образовательного процесса, относящуюся к третьему этапу в истории образовательных институтов человечества. На это процесс указал Заместитель председателя Комитета Государственной Думы Российской Федерации по образованию О.Н. Смолин [1], в одном из своих выступлений.

Что бы понять эти изменения, необходимо обратить внимание на процессы, которые происходили относительно недавно, в период становления вычислительных сетей, в том числе и становлении Интернета.

Анализ ситуации за счёт выявления аналогий позволит определить тенденции и пути развития электронного обучения.

Многоуровневое представление средств сетевого взаимодействия имеет свою специфику, связанную с тем, что в процессе обмена сообщениями участвуют две стороны, то есть

необходимо организовать согласованную работу двух иерархий, работающих на разных компьютерах**.**

Оба участника сетевого обмена (рис. 1) должны принять множество соглашений. Соглашения должны быть приняты для всех уровней, начиная от самого низкого – уровня передачи битов – до самого высокого, реализующего сервис для пользователя. Взаимодействие одноименных функциональных уровней по горизонтали осуществляется посредством протоколов.

Протоколом называется набор правил и методов взаимодействия одноименных функциональных уровней объектов сетевого обмена. Коммуникационные протоколы могут быть реализованы как программно, так и аппаратно. Протоколы нижних уровней часто реализуются комбинацией программных и аппаратных средств, а протоколы верхних уровней – как правило, чисто программными средствами. Иерархически организованный набор протоколов, достаточный для организации взаимодействия узлов в сети, называется стеком коммуникационных протоколов.

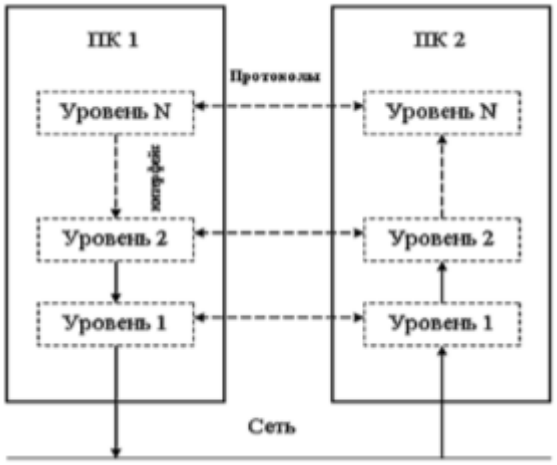


Рисунок 1 – Многоуровневый протокол информационного обмена сети

В сети Интернет базовым набором протоколов является стек протоколов TCP/IP. В локальных сетях, как правило, используется разделяемая среда передачи данных (моноканал) и основная роль отводится протоколами физического и канального уровней, так как эти уровни в наибольшей степени отражают специфику локальных сетей.

Сетевая технология – это согласованный набор стандартных протоколов и реализующих их программно-аппаратных средств, достаточный для построения вычислительной сети. Сетевые технологии называют базовыми технологиями или сетевыми архитектурами. Сетевая архитектура определяет топологию и метод доступа к среде передачи данных, кабельную систему или среду передачи данных, формат сетевых кадров тип кодирования сигналов, скорость передачи. В современных вычислительных сетях широкое распространение получили различные сетевые архитектуры, в частности такие как: Ethernet, Token-Ring и т.д.

Для их проектирования и последующей реализации электронных средств обучения в виде аппаратно-программного продукта разработчики идут по пути создания цифровых моделей, программ с искусственным интеллектом – виртуальных агентов – цифровых тьюторов, автоматизированных обучающих систем, облачных приложений и знаниепроводящих сетей. Все эти объекты[2] работают на одну цель – обеспечение качества электронного обучения.

Компоненты, перечисленные в предыдущем абзаце, участвуют в архитектуре, реализующей знаниепроводящую сеть. Они все связаны между собой и выполняют соответствующие функции, расширяя, при необходимости качественные характеристики образовательного продукта. При этом отсутствие того или иного компонента не может компенсироваться другими компонентами, а его присутствие в составе комплекса определяется исключительно техническим заданием и требованиями к возможностям и его функционалу.

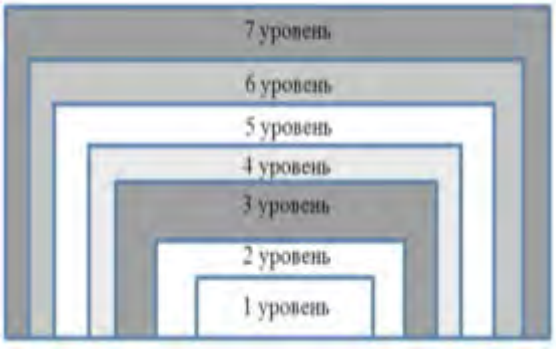


Рисунок 2 – Многоуровневый модель электронного обучения

Рассмотрим подробнее многоуровневую модель электронного обучения (рис. 2).В качестве 1 уровня предлагается реализовать уровень электронных учебных курсов (ЭУК). В зависимости от подхода к функционалу и задачам, решаемым ЭУК, этот уровень может включать подуровни (уровни), соответствующие классификации ЭУК, в зависимости к какому эволюционному этапу этот образовательный продукт относится:

- Технологическому (ЭУК –полученные в результате простого сканирования).

Может трактоваться как 2 уровень.

- Системотехническому (ЭУК – ориентированные на работу в составе

автоматизированных образовательных систем – АОС).

Может трактоваться как 3 уровень.

• Системно-технологическому (ЭУК – объединяющие эти два подхода, способные кроме работы в составе АОС, работать автономно, вне системы, правда с некоторым ограничением функционала).

Может трактоваться как 4 уровень.

• Уровень облачных приложений. Компоненты ЭУК и АОС расположены на облаке. Их параметры настраиваются в зависимости от требований клиента. Обеспечивается высокая эластичность и масштабируемость образовательной среды.

Может трактоваться как 4 уровень.

• Последующие уровни имеют существенные отличия от первых четырёх, в силу объектов, для которых они проектируются и функционируют.

В качестве следующего уровня можно предложить уровень виртуальных агентов – интеллектуальных программ – тьюторов, выполняющих собственно роль обучающего элемента.

Уровень разработки этих программ определяет уровень тьюторства, то есть определяет возможность внешнего сопровождения (дистанционности) при учебном процессе и не только.

Обобщая, можно трактовать этот уровень как 5 уровень.

• В качестве 6 уровня можно выделить уровень, описывающий и хранящий необходимую информацию об ученике. Вся подобная информация о субъекте образовательного процесса представляет своеобразный «виртуальный образовательный модуль» (ВОМ) и хранится как элемент, специализированной базы данных.

Для обслуживания ВОМ требуется организовать «виртуальный образовательный конвейер» (ВОК), который обслуживает клиентов образовательной среды и управляет базой данных ВОМ.

Это уже 7 уровень.

Заключение.

На заре проектирования вычислительных сетей существовало много проблем, обусловленных различными подходами проектировщиков при решении поставленных задач, разнородностью оборудования, программного обеспечения, работой по различным стандартам и возможностями финансирования.

Добиться требуемых (приемлемых) результатов, удалось благодаря упорядочению роли и функций всех компонентов, то есть за счёт введения протоколов, регламентирующих обслуживание (программное и аппаратное) информационного обмена.

Особенность решения, позволившего достигнуть требуемого результата – многоуровневые протоколы.

Для достижения требуемого уровня в электронном обучении, полезно учесть опыт разработчиков сетей, и, используя аналогию, рассматривать вопросы проектирования электронных образовательных комплексов посредством многоуровневой модели.

Пример для такой модели предлагается в данной статье, а для компонентов, входящих в её состав даны ссылки на литературу[2], где приводится их описание.

1. Смолин, О.Н. Электронное обучение и стратегия образования для всех. 9-я Международная конференция «Современные технологии обучения в компаниях и учебных учреждениях»./ Москва. Экспоцентр, 5.06.2012.
2. Внедрение электронного обучения через знаниепроводящие сети / Е.С. Рогальский // Инновационные образовательные технологии. – 2014. – №1(37). – С. 29-35.

УДК 535.317

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ

Рогальский Е.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Учебный процесс, как и любую другую технологию, можно рассматривать с позиции качества управления. Мало эффективная организация управления с помощью аналоговых управляющих элементов не вызывает энтузиазма в эпоху компьютеров и цифрового управления. На первый взгляд, относительно учебного процесса, проблем оцифровки не существует. Рейтинговая десятибалльная система прочно вошла в практику педагогической деятельности. Однако это справедливо лишь тогда, когда речь идёт об итоговой фиксации достигнутого результата, или в качестве оцифровки рейтинга. Проблема выглядит иначе при попытках управлять учебным процессом с помощью компьютерных программ с организацией обратных связей в цифре, причём в реальном масштабе времени. Такой образовательный продукт весьма актуален на рынке образовательных услуг.

Подобная трактовка при постановке задачи проектирования учебного процесса вызывает большое количество вопросов. Какое управление, в чём его смысл? Веками обходились доской и мелом, а тут оцифровка, обратные связи и прочие никому не нужные атрибуты. Нет смысла вступать в полемику, лучше посмотрим на реалии с современных позиций. Сегодня, студенты, выполняя индивидуальные задания, лабораторные работы, курсовые проекты и прочие виды учебной деятельности сталкиваются с большими объёмами вычислительной работы.

Наиболее эффективный и экономически целесообразный подход при решении подобных задач – это использование облачных информационных технологий обработки больших данных.

Электронное обучение является, по сути дела, локомотивом практически всех разработок в сфере образования. Ничего удивительно здесь нет. Заместитель председателя Комитета Государственной Думы Российской Федерации по образованию О.Н. Смолин [1], в одном из своих выступлений, напоминает: «… существует целая концепция, согласно которой, с точки зрения организации образовательного процесса, можно выделить три этапа в этой истории человечества.

Этап первый. Условно говоря, индивидуальное образование. Система учитель – ученик. Классические примеры: Древняя Греция, Сократ или Платон, гуляющие по саду со своими учениками.

Этап второй. Аудиторный. Система классно-урочная, характерная для индустриального общества. Классик – Ян Амос Каменский.

Этап третий. Формируется в 21 веке. Это система, во многом базирующаяся на **электронном обучении** и **информационных образовательных технологиях**».

Учебный процесс, как и любую другую технологию, можно рассматривать с позиции качества управления. Мало эффективная организация управления с помощью аналоговых управляющих элементов не вызывает энтузиазма в эпоху компьютеров и цифрового управления. На первый взгляд, относительно учебного процесса, проблем оцифровки не существует. Рейтинговая десятибалльная система прочно вошла в практику педагогической деятельности. Однако это справедливо лишь тогда, когда речь идёт об итоговой фиксации достигнутого результата, или в качестве оцифровки рейтинга.

Проблема выглядит иначе при попытках управлять учебным процессом с помощью компьютерных программ с организацией обратных связей в цифре, причём в реальном масштабе времени. Подобная трактовка при постановке задачи проектирования учебного процесса вызывает большое количество вопросов. Какое управление, в чём его смысл? Веками обходились доской и мелом, а тут оцифровка, обратные связи и прочие никому не нужные атрибуты. Нет смысла вступать в полемику, лучше посмотрим на реалии с современных позиций. Сегодня, студенты, выполняя индивидуальные задания, лабораторные работы, курсовые проекты и прочие виды учебной деятельности сталкиваются с большими объёмами вычислительной работы.

Наиболее эффективный и экономически целесообразный подход при решении подобных задач – это использование облачных информационных технологий обработки больших данных. Возникает вопрос: «А почему так сложно, будет ли полученный результат адекватен затратам при его достижении?». В защиту свей позиции, хочу отметить, что **времена простых и очевидных решений уже прошли**. Мы живём в эпоху высоких технологий, и образование не является исключением. Подтверждение тому приводимая ранее цитата «…объем данных сгенерированных в 2012 году составляет 2.8 зеттабайта (10^21 байт), а к 2020 году эта цифра дорастет до 40 зеттабайт»[2].

Смысл разработки направления электронного обучения в разработке таких образовательных продуктов, которые обеспечивают конгнитивность обучения за счёт создания условий, при которых каждый обучаемый достигает своего индивидуального максимума при получении знаний [3]. Ясно, что необходимо обратить внимание на облачные технологии, применимые в сфере образовательных услуг, и выявить направления основных тенденций именно в этой области. Для решения разработчики идут по пути создания цифровых моделей. При анализе данной темы будем рассматривать круг вопросов как **процесс: практика, тенденции, перспектива.**

Практика в области электронного образования (e-learning) даёт наличие огромного количества электронных учебных курсов (ЭУК).

Отметим сразу, что ЭУК - это фундамент для всех электронных продуктов в области образования и такой образовательный продукт весьма актуален на рынке образовательных услуг.

Это следует понимать при использовании современных Интернет - технологий проведения занятий и новых форм организации учебного процесса с элементами дистанционности:

Вебинары, эрудит - аукционы, удалённое присутствие учеников, присутствие сразу нескольких преподавателей – консультантов на медицинских практикумах, семинарах по искусству и творческим профессиям и другие, продвинутые формы.

Мы не будем вникать в детали их создания, оценки уровня, и другие нюансы. Это описано в литературе [4].

Отметим, что это - эволюционный путь от простейших оцифровок или сканирования, так называемый «технологический этап», до «системотехнического этапа» - с разделением функций информационной среды и ЭУК, и, переходящий в «системно-технологический этап», объединяющий оба эти направления. Таким образом, реализуется переход **от практики к тенденциям**.

Дальнейшая **эволюция ЭУК**, показанная на 4-м этапе (Рис.1.Эволюция электронных учебных курсов), подразумевает дальнейшее продвижение сна основе тенденций и **открывает перспективы** в виде использования таких информационных технологий, которые базируются на применении «облачных приложений».

Рисунок 1 – Эволюция электронных учебных курсов

В чём преимущества такого решения:

- можно использовать индивидуально, при самоподготовке или самостоятельном изучении;
- аудиторно;
- при различных видах учебных занятий, с использованием Интернета, например при организации «Вебинаров».
- возможно использование отдельных фрагментов или частей продукта (при тренингах, тестировании, разработке опросных листов и контрольных заданий).
- организация дистанционного обучения, причем с возможностью автоматизированного зачёта выполненных учебных заданий.
- конечно, это и ставший уже стандартным набор «облачных сервисов», таких как аутсорсинг, масштабирование и эластичность.

Есть и ещё одно интересное свойство. Можно предположить, что однотипные ЭУК будут располагаться на одном облачном ресурсе. Статистика посещений будет фактически отражать рейтинг однотипных ЭУК. А это, если относиться серьезно к качеству учебного процесса, уже **рынок образовательных услуг (рынок ЭУК)** и возможность **управления качеством ЭУК**.

1. Смолин, О.Н. Электронное обучение и стратегия образования для всех. 9-я Международная конференция «Современные технологии обучения в компаниях и учебных учреждениях». / Москва. Экспоцентр, 5.06.2012.
2. Мега-ЦОДы — пионеры инноваций. - Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/182104/ – Дата доступа: 04/06/2013 15:41
3. Рогальский Е.С. Использование электронных учебников в системе управления учебным процессом / Столичное образование сегодня №1/2008, Мн.: «Адукацыя і выхаванне», – с.127, С.113-118
4. Рогальский Е.С. Глава 3 Роль электронного обучения в формировании современного образовательного пространства. Инновационные технологии в образовании: монография / Г.В.Яковлева, С.А.Павлова, Е.С.Рогальский [и др.]; под общ. ред. Н.В. Лалетина; Сибирский федеральный университет; Красноярский государственный педагогический университет им.В.П.Астафьева, - Красноярск: ООО «Центр информации», ЦНИ «Монография», 2013. – 248 с., С.159-181.

УДК 328.23:001.895

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ В ЕАЭС

Серченя Т.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

К созданию единого инновационного пространства государства, подписавшие 29 мая 2014 года в Астане договор о создании на базе Таможенного союза ЕврАзЭС Евразийского экономического союза (ЕАЭС), подходят с разной степенью готовности.

Европейский опыт доказывает, что наиболее действенным инструментом решения проблем

совместного видения новых рыночных возможностей и потребностей, мобилизации инновационных усилий государств внутри различного рода интеграционных объединений с целью повышения конкурентоспособности экономики этих государств и обеспечения устойчивого экономического роста выступают технологические платформы. При этом тенденцией последних лет в европейской практике является использование технологических платформ для развития сетевого взаимодействия внутри кластеров, построенных как инновационные сети (Австрия, Швейцария), инновационные системы (Канада, Испания, Великобритания, Германия), цепочки создания добавленных стоимостей (Нидерланды, Норвегия) с разнообразными учреждениями, такими как университеты, исследовательские институты, венчурные компании и фонды, технологические брокеры и консультанты, органы государственной власти [1].

Что касается государств начинающего действовать с 1 января 2015 года Евразийского экономического союза, формирование кластерных инициатив и развитие института технологических платформ осуществлялось последовательно, но в каждом государстве – в разной хронологической последовательности. Следует отметить, что на законодательном уровне формирование и функционирование как инновационных кластеров, так и технологических платформ оформлено лишь в Российской Федерации. В Казахстане действует Концепция формирования перспективных национальных кластеров Республики Казахстан на период до 2020 года, а в Беларуси – Концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров (была принята 16 января 2014 г.). Правовые аспекты создания и развития института технологических платформ не прописаны в законодательстве обозначенных государств.

Первопроходцем в развитии кластерных инициатив является Республика Казахстан. Принятая в 2005 году Государственная стратегия территориального развития определила кластерный подход к экономической диверсификации. Наиболее успешным примером межрегионального кластера является создание производства автомобилей в Восточно-Казахстанской области. Это масштабный проект с объемом инвестиций 400 миллионов долларов и проектной мощностью в 5,7 миллиардов долларов.

Однако практическая реализация данной кластерной политики выявила проблему недостаточной готовности бизнеса (крупного, среднего и малого) воспринимать кластерные модели, ориентированные на мягкий характер управления и самоорганизацию (по примеру США и стран ЕС), отсутствие мотивов у компаний к кооперации и локализации, дефицит бизнес- и инженерных компетенций.

В настоящее время в Республике Казахстан реализуется Концепция формирования перспективных национальных кластеров Республики Казахстан на период до 2020 года, утв. постановлением Правительства Республики Казахстан от 11 октября 2013 года № 1092. В качестве потенциальных кластеров определены: 1) кластеры технологий добычи и переработки нефти и газа; 2) кластеры металлургии; 3) кластеры машиностроения; 4) кластеры химической промышленности; 5) туристические кластеры; 6) кластеры легкой промышленности; 7) кластеры агропромышленного комплекса; 8) транспортно-логистический кластер; 9) кластеры альтернативной энергетики.

В Беларуси впервые о создании инновационно-промышленных кластеров было заявлено в Программе инновационного развития Республики Беларусь на 2011– 2015гг., предусматривающей создание химического кластера в Гродно, нефтехимического – в Новополоцке, агромашиностроительного – в Гомеле, автотракторостроительного – в Минске, химико-текстильного – в Могилеве, ИТ – в Минске.

На момент утверждения Концепции формирования и развития инновационно-промышленных кластеров успешность реализации кластерной модели развития в Республике Беларусь продемонстрировала ИТ-индустрия (на базе научно-технологической ассоциации «Инфопарк» и Парка высоких технологий). 24 резидента Парка высоких технологий являются участниками научно-технологической ассоциации «Инфопарк». Исполнительный аппарат ассоциации выступает де-факто центром кластерного развития, а совет этой ассоциации выполняет функции совета участников кластера.

В Российской Федерации законодательная и практическая реализация кластерной политики и института технологических платформы не совпадают во временном интервале. «Концепция развития кластерной политики в Российской Федерации» была разработана Министерством экономического развития Российской Федерации в 2007 г., а в марте 2009 г. этим же ведомством были определены «Методические рекомендации по реализации кластерной политики в Российской Федерации». Однако кластеров, в том числе и инновационных, в данный временной период создано не было: все усилия были сконцентрированы на реализации проекта инновационного города «Сколково». Реально кластеры начали формироваться с 2012 года, когда по результатам конкурса проектов, проводимого Министерством экономического развития Российской Федерации, были отобраны 25 инновационных кластеров, 14 из которых получили право на государ-

ственную субсидию. Однако программы их развития, в большинстве своем, не учитывают, что по формируемым направлениям развития уже есть действующие технологические платформы, которые начали формироваться с 2010 года, когда решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям был утвержден «Порядок формирования перечня технологических платформ». Опыт уже существующих и успешно функционирующих технологических платформ может оказать существенное влияние на эффективность реализации кластерной инициативы. Особенно это характерно для кластеров второй группы, по которым не планируется предоставление субсидий из федерального бюджета на первом этапе: в программах развития 6 из 11 кластеров этой группы не предусматривается сотрудничество с технологическими платформами.

На наш взгляд, наиболее перспективным с организационной точки зрения является кластер «Физтех XXI» (г. Долгопрудный, г. Химки Московская область), созданный на базе Московского физико-технического института (МФТИ). Основные направления развития кластера – Информационные, телекоммуникационные и космические технологии; Фармацевтика и биомедицина; Энергоэффективность, новые материалы и оборудование – были определены, исходя из существующих заделов МФТИ и его партнеров. Также МФТИ является одним из трех координаторов технологической платформы «Технологии мехатроники, встраиваемых систем управления, радиочастотной идентификации и роботостроение», через которую выстаивается научно-технологическая кооперация с такими компаниями, как ОАО «АвтоВАЗ», ОАО «СИТРОНИКС», ОАО «Энергия» имени С.П. Королева», компания ZELAX, ОАО «РТ-машиностроения», ОАО «НИИМЭ и Микрон», ОАО «Авангард», ООО «РСТ-Инвент», ОАО «Российские космические системы» к и др. [1]

Таким образом, успешные технологические платформы способствуют развитию инновационных кластеров. Кластеры, в свою очередь, способствуют вхождению малых инновационных фирм, а также финансовых структур в технологические платформы. Поэтому единого мнения относительно первичности создания технологических платформ и кластеров не существует. В любом случае, и технологические платформы, и кластеры выступают действенным инструментом преодоления разрыва между исследователями, выполняющими функцию разработки новых технологий, и потребностями рынка – основной проблемы всех государств ЕАЭС.

Схожесть экономической ситуации и подходов к регулированию экономики делает целесообразным присоединение белорусских и казахстанских организаций к уже существующим площадкам и платформам, тем более что сформированные в Российской Федерации технологические платформы соответствуют приоритетным направлениям научно-технического и инновационного развития Беларуси и Казахстана. С целью проработки возможности присоединения к российским технологическим платформам заинтересованных организаций Республики Беларусь и Республики Казахстана начиная с 26 февраля 2013 года проводятся заседания рабочей подгруппы по евразийским промышленным технологическим платформам Евразийской экономической комиссии, где в режиме видеоконференции происходит ознакомление с деятельностью российских технологических платформ. Интегрированность в российские технологические платформы позволит белорусской и казахстанской сторонам участвовать в реализации высокотехнологичных инновационных проектов, имеющих перспективы на внутреннем и внешних рынках.

1. Дежина, И. Г. Технологические платформы и инновационные кластеры: вместе или порознь? / Дежина И.Г. – М.: Издательство Института Гайдара, 2013. – 124 с.

УДК 334.7

ОСОБЕННОСТИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Серченя Т.И., Филипп К.Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В последние годы в Республики Беларусь особое внимание уделяется развитию инновационных процессов. В мировой практике наиболее перспективной формой их развития являются инновационно-промышленные кластеры. Данный подход зарекомендовал себя как эффективный способ управления инновационной деятельностью. Участники инновационно-промышленного кластера обеспечивают и осуществляют инновационную деятельность, направленную на разработку и производство инновационной и высокотехнологичной продукции. Кластер может стать наиболее успешным проектом развития инноваций, способствующих повышению уровня конкурентоспособности национальной экономики.

Главной особенностью кластера является координация его участников, привлечение различных отраслей экономики, в связи с необходимостью высокой взаимодополняемостью их. К основным организациям, входящих в состав кластера можно отнести:

- предприятия (малые инновационные, средние, крупные), основные направления, деятельности которых связаны с той отраслью или сферой, в которой функционирует кластер;
- предприятия, которые оказывают услуги для основообразующих кластер предприятий;
- научные организации (научно-исследовательские институты, учреждения высшего, профессионально-технического образования), которые занимаются разработкой и исследованием новых идей;
- индивидуальные предприниматели либо их объединения:
- предприятия, оказывающие вспомогательные функции для основных участников кластера (кредитование, страхование, обеспечение недвижимостью, сервисное обслуживание);
- технопарк для координации всех процессов внутри кластера и управления ими, поиска новых контрагентов, а также для оказания консультационно-информационных, маркетинговых и иных функций.

В Республике Беларусь разработана концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров. Однако существует ряд преимуществ и ряд недостатков в развитии данного подхода на территории Республики Беларусь.

Преимуществами создания кластеров являются: увеличение конкурентоспособности, как внутри кластера, так и за его пределами, связанной с увеличением производственных мощностей, привлечением (созданием) новейших технологий, ведущих к более высокой степени организации, сокращению затрат, способствующих уменьшению себестоимости выпускаемой продукции, что позволяет кластеру и его участникам работать более эффективно; высокая степень инновационности, связанная с кооперацией и с международным разделением труда, за счет взаимодополняемости компаний, состоящих в кластере; возрастание инвестиционной привлекательности; расширение малых предприятий; повышение квалификации работников, за счет предоставления обучения и ознакомления с опытом участников; доступность и владение информации в таких областях, как маркетинг, а именно о текущих потребностях потребителей, емкости рынка, его сегментации; Рост инвестиционной привлекательности; увеличение экспорта конкурентных товаров и услуг, освоение новых рыночных ниш.

Недостатками развития кластеров являются: отсутствие нормативно-правовой базы, регламентирующей кластерные отношения, а также содержащей ряд основных вопросов, связанных с инвестированием и распределением прибыли; низкий уровень квалификации специалистов в области создания и функционирования кластеров (данная проблема связана с отсутствием учреждений подготавливающих специалистов в этой сфере); уменьшения конкурентоспособности коммерческих организаций, не входящих в кластер.

На наш взгляд, для устранения недостатков и увеличения преимущественных качеств необходимо провести определенные мероприятия со стороны государства. В первую очередь разработать и усовершенствовать соответствующую нормативно-правовую базу. Другим важным направлением является создание системы государственной поддержки кластерных проектов, через такие механизмы как предоставление налоговых льгот или субсидирование. Создание органа, деятельностью которого стало бы управление кластерными проектами, проведения анализа возможного взаимодействия отраслей экономики наиболее подходящими для преобразования в кластер, консультирование и помощь в создании заинтересованных субъектов. Существенным аспектом является популяризация кластерного подхода.

Исходя из проделанной работы можно сделать выводы о том, что кластеризация в Республике Беларусь может привести к увеличению инновационных процессов, ведущих к увеличению конкурентоспособности, прибыли кластеризованных компаний, что в дальнейшем приведет к росту экспорта и экономическому росту в целом.

УДК 330.88

ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

Степаненко В.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в Республике Беларусь происходит переход к инновационному типу развития, формирование новой стратегии социально-экономического развития, в первую очередь, за счет инновационной и инвестиционной деятельности. Данное явление является след-

ствием потребности ускоренного роста национальной экономики Республики Беларусь. Дефицит природных ресурсов не позволяет обеспечить ее экстенсивное развитие, поэтому естественной альтернативой остается интенсивный путь развития на базе инновационных технологий. Проблемы инновационной политики и стратегии ее планирования все чаще обсуждаются как в научной среде, так и широкой общественностью. В связи с этим особое значение для Беларуси приобретает разработка концептуальных основ и подходов к формированию системы научно-технологического развития как важнейшего фактора экономического роста в условиях трансформационного общества. Для обеспечения эффективного экономического роста на уровне предприятия и решения важнейших стратегических задач развития в условиях трансформации экономики необходимо разрабатывать стратегии инновационного развития.

Стратегия инновационного развития предприятия представляет собой общий план действия по выработке направлений функционирования и развития предприятия, определению перспектив его инновационной деятельности, расстановки приоритетов реализации инновационных проектов, выделению путей совершенствования инновационных процессов.

Целью стратегического инновационного развития предприятия является постепенное и целенаправленное изменение структуры производства, усиление инновационного потенциала предприятия, развитие перспективных направлений его деятельности. Для снижения риска инновационной деятельности предприятию необходимо, в первую очередь, провести комплекную оценку предлагаемого к осуществлению инновационно-инвестиционного проекта. Оценка эффективности инновационных проектов еще не является залогом успешной его реализации на конкретном предприятии. Можно выделить следующие принципиальные положения выбора наилучшего варианта реализации инновационно-инвестиционного проекта:

- из всех потенциально возможных отбираются варианты, каждый из которых удовлетворял бы всем заранее заданным ограничениям: социальным нормативам и стандартам, экологическим требованиям, срокам реализации и т.д.;
- по каждому из выбранных вариантов с учетом динамики определяются затраты, результаты и экономический эффект;
- лучшим признается вариант, у которого величина экономического эффекта максимальна, либо минимальны затраты на его достижение при аналогичных результатах.

Однако, инновационный проект, эффективный для одного предприятия, может оказаться неэффективным для другого в силу объективных и субъективных причин, таких, как территориальная расположенность предприятия, уровень компетентности персонала, состояние основных фондов и т. п. Поскольку на каждом конкретном предприятии существуют свои факторы, оказывающие влияние на эффективность инновационных проектов, то универсальной системы опенки проектов нет, но ряд факторов имеет отношение к большинству инновационных предприятий. Необходимо принятие мер по активизации инновационно-инвестиционных процессов на предприятиях реального сектора экономики. Если рассматривать инновационную деятельность как реализацию совокупности инвестиционных проектов по внедрению инноваций на принципах эффективного вложения инвестиций, то формирование эффективного механизма реализации инновационно-инвестиционных проектов на предприятиях позволит значительно упростить и ускорить процесс практического внедрения инновационных проектов, повысить эффективность их исполнения, что, в конечном итоге, будет способствовать значительному повышению конкурентоспособности продукции и производительности труда, интенсификации экономического роста, высокую приспосабливаемость предприятия к изменяющимся условиям среды.

В этой связи представляется актуальным проведение комплексного исследования направлений развития и формирования современных механизмов регулирования реализации инновационно-инвестиционных проектов, а также выработке инструментов, обеспечивающих активизацию реализации проектов на предприятиях.

УДК 388.45

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ В СФЕРЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Третьякова Е.С.[1], Третьяков-Савич Е.С.[1], Тришина С.Л.[2]
[1]Белорусский национальный технический университет
[2]Белорусский государственный экономический университет
Минск, Республика Беларусь

На современном этапе развития экономики обеспечение стабильной работы предприятий по выпуску конкурентоспособной продукции является задачей первостепенной важности. Текущий

этап развития нашей страны отличается динамизмом и качественными изменениями во всех сферах жизни. В период перехода народного хозяйства страны к социально-ориентированной рыночной экономике, функционирование предприятий практически невозможно без эффективных коммуникаций с потребителями, которые стали ключевыми факторами успеха любой организации.

Проблемы определения коммуникационных стратегий являются весьма актуальными для любого предприятия, особенно для предприятий, функционирующих в сфере приборостроения. Отечественный рынок товаров находится в процессе постоянного видоизменения. Коммуникационные стратегии имеют большой потенциал и могут изменяться в соответствии с изменениями экономической среды.

Необходимо также отметить, что коммуникационная политика должна быть тесно связана с общей стратегией предприятия и основными инструментами маркетинга.

Процесс становления рыночных отношений вызывает необходимость переориентации производства и реализации произведенной продукции на удовлетворение нужд и запросов конечных потребителей. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о том, что действенным инструментом решения этой задачи является применение эффективной коммуникационной политики. Использование предприятием коммуникационных инструментов при любой степени насыщенности рынка способно скорректировать поведение хозяйствующих субъектов, посредников и потребителей в направлении повышения эффективности конечных результатов его деятельности.

Коммуникационная политика в системе маркетинга — это действия предприятия, направленные на планирование и осуществление взаимодействия фирмы со всеми субъектами маркетинговой системы на основе использования комплекса средств коммуникаций, обеспечивающих стабильное и эффективное формирование спроса и продвижения товаров и услуг на рынки с целью удовлетворения потребностей покупателей и получения прибыли.

Коммуникационная стратегия предприятия – это комплексное воздействие компании на внутреннюю и внешнюю среду с целью создания благоприятных условий для стабильной прибыльной деятельности на рынке. Коммуникационная стратегия предприятия является двусторонним процессом: с одной стороны, предполагается воздействие на целевые либо иные аудитории, а с другой, получение встречной информации о реакции этих аудиторий на осуществляемое фирмой воздействие. Обе эти составляющие одинаково важны; их единство дает основание говорить о коммуникационной стратегии предприятия как о системе.

Коммуникационные маркетинговые стратегии предприятий разрабатываются как для успешного продвижения на рынке уже существующего товара или услуги, так и для выхода на новые рынки или выходы нового товара или услуги.

Разработка коммуникационной стратегии осуществляется исходя из актуальных потребностей рынка с учётом предпочтений целевой аудитории. Главная цель разработки коммуникационной стратегии – управление взаимодействием потребителя и бренда, формирование эффективного и предсказуемого общения потребителя с брендом, совершенствование бренда, согласно мнению потребителя, запросов времени и рынка. В процессе разработки коммуникационной стратегии анализируются стоящие задачи, формируются сообщения и определяются основные элементы, посредством которых будет происходить эффективная передача сообщений представителям целевых аудиторий.

Коммуникации возникают на стыке интересов как ответ на взаимные потребности. Коммуникационная политика – это совокупность действий и мероприятий по установлению, поддержанию и развитию связей с потребителями. Медийная реклама, спонсорская и благотворительная деятельность, реклама в местах продаж, промо-мероприятия, публичные выступления сотрудников, презентационные материалы, подарки и сувениры, пресс-релизы, веб-сайт – все это элементы коммуникационной политики. Коммуникационная стратегия — широкомасштабная и долгосрочная программа достижения главнейших коммуникационных целей фирмы в рамках ее маркетинговой стратегии. Ее основная задача – обеспечение информационной поддержки стратегии развития бизнеса компании.

В процессе разработки коммуникационной стратегии анализируются существующий образ компании, стоящие перед ней стратегические задачи, определяются основные информационные медиа-каналы, посредством которых будет происходить передача обращения к целевой аудитории, разрабатывается комплекс коммуникационных программ и pr-проектов через которые будет формироваться образ компании и ее первых лиц в информационном пространстве.

Стратегическое планирование коммуникационной политики предприятия базируется на следующих составляющих: корпоративная стратегия (позиционирование бизнеса, постановка стратегической цели и задач, знание специализации, возможностей предприятия); маркетинговая стратегия (разработка продукта, приобретение и удержание потребительской аудитории).

Цель коммуникационной политики предприя-

тия заключается в создании конкурентных преимуществ, которые состоят из производственных (потенциальных) и потребительских (конкурентных позиций) преимуществ. Производственные аспекты коммуникации зависят от работы с внутренней средой предприятия (персонал, менеджмент), организационной культуры предприятия, методов информирования работников и внутренней системы мотивации. Политика взаимодействия во внешней среде влияет в основном на создание долгосрочных потребительских отношений предприятия и клиентов.

Таким образом, аспекты совершенствования коммуникационной политики в современных условиях хозяйствования становятся очень перспективной областью. Используя эти возможности, можно обеспечить стабильный рост прибыли предприятий и занять достойное место в международной сфере экономических отношений.

1. Шарков, Ф.И. Коммуникационная политика предприятий / Ф.И. Шарков. Гродно: ГрГУ, 2012. – 195с.

УДК 658

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АУТСОРСИНГОВЫХ УСЛУГ

Цвирко М.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Необходимой составляющей деятельности любого предприятия является концентрация основного внимания руководства на повышении конкурентоспособности продукции. Для достижения поставленной цели организации, как малые инновационные, крупные, так и учреждения высшего образования, технопарки, могут объединяться в кластеры. В свою очередь для выполнения отдельных функций организации могут использовать аутсорсинг. Это позволит создать благоприятную среду для разработки и внедрения инновационных технологий, продуктов, услуг с минимальными затратами, а также возможностью эффективного взаимодействия между собой участников кластера, обмена опытом и знаниями. Это позволяет привлекать ресурсы, опыт и технологии внешнего исполнителя для получения положительных результатов, приводящих к повышению эффективности деятельности.

В Республике Беларусь приоритетными направлениями развития является концентрация основного внимания на развитии национальной инновационной системы, что предусматривает проведение субъектами хозяйствования Республики Беларусь эффективной инновационной и инвестиционной политики. В государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы предусмотрено формирование в Республике Беларусь нового кластера в области нано-, биотехнологий и фармацевтической промышленности посредством создания научно-технологического парка, имеющего статус и правовой режим, аналогичный Парку высоких технологий [1]. В мировой практики процесс создания кластеров широко используется и зарекомендовал себя как эффективный способ управления инновационной деятельностью. Одним из самых известных примеров функционирования кластера является "Силиконовая долина", расположенная на территории США. М. Портер дает следующее определение кластера (промышленной группы) – это группа географически соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определенной сфере, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга [2, с. 258].

Таким образом, в кластер входят предприятия с целью получения уникальных конкурентных преимуществ для определенного региона. К основным организациям, входящих в состав кластера можно отнести:

- предприятия (малые инновационные, средние, крупные);
- предприятия, которые оказывают услуги для основообразующих кластер организаций;
- научные организации (научно-исследовательские институты, учреждения высшего, профессионально-технического образования), которые занимаются разработкой и исследованием новых идей;
- индивидуальные предприниматели либо их объединения:
- предприятия, оказывающие вспомогательные функции для основных участников кластера (кредитование, страхование, обеспечение недвижимостью, сервисное обслуживание);
- технопарк для координации всех процессов внутри кластера и управления ими, поиска новых контрагентов, а также для оказания консультационно-информационных, маркетинговых и иных функций.

Таким образом, в состав кластера входят предприятия и иные организации, объединенные общностью интересов и возможностью оказания услуг другим, но свободно-конкурирующие друг с другом. Определяющей целью для создания кластеров является активизации инновационной деятельности.

Организации, входящие в кластер могут передать различные функции на аутсорсинг для оптимизации управления деятельностью, и получения дополнительной прибыли. Например, подразделение университета - научно-исследовательская лаборатория разработала инновационный продукт. Университет не имеет дополнительных ресурсов для создания нового производства, проведения дополнительных маркетинговых, в том числе рекламных функций, коммерциализации данного инновационного продукта, проведения всех организационных и консультационных мероприятий, связанных с особенностями данного продукта. Поэтому экономически целесообразно будет передать, например, производство инновационной продукции, выход на рынки сбыта и непосредственно коммерциализацию на аутсорсинг малому инновационному предприятию, входящему в данный кластер, а решение координационных проблем, осуществление маркетинговых функций в зависимости от местоположения, специализации отрасли, особенностей инновационного продукта, осуществление консультационных функций для малого инновационного предприятия передать также на аутсорсинг научно- технологическому парку. На данный момент одной из существенных проблем для предприятий является вопрос определения оптимального распределения ресурсов при получении максимальной прибыли, а также дополнительных конкурентных преимуществ[3].

Целесообразность передачи на аутсорсинг отдельных функций или их части обусловлена следующими факторами[4]:

- сложность производственного процесса либо его переустройства под инновационный продукт;
- появление новых конкурентоспособных предприятий;
- необходимость оптимизации ресурсов предприятия;
- возрастание требований к производимым продуктам или услугам.

Таким образом, аутсорсинг предполагает привлечение внешней стороны для реализации существующих или новых инновационных процессов. Это приводит к использованию накопленных знаний, опыта и ресурсов предприятия (наукоемкие технологии, ИТ-решения), оказывающего аутсорсинговые услуги, что позволяет оптимизировать затраты на реализацию бизнес-процесса. Каждое предприятие самостоятельно принимает решение о необходимости применения аутсорсинга. Возможна передача только части бизнес-процесса сторонней организации на аутсорсинг либо отдельных функций, либо передача всего бизнес-процесса. Важным аспектом является то, что организация, оказывающая услуги аутсорсинга берет на себя также ответственность за результат. Конечной целью использования аутсорсинга каждое предприятие ставит увеличение объемов реализации, увеличении прибыли, сокращение затрат, выход на новые рынки сбыта (возможно и международные). Аутсорсинг способствует снижению затрат на производство продукции и оказание услуг, что приводит к уменьшению цены конечного продукта, соответственно применение аутсорсинга положительно сказывается на развитии предприятия. Обращение к аутсорсеру должно быть направлено на удовлетворение потребностей конечных потребителей, улучшение ценовых и качественных характеристик товара либо услуги, возможность провести реструктуризацию деятельности для наиболее эффективной работы, а также возможности обеспечения конкурентоспособности как отдельных товаров, так и организации вцелом на отечественном и мировом рынке. При передаче на аутсорсинг некоторого процесса необходимо осуществлять своевременный контроль, а тщательная разработка целей, деталей и задач может гарантировать получение серьезных конкурентных преимуществ.

Чтобы аутсорсер выполнил свою работу качественно, необходимо следующее[5]:

- аутсорсер должен быть признанным специалистом в данной сфере;
- необходимо уделить внимание местоположению центров обслуживания и обращению с персоналом;
- клиент должен высоко цениться предприятием;
- у аутсорсера должен быть стимул к постоянному совершенствованию.

На сегодняшний день в мировой практике возможна передача функций на аутсорсинг практически во всех областях, то есть в зависимости от области деятельности, специфики производства, целей организации существует большое количество разновидностей аутсорсинга бизнес-процессов. Наибольшее распространение получил аутсорсинг в области информационных технологий – ИТ-аутсорсинг. На ИТ-аутсорсинг может быть передана разработка или аренда программного обеспечения, обслуживание информационных систем предприятия, хостинг сайта предприятия.

1. О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 26 мая 2011 г. № 669 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2014.

2. Портер, М. Конкуренция: пер. с англ. / М. Портер. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2005. – 608 с.
3. Дж. Брайан Хейвуд Аутсорсинг. В поисках конкурентных преимуществ. М.: Вильямс 2004. – 176 с.
4. Михайлов, Д.М. Аутсорсинг. Новая система организации бизнеса: учебное пособие / Д.М. Михайлов. – М.: КНОРУС, 2006. – 256 с.
5. Филина, Ф.Н. Аутсорсинг бизнес-процессов. Проблемы и решения. – М.: ГроссМедиа, 2008 – 84 с.

УДК 51

СОВРЕМЕННОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Шелег Н.С., Яковлева Е.Н.
Белорусский государственный экономический университет
Минск, Республика Беларусь

Мир телекоммуникационных технологий меняется прямо у нас на глазах. Наглядный пример переход от традиционной "канальной" телефонии к платформе IMS, все преимущество которой уже успели оценить многоие пользователи на территории Республики Беларусь.

Менее заметные и понятные, обществу в целом или каждому конечному потребителю, переход к более современному протоколу передачи данных Ipv6. Такая необходимость связана с нарастающим дефицитом IPv4-адресов. Это преобразование входит в перечень приоритетных направлений дальнейшего развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в Республике Беларусь.

Снова и снова встает вопрос о распределении ролей в экосистеме управления сетью Интернет. Эти и многие другие вопросы рассматриваются и обсуждаются на международных форумах, анализируются в докладах и описываются в отчетах. В частности на Встрече на высоком уровне по вопросам информационного общества (ВВУИО) 2014 были названы приоритетные направления дальнейшего развития ИКТ в нашей стране:

1) сохранение национальной идентичности, культурного наследия, национальных языков и развитие местного контента;

2) совершенствование управления правами интеллектуальной собственности;

3) необходимость выработки общепризнанной устойчивой модели управления сетью интернет с участием всех заинтересованных сторон;

4) важным технологическим условием дальнейшего развития операторов передачи данных и поставщиков контента является поэтапный переход к протоколу IPv6. (1)

К сожалению далеко не всем понятны эти изменения и преимущества от их внедрения. И не только самые обычные пользователи, но и те, кто мог бы извлекать огромную выгоду от получения о ибработки огромных массивов данных и информации.

Вицепрезидент Европейской комиссии Neelie Kroes называет информацию «новой нефтью», говоря о том, что она является топливом для инноваций, стимулирования и развития компаний [1].

Количество пользователей ИКТ растет все быстрее. Согласно докладу Международного Союза электросвязи (МСЭ) "Измерение информационного общества" за 2013 год всем мире темпы развертывания и внедрения ИКТ продолжали расти. Согласно оценкам МСЭ, к концу 2013 года будет насчитываться 6,8 млрд. контрактов на подвижную сотовую связь – почти столько же, сколько и людей на планете; и примерно 2,7 млрд. человек в мире будут пользоваться интернетом. Но это все же означает, что 4,4 млрд. человек еще не подключены к сети. (2)

По-прежнему остаются те, кто хотел бы использовать все преимущества современного телекоммуникационнного общества, но не имеет такой возможности, в силу различных причин.

Во всем мире наиболее активными пользователями ИКТ является молодежь. В докладе МСЭ за 2013 год впервые была разработана модель для оценки числа "цифровых аборигенов" – молодых людей с большим опытом использования ИКТ, которые являются движущей силой в информационном обществе. Хотя в настоящее время 30 процентов молодого населения являются "цифровыми аборигенами", в отчете показано, что в ближайшие пять лет, как ожидается, численность "цифровых аборигенов" в развивающемся мире удвоится. (1)

Несмотря на стабильный рост, количества домашних хозяйств, имеющих доступ в интернет, во всех регионах мира, по-прежнему существуют большие различия между развитыми и развивающимися странами.

В связи со всем вышеизложенным для наилучшей интеграции в мировое сообщество и успешной деятельности в области ИКТ наиболее важным представляется следующее:

- повышение "телекоммуникационной грамотности" населения, а именно инвестиции в человеческий капитал;

- усиление международной и региональной координацию по вопросу перехода к новому протоколу передачи данных;
- обмен опытом и оказание технической экспертной помощи развивающимся странам;
- рост развертывания широкополосной связи и беспроводных широкополосных услуг, наряду с падением цен, с целью стимулирования роста доступа в интернет в домашних хозяйствах.

1. Нахли, Ф.ВВУИО-2014: работа на перспективу / Нахли Ф. // Вестник связи. – №4 (126). – 2014.
2. The Global Information Technology Report 2014. Rewards and Risks of Big Data. http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalInformationTechnology_Report_2014.pdf
3. Measuring the Information Society 2013, ITU. http://www.mpt.gov.by/File/mis_report_2013.pdf

УДК 658.5

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Ясюченя О.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В сложившихся условиях выход экономики республики и благосостояния общества в целом на траекторию устойчивого роста возможен только на основе концентрации научно-технического потенциала в направлениях формирования инновационного технологического уклада и кардинального улучшения качества государственного регулирования. Решение задач формирования экономики инновационного типа ставит особые задачи перед приборостроением как одной из базовых отраслей национальной экономики, развитие которой обеспечивает технологический прогресс. В связи с этим одной из главных задач менеджмента отечественных приборостроительных предприятий независимо от их масштаба становится эффективное управление производственными процессами, организация производства, стремящегося к непрерывному инновационному процессу, использующему прогрессивные технологии производства изделий.

Современное предприятие способно сохранять и повышать свою конкурентоспособность посредством предложения на рынке уникальной продукции по своим свойствам и характеристике. Однако анализ текущего состояния отечественных предприятий приборостроения свидетельствует о снижении научного и технического потенциала, а, следовательно, об отсутствии предпосылок для повышения эффективности их деятельности.

Бизнес-среду Беларуси формируют в основном малые и средние предприятия. Предприятия приборостроительного комплекса требуют специальных усилий по оптимизации своего развития, содействию выходу на межрегиональные и международные рынки, формированию заказа для подготовки кадров, информационной и консультационной поддержки.

Особенностью малых предприятий в приборостроении является специализация на изготовлении комплектующих изделий для крупных компаний-заказчиков, которые, как правило, осуществляют поточное сборочное производство наукоёмкой продукции. В этом сегменте рынка конкуренция постоянно усиливается, ужесточаются требования к предприятиям-поставщикам. Одним из наиболее эффективных средств повышения конкурентоспособности малых приборостроительных предприятий является внедрение и сертификация систем менеджмента качества, организованных в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО 9001:2009 «Система менеджмента качества. Требования».

Наличие у малого приборостроительного предприятия системы менеджмента качества обеспечивает ему целый комплекс конкурентных преимуществ [1]:

– повышение шансов на победу при участии в тендерах, конкурсах, а также при заключении как внутренних, так и внешних контрактов;

– повышение эффективности производства, снижение его непроизводительных затрат;

– возможность сотрудничать в совместных работах и проектах с иностранными организациями;

– переход на другой уровень осуществления предпринимательской деятельности;

– формирование общественного мнения о стабильном и прочном положении предприятия на рынке;

– повышение качества производимой продукции, услуг и эффективности производства, снижения его непроизводительных затрат;

– увеличение доверия со стороны инвестиционных, страховых, юридических и других компаний;

– увеличение объёма сбыта продукции;

– совершенствование управляемости предприятия.

Для крупных компаний сотрудничество с малыми предприятиями с целью организации поставок комплектующих изделий и полуфабрика-

тов весьма выгодно, как так себестоимость продукции и скорость её разработки на малых предприятиях часто оказывается выше данных показателей крупных приборостроительных заводов. Кроме того, малые предприятия наиболее обильны в области внедрения новейших методов организации производства и основных элементов системы менеджмента качества.

Данное обстоятельство делает проблему внедрения систем менеджмента качества актуальной для малых предприятий в сфере приборостроения. При этом одной из существенных проблем внедрения систем менеджмента качества на малых предприятиях является подход к организации информационного обеспечения системы, под которым понимается комплекс документации, несущей информацию о структуре и направленности системы менеджмента качества малого предприятия в приборостроении [2].

Для малых предприятий характерны особые проблемы при внедрении систем качества. Основными из них являются:

1. Ограниченные материальные ресурсы, имеющиеся в распоряжении предприятия. Малые предприятия, как правило, имеют небольшие производственные помещения, немногочисленный персонал, ограниченные финансовые возможности. Эта проблема является одной из самых важных при решении вопросов о разработке системы менеджмента качества и поддержании её в рабочем состоянии.

2. Трудности в понимании и применении стандартов ввиду отсутствия специалистов по управлению качеством. Малые предприятия имеют немногочисленный персонал, отличаются непосредственными служебными отношениями между сотрудниками, широким кругом задач для каждого сотрудника и практикой принятия управленческих решений ограниченным кругом лиц или одним лицом. Коллектив малого предприятия, как правило, более сплочённый, часто связан неформальными узами, в большей степени мотивирован для успеха. При небольшом числе работающих ощущается меньшая потребность в документах (отсутствие документации можно наблюдать на ряде малых предприятий). Эти особенности создают трудности понимания необходимости документирования процессов производства, разработки документированных процедур и стандартов организации в соответствии требованиями международного стандарта ИСО 9001. Эта проблема разработки системы менеджмента качества на малом предприятии является одной из самых сложных и неоднозначных: с одной стороны, документация системы должна быть достаточной, чтобы соответствовать требованиям ИСО 9001, с другой стороны, документация должна быть очень краткой, так как только такую документацию сотрудники малого предприятия воспримут с чувством её необходимости и будут использовать, а не игнорировать, ссылаясь на трудности с пониманием. Однако, для разработки достаточной, краткой и понятной документации системы менеджмента качества нужны опытные специалисты, а их на малом предприятии нет, так как оно не может выделить отдельную штатную единицу для решения проблем качества. Также разработка документации системы менеджмента качества консалтинговыми организациями требует значительных расходов.

3. Внедрение и поддержание системы менеджмента качества. Модель системы менеджмента качества, разработанная на малых предприятиях, должна быть простой, лаконичной, понятной и мобильной. Упрощенная структурная схема предприятия предполагает более детальную осведомленность высшего руководства обо всех процессах функционирования фирмы. Следовательно, риск потери информации – меньше. Соответственно, часто отпадает необходимость в дополнительном документировании различных процессов и процедур, а также в дополнительном фиксировании информации.

Таким образом, предприятия должны непрерывно анализировать и улучшать свою систему менеджмента качества для того, чтобы она обеспечивала совершенствование самой организации. Система менеджмента качества может быть применена ко всем без исключения аспектам в управлении маркетингом, реализацией продукции, финансами и конечно, непосредственно в процессе производства продукции или предоставления услуг.

1. Попов, А.В. Теория организации управления / А.В. Попов.– М.: Бек, 2005. – 312 с.
2. Кабаков, Ю.В. Построение системы менеджмента организации / Ю.В. Кабаков // Стандарты и качество. 2006. – № 4. – С. 70-75.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ 7-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2014». Ректор Белорусского национального технического университета *Б.М. Хрусталев*…… 3

ПРИВЕТСТВИЕ УЧАСТНИКАМ 7-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2014». Председатель государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь *В.В. Назаренко*…… 4

Жагора Н.А., Коломиец Т.А., Найдёнова В.И. **РАЗВИТИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНИКИ БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ. 20 ЛЕТ В СИСТЕМЕ АККРЕДИТАЦИИ**…… 5

Чижик С.А. **ЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В НАНОДИАГНОСТИКЕ**……. 7

Шкадаревич А.П., Горбаченя Н.К., Татур М.М. **ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СТАНЦИЯ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ БОЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ**……. 8

Баев А.Р., Майоров А.Л., Асадчая М.В. **НОВЫЕ МЕТОДЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ СО СЛОИСТОЙ И НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ**…… 10

Гусев О.К., Жарин А.Л., Петлицкий А.Н., Пилипенко В.А., Турцевич А.С., Тявловский А.К. **ЗОНДОВЫЕ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН**…….. 12

Сотский Н.Б. **МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АДАПТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРЕНАЖЕРОВ К ФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ ОСОБЕННОСТЯМ СПОРТСМЕНОВ** ……. 14

СЕКЦИЯ 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ

Alavi Seyed Enayatallah, Naderan-Tahan Marjan, Aminian Mohamad **PARALLEL IPRIALIST COMPETITIVE ALGORITHM: A METHOD FOR GLOBAL OPTIMIZATION**…… 16

Gilavdary I., Mekid S., Riznookaya N. **STABILITY CONDITIONS IN THE QUASI-STATIC MODE OF A DIFFERENTIAL-CAPACITIVE INSTRUMENT** …… 17

Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И **РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМИ СБРОСАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В КОНТЕКСТЕ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КРУПНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ** …….. 20

Алексеев В.А., Юран С.И., Перминов А.С. **ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФ С ИМПУЛЬСНЫМ ИСТОЧНИКОМ ИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**…… 22

Анищик В.М., Углов В.В., Русальский Д.П., Сыщенко А.Ф. **УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ПОКРЫТИЙ «СКРЕТЧ-ТЕСТЕР»** …….. 24

Антошин А.А., Василевский А.Г., Олефир Г.И. **ПРИНЦИП РАБОТЫ МУЛЬТИКРИТЕРИАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА** ……. 26

Артемьев В.М., Наумов А.О., Кохан Л.Л. **АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ** ……. 28

Артюхина Н.К., Костусев А.В., Нарчук А.Е. **МОДЕРНИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО БЛОКА ДЛЯ АЭРОДРОМНОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ** ……. 30

Беляев Б.И., Голубев Ю.В., Казак А.А., Пасенюк А.А., Сосенко В.А. **БОРТОВАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ** ……. 31

Блынский В.И., Лемешевская А.М., Голуб Е.С. **КРЕМНИЕВЫЙ ФОТОДИОД С ПРОФИЛИРОВАННЫМ N-I-P ПЕРЕХОДОМ ДЛЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ** …. 33

Бокуть Л.В., Деев Н.А. **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА СКРЕМБЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛЬНЫХ ОХРАННО-ПОЖАРНЫХ СИСТЕМ**……. 35

Борисенко М.В. **АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МОДУЛЯ МОБИЛЬНОЙ ВЕРСИИ КОМПЛЕКСА БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ «БИОСПАС»…… 37

Бранцевич П.Ю., Костюк С.Ф., Базылев Е.Н., Базаревский В.Э. **АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ …. 39

Бумай Ю.А., Доманевский Д.С., Куклицкая А.Г., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И. **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЫЛИ И САЖИ НА СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И НАГРЕВ СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЕЙ …… 41

Бусько В.Н., Власов Г.Г. **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБРАЗЦЕ СЛОЖНОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ……. 43

Васаренко И.В., Максимук Ю.В., Сыщенко А.Ф., Дубовик И.Г., Фесько В.В. **БОМБОВЫЙ ИЗОПЕРИБОЛИЧЕСКИЙ КАЛОРИМЕТР БИК 100 – СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТВЕРДЫХ, ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ …… 44

Васильев Н.С., Морозов А.Н. **АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ, ИСКАЖЁННЫХ ОШИБКАМИ ИЗМЕРЕНИЯ ……. 46

Виленчиц Б.Б., Попов В.К. **ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ СТАЛИ …… 48

Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Шаронов Г.В. **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АЭРОДИНАМИКИ АВТОПОЕЗДОВ ……. 50

Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Петлицкий А.Н., Пилипенко В.А., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И. **АЛГОРИТМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСИ ЖЕЛЕЗА В КРЕМНИИ…… 52

Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Петлицкий А.Н., Пилипенко В.А., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И. **ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН СКАН-2013 …… 54

Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Петлицкий А.Н., Пилипенко В.А., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И. **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ЗАРЯДА НА ЛОВУШКАХ В СТРУКТУРЕ КРЕМНИЙ-ДИЭЛЕКТРИК СРЕДСТВАМИ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ …… 56

Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Мухуров Н.И., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И., Дубаневич А.В. **МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РВЭ…….. 58

Воробей Р.И., Гусев О.К. , Жуковский П.В., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И., Яржембицкая Н.В. **ФОТОПРИЕМНИКИ С БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА БАЗЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСЯМИ…… 60

Воробей Р.И., Гусев О.К., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И., Шумский А.Э., Колтунович Т.Н. **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПРИБОРА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА БАЗЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ДАТЧИКА…….. 64

Гончаренко И.А., Иваницкий А.Г., Рябцев В.Н. **ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ… 66

Горохов А.В. **РАСЧЕТ ОБЛАСТИ ДОСТИЖИМОСТИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА …….. 67

Гулис И.М., Купреев А.Г. **МАЛОАБЕРРАЦИОННЫЙ МОНОХРОМАТОР ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВЫЧИТАНИЕМ ДИСПЕРСИИ ……. 69

Гусев О.К., Жарин А.Л., Цедик Л.В., Тявловский А.К., Свистун А.И., Дубаневич А.В. **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ IN VIVO…… 71

Данильчик А.В., Длугунович В.А., Ждановский В.А., Крейдич А.В., Липлянин А.А., Луценко Е.В., Никоненко С.В., Ржеуцкий М.В. **КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОРАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ И СВЕТОДИОДОВ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ ОТ 250 ДО 900 НМ …….. 73

Дворников О.В., Дятлов В.Л., Чеховский В.А. **КОНФИГУРИРУЕМАЯ АНАЛОГОВАЯ МИКРОСХЕМА НА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ …….. 75

Девятов Н.А., Алексеев В.А. **ДИНАМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ**……. *77*

Дьячкова П.Д. **УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ**…… *79*

Зуйков И.Е., Исаев А.В., Кривицкий П.Г., Кузьмицкая С.М. **БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ПЛАТФОРМОЙ ASP-4**…….. *81*

Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М. **ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЕ-ТОК НА РЕГУЛИРУЕМЫХ СТАБИЛИТРОНАХ**…… *83*

Лашко Е.В., Булах Б.В. **СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ** ……. *85*

Левихин А.А., Лескович Э.О., Савва Р.И. **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ ВТР** …… *87*

Левко И.А. **ПРОБЛЕМЫ КОНФИГУРИРОВАНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ RFID** ……. *88*

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В., Бруек А.А. **АНАЛИЗАТОР ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**……. *90*

Лисенков Б.Н., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Грицев Н.В. **ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМ НАХОДЯЩИХСЯ В УДАЛЕННОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ**……. *92*

Медведев Н.В., Чичварин Н.В. **СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ**…… *94*

Мельгуй М.А. **ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТНЫЙ АНАЛИЗАТОР МНОГОПАРАМЕТРОВЫЙ ИМАМ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**…… *95*

Мисюкевич Н.С. **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ, ОПОВЕЩЕНИЯ О ПОЖАРЕ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ**……. *97*

Муравьёв В.В., Наумович Н.М., Кореневског С.А., Стануль А.А. **СИНТЕЗАТОР С МАЛЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ УРОВНЕЙ ПОБОЧНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ И ШАГА СЕТКИ ЧАСТОТ** …….. *99*

Невдах В.В., Антошин А.А., Зуйков И.Е. **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В КОРИДОРЕ ЗДАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ** ……. *101*

Несмиянов И.А., Токарев В.И., Захаров Е.Н. **СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНОГО АГРЕГАТА**……. *104*

Белый И.В., Кучинский П.В., Новик А.Н., Тамашевич С.Г. **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ АЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ БЛОКОВ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ** …….. *106*

Катковский Л.В., Орлов Д.С., Есипович Д.Л., Казак А.А., Курикина Т.М. **МАКЕТ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ**……. *108*

Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Жарин А.Л. **ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СОПРЯЖЕНИЙ** ……. *110*

Конон Д.И., Петрович И.П., Шкадаревич А.П. **ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИЦЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЛЁГКОГО ВООРУЖЕНИЯ**…… *112*

Погребенник В.Д., Политыло Р.В., Александер М., Карпинский М.П. **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ** …… *113*

Подмастерьев А.К., Подмастерьев К.В. **ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ПРИРАБОТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**…… *115*

Поклонский Н.А., Сягло А.И., Шнитко В.Т., Ковалев А.И. **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ МИКРОВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕБОЛЬШИХ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ** …… *117*

Пономарев В.А., Пономарева О.В., Пономарев А.В. **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ В ДИСКРЕТНОМ БАЗИСЕ ФУРЬЕ** ……. *119*

Пономарева О.В. **МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ВРЕМЕННЫХ СПЕКТРОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ В ДИСКРЕТНОМ БАЗИСЕ ФУРЬЕ** …….. *122*

Пономарева О.В., Алексеев В.А., Пономарева Н.В. **СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЧАСТОТНЫХ СПЕКТРОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ В ДИСКРЕТНОМ БАЗИСЕ ФУРЬЕ** ……. *124*

Попечиц В.И. **РЕГИСТРИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕТОДА РАДИАЦИОННОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ** ……. *126*

Распопов В.Я. **БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ ДЛЯ ПИЛОТИРУЕМЫХ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**……. *128*

Рудик В.Ю., Терещенко Н.Ф., Тымчик Г.С. **АППАРАТ МАГНИТОТЕРАПИИ С КОНТРОЛЕМ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ** …… *129*

Русецкий М.С., Казючиц Н.М. **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРОВОДИМОСТИ НА БАЗЕ ИППП-1** …… *131*

Филиппова М.В., Матвиенко С.Н. **К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРМИСТОМЕТРИИ** ……. *133*

Чан Тай Чонг **ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕВЕРБЕРАЦИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДНА В ГИДРОЛОКАТОРЕ С СИНТЕЗОМ АПЕРТУРЫ АНТЕННЫ** ……. *135*

Лухвич А.А., Шарандо В.И., Шукевич А.К., Янушкевич К.И. **КОНТРОЛЬ ФЕРРОМАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ МАГНИТОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ...** *137*

Шаронов Г.В. **ШИРОКОАПЕРТУРНЫЙ УФ-ДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СИНТЕТИЧЕСКОГО АЛМАЗА** …… *139*

Романов И.А., Зайков В.А., Климович И.М. **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ ВАХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА В-422** …….. *141*

Воробей Р.И., Гусев О.К., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И., Шумский А.Э., Жуковский П.В. **КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ СРЕД** ……. *143*

СЕКЦИЯ 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Barkouskaya N. **STANDARDIZATION OF 3D PRINTING** …… *146*

Kupreeva G. **IDENTIFICATION OF RISKS, THEIR ANALYSIS AND EVALUATION** …… *148*

Reznikova M., Antoniuk V. **ELECTROMAGNETIC METHOD FOR THE DIAGNOSIS OF CHRONIC DISEASES** …….. *150*

Баковец Н.В, Скумс Д.В, Тарасова О.Б **МЕТОД ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦЫ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЛЮМЕНА** …….. *152*

Барковская Н.И., Кваша Ю.И. **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**…… *154*

Бирюк В.В., Серенков П.С. **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИНТЕГРАЦИИ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ В СИСТЕМУ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ**…….. *156*

Вертинский Ю.Ф., Волкенштейн С.С., Петухов И.Б., Хмыль А.А. **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ЧИП-КОНДЕНСАТОРОВ**..... *158*

Горбатюк О.О., Антонюк В.С., Петренко С.Ф. **ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ**…….. *160*

Григорьян К.И., Соломахо В.Л. **МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЕНСОРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**…… *162*

Длугунович В.А., Никоненко С.В., Савкова Е.Н., Демидович А.Г. **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**……. *164*

Длугунович В.А., Исаевич А.В., Никоненко С.В., Холенков А.В. **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОНА ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**……. *166*

Евсеенко Т.И., Телебук О.И., Гиль Н.Н. **ОЦЕНИВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ……** *168*

Кмита Н.Ю., Бужан И.А. **МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА СТАНДАРТА ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОГО КОНСЕНСУСА ……** *170*

Коломиец Т.А., Казакова Е. А., Говоровская А.Ю., Романюк Т.Г. **СОЗДАНИЕ ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ИНДУКТИВНОСТИ ……..** *172*

Кривонос П.В., Дикун Т.И., Крышнева А.М. **СОЗДАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ……** *174*

Купреева Л.В., Токаренко И.М., Щербина А.К. **КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕРНЕТ-САЙТА КАФЕДРЫ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ……** *177*

Ленкевич О.А., Мясило Ю.Н. **ОЦЕНКА РИСКОВ ПРОГРАММЫ АУДИТА СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ……** *179*

Лобко В.П., Галыго А.В., Гусинский А.В., Луферов А.Н., Певнева Н.А., Толочко Т.К. **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 300 МГЦ ДО 118,1 ГГЦ ……** *181*

Лысенко В.Г. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЬЮТЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ……..** *183*

Лысенко В. Г., Минченя В.Т. **МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ РОБОТОСТРОЕНИЯ……** *185*

Манкевич О.Д., Жагора Н.А. **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАСХОДОМЕРНОЙ УСТАНОВКИ INOTECH……..** *186*

Минько Д.В., Тимофеева Т.Л., Тимощук И.В. **РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ И ПРОВЕДЕНИЕ ВАЛИДАЦИИ ПРОЦЕССА УПАКОВКИ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ В БЛИСТЕРЫ……..** *188*

Новиков А.А., Воробей И.А. **ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ……** *190*

Размыслович Г.И., Брановицкий И.И. **МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ……..** *192*

Рапопорт А.Л., Петрусенко П.А. **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АККРЕДИТАЦИИ ОРГАНОВ ПО ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ……** *194*

Романчак В.М., Серенков П.С., Кондратьева Н.А. **АПРИОРНАЯ И СУБЪЕКТИВНАЯ ШКАЛЫ ОЦЕНОК……** *196*

Русак И.И. **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ НА СТОЙКОСТЬ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВНЕШНИМ ФАКТОРАМ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ……..** *198*

Савич В.В., Шелухина А.И., Маркова Л.В., Макаренко М.В. **МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО- И МАКРОПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ПОРИСТЫХ ИМПЛАНТАТОВ ИЗ ПОРОШКОВ ТИТАНА……..** *200*

Савкова Е.Н., Гиль Н.Н., Демидович А.Г. **СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПОНЯТИЙ, СВЯЗАННЫХ С РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ЦВЕТОПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ……** *203*

Савкова Е.Н., Длугунович В.А., Никоненко С.В., Демидович А.Г. **АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КОПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИСТОЧНИКОВ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ……** *205*

Мохаммед Салем А.А., Мельникова Г.Б., Маханёк А.А., Чижик С.А. **НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА В РЕЖИМЕ СТАТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ……..** *207*

Серенков П.С., Павлов К.А., Краснова М.А. **ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ПРИЧИН НЕСООТВЕТСТВИЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СОБЫТИЯ……..** *209*

Серенков П.С., Ромбальская О.И. **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ, ГАРМОНИЗИРОВАННОЙ С БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ КОМПАНИИ БЕЛАРУСЬ** *211*

Серенков П.С., Ромбальская О.И. **ПОЛНЫЙ ЦИКЛ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА КАК КРИТЕРИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СМК …… 213

Сернов С.П., Савкова Е.Н., Комиссарова К.В. **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ…….. 215

Соколовский С.С., Хмелевская А.А. **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАКТОВКИ РЕЗУЛЬТАТОВ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КООРДИНАТНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ……. 217

Соломахо В.Л., Соколовский С.С. **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МОСТОВ …** 219

Спесивцева Ю.Б., Белайчук А.Ф. **МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СМК…… 221

Спесивцева Ю.Б., Гуляко Е.Н., Токаренко И.М **МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОРМ ТОЧНОСТИ…….. 223

Хорлоогийн А.С., Дашкевич Е.А., Дашкевич Р.А. **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СИСТЕМ НЕОДНОРОДНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ……. 225

Цикман И.М., Беляев Ю.В., Попков А.П. **МЕТОДИКА РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «КАМЕЯ»……. 227

Цитович Б.В., Соколовский С.С. **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ОБРАБОТКИ НАРУЖНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ……. 229

СЕКЦИЯ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МАТЕМТИЧЕСКИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Loiko P.A., Serres J.M., Mateos X., Yumashev K.V., Kuleshov N.V., Petrov V., Griebner U., Aguilo M., Diaz F. **CW Tm:KLu(WO_4)$_2$ MICROCHIP LASER ……. 231

Ануфрик С.С., Володенков А.П., Зноско К.Ф. **МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАХ РТУТИ …… 233

Ануфрик С.С., Володенков А.П., Зноско К.Ф. **ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ XECL ЛАЗЕР С НЕУСТОЙЧИВЫМ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ …… 235

Арипова О.В., Степанов Ж.Р. **ЭТАПЫ ИТЕРАТИВНОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ 3D-ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА…….. 237

Артюхина Н.К., Батуро И.Н., Котов М.Н. **СВЕТОСИЛЬНЫЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ-ПЛАНАНАСТИГМАТ …… 239

Артюхина Н.К., Марчик В.А. **ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ И КАТАЛОГИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ…….. 240

Баев А.Р., Асадчая М.В., Коновалов Г.Е., Гиль Н.Н. **НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛН В УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ.. 242

Баев А.Р., Сергеева О.С., Асадчая М.В., Костюк Д.А. **ПОЛЕ ГОЛОВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ НАЛИЧИИ АКУСТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА……. 244

Баев А.Р., Сергеева О.С., Майоров А.Л., Парадинец В.В. **ОЦЕНКА ГЛУБИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ АМПЛИТУДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОЙ И ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ…… 246

Барандич Е.С., Выслоух С.П. **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ИХ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ…….. 248

Белогуров Е.А., Таратын И.А., Хатько В.В. **МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА С МЕМБРАНОЙ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ…… 250

Белячиц А.Ч., Титовицкий И.А., Сердюк В.М. **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОТНОСТИ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА .. 252

Бержанин Д.А. **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ…… 254

Бумай Ю.А., Бобученко Д.С., Доманевский Д.С., Манего С.А., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И. **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕПЛОВОЙ НАРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕТОДИОДОВ….** *256*

Босак Н.А. , Журавлева В.И., Короза А.Г., Маркевич М.И., Чапланов А.М., Щербакова Е.Н. **ЛАЗЕРНАЯ АБЛЯЦИЯ ГРАФИТА В ЭТАНОЛЕ …….** *258*

Бринкевич Д.И., Оджаев В.Б, Просолович В.С.), Янковский Ю.Н., Вабищевич С.А., Вабищевич Н.В., Черный В.В. **ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТРУКТУР ФОТОРЕЗИСТ ФП9120 – КРЕМНИЙ …….** *260*

Будай А.Г., Кныш В.П., Малый С.В., Рудницкий А.С. **ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ ЭКРАНЫ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ ПОЛОСКОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ ……..** *262*

Бумай Ю.А., Бобученко Д.С., Доманевский Д.С., Куклицкая А.Г., Манего С.А., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И. **ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЛИНЗ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ ……** *264*

Бумай Ю.А., Васьков О.С., Доманевский Д.С., Красовский В.В., Нисс В.С., Трофимов Ю.В., Рубаник В.В. **ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ ПОСЛЕ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ОБРАБОТОК ……** *266*

Буслюк В.В., Просолович В.С., Янковский Ю.Н., Русакевич Д.А., Черный В.В. **ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА……..** *268*

Выдумчик С.В., Гавриленко О.О., Ксенофонтов М.А., Павлюкевич Т.Г., Чупрынский С.А. **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ……** *270*

Гацкевич Е.И., Ивлев Г.Д., Малевич В.Л. **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ОТВЕРДЕВАНИЯ, ИНИЦИИРУЕМЫХ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ GeSi ВОЗДЕЙСТВИЕМ НАНОИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ……** *271*

Глазунов И.В.,Скопцов Н.А., Маляревич А.М., Юмашев К.В., Дымшиц О.С., Жилин А.А., Алексеева И.П., Шемчук Д.В. **СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОКЕРАМИКИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОКРИСТАЛЛЫ Co^{2+}:Ga_2O_3 ……** *273*

Горбаченя К.Н., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Мальцев В.В., Леонюк Н.И., Кулешов Н.В. **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ Er,Yb:$YAl_3(BO_3)_4$ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ ЭРБИЯ ……** *274*

Грабцевич Е.В., Иллиев С.Ы., Минченя В.Т. **УСТРОЙСТВО ДЛЯ УДЕРЖАНИЯ ЭНДОПРОТЕЗА КЛАПАНА ……..** *277*

Гусакова Н.В., Демеш М.П., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С., Ивашко А.М. **ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО КРИСТАЛЛА Er^{3+}:$NaBi(MoO_4)_2$ ……** *278*

Гусакова О.В., Шепелевич В.Г. **МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ ТРОЙНОЙ ЭВТЕКТИКИ СИСТЕМЫ Sn – Bi – Pb ……..** *280*

Гусакова С.В., Шепелевич В.Г., Летко С.В. **МИКРОСТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫСТРО ЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА Bi-9 ат. % Sb-1,2 ат. % Sn ……** *282*

Демеш М.П., Гусакова Н.В., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С., Ивашко А.М. **КАЛИБРОВКА ФУНКЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ УСТАНОВКИ ……..** *284*

Демеш М.П., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Руденков А.С., Гусакова Н.В., Ивашко А.М. **Nd^{3+}:$KG(WO_4)_2$ ЛАЗЕР С ВКР ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ В РЕЖИМЕ ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ ……..** *286*

Дернович О.П., Лойко П.А., Юмашев К.В., Рачковская Г.Е., Захаревич Г.Б. **СТЕКЛОКЕРАМИКА С НАНОКРИСТАЛАМИ Er:PbF_2 ДЛЯ ЛЮМИНОФОРОВ ЖЕЛТО-ЗЕЛЕНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА ……..** *288*

Дудчик Ю.И., Ванг Т. , Му Б. **МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ ПРЕЛОМЛЯЮЩАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ ЛИНЗА ДЛЯ ФОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 18 КЭВ ……** *290*

Дяденко М.В., Левицкий И.А., Папко Л.Ф. **СТЕКЛА ДЛЯ ЖЕСТКОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА** *291*

Дятлова Е.М., Попов Р.Ю., Климош Ю.А, Сергиевич О.А. **КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАОЛИНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ …** *293*

Есьман Г.А., Монич С.Г. **МЕДИЦИНСКОЕ ОРТОПЕДИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ТРАКЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЗВОНОЧНИК ЧЕЛОВЕКА ……** *295*

Журавок А.А., Сернов С.П. **ОЦЕНКА ТРЕБОВАНИЙ К ВЕЛИЧИНЕ СВЕТОВОГО ПОТОКА СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ……** *298*

Зайков В.А., Комаров Ф.Ф., Бурмаков А.П., Климович, И.М., Кулешов В.Н., Людчик О.Р. **МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ БИНАРНЫХ НИТРИДОВ Ti-Al-N РЕАКТИВНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ С ОПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ……..** *300*

Зайцева Е.Г., Михайловский В.В., Ткачев Д.А **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «УМНАЯ КУХНЯ» ……..** *302*

Змитрович Т.В., Захлебаева А.И., Горох Г.Г., Таратын И.А., Хатько В.В. **БИОСЕНСОР СО ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ НАНОПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ ……..** *304*

Ивашко А.М., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С, Кулешов Н.В., Демеш М.П., Руденков А.С., Гусакова Н.В. **НЕПРЕРЫВНЫЙ Yb:YAG ЛАЗЕР ДЛЯ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ШИРОКОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ДИАПАЗОНЕ БЕЗ ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ……** *306*

Киселев М.Г., Габец В.Л. Богдан П.С. **К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РЕЗКИ МАТЕРИАЛОВ ПРОВОЛОКОЙ С ПОВЕРХНОСТЬЮ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЕЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ……..** *308*

Киселев М.Г., Габец В.Л. **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ВДАВЛИВАНИЯ ИНДЕНТОРА В ШАРЖИРУЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ……** *310*

Киселев М.Г., Габец В.Л., Есьман Г.А., Шарков Д.Р. **СТЕНД ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ……** *311*

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г. **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИМПЛАНТАТОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЕЕ ШЕРОХОВАТОСТИ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ……** *313*

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Ямная Д.А. **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУМЕРНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАГОТОВКИ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕЕ РАСПИЛИВАНИЯ И КАЧЕСТВО ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ……** *315*

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Ямная Д.А. **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И РАСПИЛИВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЕЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ДВИЖЕНИИ ……** *317*

Князев М.А. **К ПРОБЛЕМЕ ИНТЕГРИРУЕМОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ ……..** *319*

Князев М.А. **ПОСТРОЕНИЕ РЕШЕНИЯ В ВИДЕ ОДИНОЧНЫХ ВОЛН В МОДЕЛИ КАНАХИЛЛИАРДА ……** *321*

Ковальчук А.В., Константинов С.В. **СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА БАЗЕ TI-N В СОСТАВЕ ПОВЕРХНОСТНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НА СТАЛИ ……** *323*

Козерук А.С., Кузнечик В.О., Шамкалович В.И., Лаптева Е.О., Василевич А.В. **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОДНОВРЕМЕННОЙ ДВУСТОРОННЕЙ ОБРАБОТКИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЕНИСКОВ ……** *325*

Козерук А.С., Филонова М.И., Лаптева Е.О., Шлык В.А. **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ……..** *327*

Колаша С.С., Фёдорцев Р.В. **ИЗДЕЛИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ……** *329*

Кузнецова Т.А., Ширяева Т.И., Чижик С.А., Кравчук А.С., Мищак А., Фриц М., Чабан А. **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИНЖЕКТОРА НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕМ ……..** *331*

Курильчик С.В., Кулешов Н.В., Зенькевич Э.И. **МИКРОПАРАМЕТРЫ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ МЕЖДУ ПРИМЕСНЫМИ ИОНАМИ В КРИСТАЛЛЕ $Tm,Ho:KY(WO_4)_2$ ……** *333*

Лабунь Е.И., Киселев М.Г. **ПРОВЕДЕНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ СООБЩЕНИИ ЭЛЕКТРОДУ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ РАЗЛИЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ……** *335*

Лапига А.С., Выслоух С.П. **МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ …… 336**

Лаппо А.И., Ланин В.Л. **МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНФРАКРАСНОЙ ПАЙКОЙ ПОВЕРХНОСТНО МОНТИРУЕМЫХ КОМПОНЕНТОВ …….. 338**

Литвинова А.О. **ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМА, ЗАПОЛНЕННЫХ ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЕВРОПИЯ И ТЕРБИЯ ……. 340**

Литвинович Г.В. **ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОДБОРУ МАТЕРИАЛА И УСЛОВИЙ АНОДИРОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ОСНОВАНИЙ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ АНОДНОГО Al_2O_3 ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ …….. 342**

Лойко П.А., Романов А.Н., Дымшиц О.С., Трусов Л.А., Втюрина Д.Н., Корчак В.Н., Скопцов Н.А., Юмашев К.В. **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ШИРОКОПОЛОСНОЙ ИК-ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ: СТЕКЛОКЕРАМИКА С НАНОКРИСТАЛЛАМИ Ni^{2+}:$ZnAl_2O_4$ И КРИСТАЛЛЫ Bi^{2+}:$CsCdCl_3$ 344**

Луговой В.П., Волк Н.М., Луговая И.С. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ШАРИКОВ ……. 346**

Луговой И.В., Луговая И.С. **ОСОБЕННОСТИ УКРАШЕНИЙ ИЗ НЕДРАГОЦЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ …… 347**

Манего С.А., Бумай Ю.А., Бобученко Д.С., Трофимов Ю.В. **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ…….. 350**

Маркевич М.И., Чапланов А.М., Щербакова Е.Н. **ИМПУЛЬСНАЯ ФОТОННАЯ ОБРАБОТКА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛИЦИДОВ ПЛАТИНЫ ДЛЯ СБИС …… 352**

Минченя В.Т., Савченко А.Л., Минченя Н.Т., Минченя А.В. **ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМООБРАБОТАННОЙ НИТИНОЛОВОЙ ПРОВОЛОКИ ……. 354**

Нисс В.С., Васьков О.С., Турцевич А.С., Рубцевич И.И., Соловьев Я.А., Керенцев А.Ф., Кононенко В.К. **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ …….. 356**

Оджаев В.Б., Челядинский А.Р., Садовский П.К., Турцевич А.С. **СОЗДАНИЕ ВЫСОКОСОВЕРШЕННЫХ И ВЫСОКОЧИСТЫХ СТРУКТУР КРЕМНИЯ ……. 358**

Развин Ю.В., Потачиц В.А. **АПЕРТУРНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ LC-МОДУЛЯТОРА В РЕЖИМЕ ПЛАНАРНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ …… 360**

Реутская О.Г., Таратын И.А., Хатько В.В. **РАЗРАБОТКА ДВУХСЕНСОРНОЙ ГАЗОВОЙ МИКРОСИСТЕМЫ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ 362**

Роговцов Н.Н. **ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ВТОРОГО РОДА И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ОПТИКИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД …….. 364**

Руденков А.С., Кисель В.Э., Демеш М.П., Гусакова Н. В., Ивашко А.М., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В. **РАЗРАБОТКА ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА, ИЗЛУЧАЮЩЕГО В ОБЛАСТИ ДЛИН ВОЛН ОКОЛО 1 МКМ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСА МЕНЕЕ 100 ФС ……. 366**

Рябцева А.Н., Фёдорцев Р.В., Сагаймаруф Г. **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ АКТИВНЫМИ СРЕДАМИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛОВ ……. 368**

Савченко А.Л., Минченя В.Т., Минченя Н.Т. **КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ ПРОВОЛОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ ЗАГОТОВОК ……. 370**

Сандомирский С.Г. **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ НАМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ СТРУКТУРЫ ИЗДЕЛИЙ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА……. 372**

Свирина Л.П. **НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЛАЗЕРАХ С АНИЗОТРОПНЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ ….. 374**

Сернов С.П., Балохонов Д.В., Журавок А.А. **АДАПТИВНЫЙ ЗАДНИЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ФОНАРЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА …….. 376**

Сернов С.П., Балохонов Д.В., Колонтаева Т.В., Журавок А. А. **РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ …….. 377**

Сидоренко А.В., Мулярчик К.С., Ходасевич А. И., Солодухо Н.А. **СЕНСОРНЫЕ СЕТИ НА ОСНОВЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ** …… *379*

Скопцов Н.А., Глазунов И.В., Маляревич А.М., Юмашев К.В., Дымшиц О.С., Жилин А.А., Алексеева И.П., Шемчук Д.В. **НОВАЯ ПРОСВЕТЛЯЮЩАЯСЯ СРЕДА НА ОСНОВЕ СТЕКЛОКЕРАМИКИ С НАНОКРИСТАЛЛАМИ Co^{2+}:ZnO ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ ЛАЗЕРОВ** …… *381*

Скопцов Н.А., Маляревич А.М., Дымшиц О.С., Юмашев К.В. **СТРУКТУРНЫЕ И АБСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОКРИСТАЛЛЫ НИОБАТОВ ИТТЕРБИЯ** …….. *383*

Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В. **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА В ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ С МАТРИЧНЫМИ ПРИЁМНИКАМИ** ……. *385*

Счастный А.С., Осипов А.А. **КОНТРОЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПО ГРАДИЕНТУ ПОЛЯ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ** ……. *387*

Сычик В.А., Стромская М.С., Уласюк Н.Н. **ГЕТЕРОПЕРЕХОДНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**…….. *389*

Сычик В.А., Стромская М.С., Уласюк Н.Н. **ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ** …… *391*

Телеш Е.В. **ФОРМИРОВАНИЕ ПЛЕНОК ОКСИНИТРИДА КРЕМНИЯ РЕАКТИВНЫМ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ КВАРЦА** …….. *392*

Телеш Е.В., Титова В.М. **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАНЕСЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ** …… *394*

Ушакова А.А., Бондарик В.М. **МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕМОСТАЗА НА ОСНОВЕ ФАЗОВЫХ ПРОФИЛЕЙ** …… *396*

Шарифова С.Э., Левихин А.А. , Кузьмин А.М. **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ КАФЕДРЫ «ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ» БГТУ «ВОЕНМЕХ» ИМЕНИ Д.Ф. УСТИНОВА ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА** *398*

Щетникович К.Г., Ковалевич К.О. **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГРУБОГО И ТОНКОГО ШЛИФОВАНИЯ СТЕКЛЯННЫХ ШАРИКОВ** …….. *400*

Щетникович К.Г., Пазыко С.В. **ОБРАБОТКА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ ПРЯМОЛИНЕЙНО ПЕРЕМЕЩАЮЩИМСЯ ИНСТРУМЕНТОМ** …….. *401*

Якубовская С.В., Корбит А.А., Денисман В.Г., Сечко Т.Н. **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИАБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ (SiO_2–TiO_2) ДЛЯ ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН** ……. *403*

Сопряков В.И., Комлева И.А. **ЭЛЕКТРОПОЛЕВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ГЛУБОКИХ ЦЕНТРОВ В КРЕМНИИ** ……. *405*

СЕКЦИЯ 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ И ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Акунец В.П. **ОСОБЕННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ** …… *408*

Барановский С.И., Рыхлицкая А.В. **ФОРМИРОВАНИЕ МАРКЕТИНГО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ** ……. *410*

Беляцкая Т.Н. **ТЕХНОСОЦИАЛЬНАЯ СРЕДА ЭЛЕКТРОННОЙ ЭКОНОМИКИ** …… *411*

Гундина М.А. **РАЗВИТИЕ ТВОРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА СТУДЕНТОВ НА ЗАНЯТИЯХ МАТЕМАТИКОЙ И ИНФОРМАТИКОЙ** ……. *413*

Гурина Е.В., Приходько Е.В. **ПРЕИМУЩЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ ИННОВАЦИОННЫХ КЛАСТЕРОВ** …….. *415*

Гурко А.И. **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ, ЕГО СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ** ……. *416*

Демченко М.А., Филиппова М.В. **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ……** *418*

Енин Ю.И., Аносов В.М. **ПОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРОТНЫХ СРЕДСТВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ ……** *420*

Журавлев В.А. **УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ ……** *423*

Журба Я.А. **ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВ И МАЛЫЙ БИЗНЕС В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ …..** *424*

Журкевич М.В., Алексеев Ю.Г. **СОЗДАНИЕ НОВЫХ МОДЕЛЕЙ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ……..** *425*

Иванцов П.И. **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА В ФОРМИРОВАНИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МАЛОГО БИЗНЕСА…….** *427*

Казачинская Е.А. **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ……** *429*

Калинин А.Ю. **СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ……** *431*

Ковель С.Г., Халло Г.В., Герасимчик М.С. **ФИЗИЧЕСКАЯ КУЛЬТУРА КАК ФАКТОР УКРЕПЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ……..** *433*

Козелков О.А. **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА……** *435*

Кондратьева Н.А., Мелешко А.Н. **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ АБИТУРИЕНТОВ И СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ ПСФ БНТУ……** *437*

Лобачева Н.С., Вороно К.И. **ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИЕЙ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ……** *439*

Людчик О.Р., Зайков В.А., Вишневская Е.В., Михей В.Н. **НАУЧНО-УЧЕБНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРА С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ……..** *439*

Ляхевич А.Г. **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ПРАВОВОЙ ЗАЩИЩЁННОСТИ ИННОВАЦИЙ В РАМКАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ……** *441*

Макарская М.М., Венгурова Е.В. **ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ТРАНСГРАНИЧНОГО ВЕНЧУРНОГО ИНВЕСТИРОВАНИЯ ……** *443*

Манулик Н.П. **ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО И ОРГАНИЗАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ……** *445*

Манулик Н.П., Корсикова Ю.В. **ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ МОЛОДЕЖИ……..** *446*

Манулик Н.П., Леваневич А.Ю. **ЛОГИСТИКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ……** *447*

Мелюшин П.В., Казачинская Е.А. **ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ЗАПИСЕЙ ……** *448*

Минько М.В. **ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ……** *450*

Подобед Н.А. **МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ……** *452*

Прихач Н.К., Прусова И.В. **ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕХОДА К ИННОВАЦИОННОМУ ТИПУ ОБУЧЕНИЯ В ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «МАТЕМАТИКА» ……..** *454*

Разумов И.А. **КЛЮЧЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ И ДРУГИХ СТРАНАХ СНГ……** *456*

Рогальский Е.С. **ОБОБЩЁННАЯ МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ……** *458*

Рогальский Е.С. **ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ……..** *460*

Серченя Т.И. **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ В ЕАЭС ……..** *462*

Серченя Т.И. Филипп К.Д. **ОСОБЕННОСТИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ…** *464*

Степаненко В.И. **ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕАЛЬНОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ…….. *465*

Третьякова Е.С., Третьяков-Савич Е.С., Тришина С.Л. **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОММУНИКАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ ПРЕДПРИЯТИЙ В СФЕРЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ……. *466*

Цвирко М.В. **НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АУТСОРСИНГОВЫХ УСЛУГ……. *468*

Шелег Н.С., Яковлева Е.Н. **СОВРЕМЕННОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ……. *470*

Ясюченя О.В. **ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ……. *471*

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2014

Материалы
7-й Международной научно-технической конференции

19–21 ноября 2014 года
Минск, Республика Беларусь

Ответственный за выпуск *Р. И. Воробей*
Оформление и компьютерная верстка *Н. Н. Ризноокой*
Подписано в печать 05.11.2014. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 56,38. Уч.-изд. л. 22,04. Тираж 160. Заказ 929.
Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.