

**MINISTRY OF EDUCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS
STATE COMMITTEE ON STANDARDIZATION OF THE REPUBLIC
OF BELARUS
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS**

BELARUSIAN NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY

BELARUSIAN STATE INSTITUTE OF METROLOGY

**INSTITUTE OF APPLIED PHYSICS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF BELARUS**

INSTRUMENTATION ENGINEERING-2016

**Proceedings
of the 9th International Scientific and Technical Conference**

November 23–25, 2016
Minsk, Republic of Belarus

**Minsk
BNTU
2016**

**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-2016

**Материалы
9-й Международной научно-технической конференции**

23–25 ноября 2016 года
Минск, Республика Беларусь

**Минск
БНТУ
2016**

УДК 681.2(063)
ББК 34.9я431
П75

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор О.К. Гусев (председатель);
канд. экон. наук, доцент Е.В. Гурина; д-р техн. наук, доцент Н.А. Жагора;
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, В.В. Машко; чл.-корр. 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.-корр. 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, канд. техн. наук, доцент А.К. Тявловский (отв. секретарь)

Рецензенты:

д-р тех. наук, доцент Н.И. Мухуров;
д-р тех. наук, проф. Л.М. Лыньков

Издание включает материалы 9-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2016» 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.

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 681

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**Шкадаревич А.П., Петрович И.П., Рудиков С.И.***НТЦ «ЛЭМТ»**Минск, Республика Беларусь*

Одной из впечатляющих тенденций XXI века является все более широкое применение роботизированных систем как военного, так и гражданского назначения. Так, сегодня беспилотные летательные комплексы (БПЛА) становятся незаменимыми во многих сферах человеческой деятельности (контроль границы, охрана окружающей среды, помощь в разрешении и ликвидации чрезвычайных ситуаций), и, конечно, в области военных технологий: разведка, управление высокоточным огнем и поражением целей, самостоятельное выполнение боевых задач.

Не менее актуальным является применение наземных робототехнических систем, например, для разминирования, работы в зоне повышенной радиации, в системах безопасности.

Постоянно растет число принятых на армейское снабжение автоматизированных боевых модулей на основе, как легкого, так и артиллерийского вооружения. Доказали высокую боевую эффективность боевые бронированные машины, способные работать без оператора. Не так давно DARPA (США) анонсировала начало работ по созданию беспилотного боевого самолета.

Одними из ключевых модулей робототехнических комплексов являются оптико-

электронные системы, на которые возлагаются следующие функции:

- круглосуточное и всепогодное обнаружение, распознавание и идентификация целей;
- автоматическое или ручное дистанционное слежение за целями;
- определение координат (в т.ч. географических) объектов;
- баллистические вычисления и управление огнем вооружения.

В данной работе рассматриваются разработки Научно-технического центра «ЛЭМТ» БелОМО в области оптоэлектронных систем для роботизированных комплексов различного назначения.

1. Оптико-электронные боевые модули «QUAD-1» и «QUAD-2»

Системы предназначены для автоматического круглосуточного и всепогодного обнаружения и слежения за целями, расчета их траектории, осуществления баллистических вычислений, управления огнем в т.ч. и по движущимся целям по принципу «выстрелил – забыл» в комплексах с четырьмя гранатометами, устанавливаемыми на земле либо на бронированных мобильных платформах



Оптико-электронные боевые модули «QUAD-1» (слева) и «QUAD-2» (справа)

Диапазон дистанций стрельбы	50 ÷ 700 м
Диапазон дистанции измерения дальности лазерным дальномером	50 ÷ 1 000 м
Поле зрения телевизионного (твс) и тепловизионного (тс) каналов	6x8°
Дальность распознавания тс объекта типа танк (δт ≥ 50 мк)	≥ 1 000 м
Угловая скорость наведения	0,05 ÷ 10 град/сек;
Точность наведения	1 мрад
Максимальная потребляемая мощность	300 Вт (кратковременно)
Диапазон рабочих температур	-30°C ÷ +50°C;

2. Прицел-дальномер для стрелкового оружия СПД-1 «Булат»

Прицел предназначен для осуществления прицельной стрельбы из переносного и стационарного стрелкового оружия: пулеметов типа ПКМН, ПКП, НСВ «Утес», снайперских винтовок ОСВ-96 и др. Прицел

имеет встроенный дальномер и осуществляет корректировку положения прицельной марки в зависимости от дистанции и других вводимых параметров. Система позволяет также осуществлять сопровождение движущихся объектов с введением бокового упреждения.



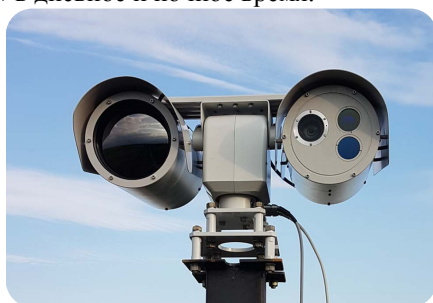
Прицел-дальномер СПД-1 «Булат» на крупнокалиберном пулемете НСВ «Утес»

Длина волны излучения лазерного дальномер	(905±30) нм
Диапазон измерения дальностей	от 50 до 2000 м
Абсолютная погрешность измерения дальности в диапазоне 50 – 2000 м, не более	±2 м
Видимое оптическое увеличение	6 ^x
Угловое поле зрения, не менее	5°
Габаритные размеры (без наглазника), не более	265x150x155 мм
Масса (без элементов питания), не более	3 кг

3. Наблюдательный оптико-электронный и радиолокационный комплекс контроля наземной обстановки (HVS)

Комплекс предназначен для контроля наземной обстановки и позволяет вести обнаружение и распознавание целей типа «человек, автомобиль, боевая машина (БМП, БТР, танк)» в дневное и ночное время.

Комплекс может использоваться для охраны границ и объектов и размещаться на стационарной платформе (мачте) или на автомобиле. При этом автоматизированное рабочее место оператора может размещаться удаленно в пункте наблюдения или в кабине автомобиля



Оптико-электронный модуль комплекса контроля наземной обстановки (слева) и его пользовательский интерфейс (справа)

Телевизионный канал		Лазерный дальномер	
Вид изображения	Цветное или черно-белое	Рабочая длина волны	905±20 нм
Дальность визуального обнаружения	Человек – 4 км Автомобиль, катер – 6 км	Измерение: дальность до цели размером 2,3х2,3 м по стандарту НАТО	От 50 до 5000 м
Оптическое увеличение	40х	Опорно-поворотная платформа	
Цифровое увеличение	12х	Угол поворота по горизонтали	Без ограничения
Горизонтальный угол зрения	От 60 до 1,6 град.	Угол поворота по вертикали	От плюс 45 до минус 90 град.
Режим «туман»	Есть	Скорость поворота по горизонтали	Не более 40 град./с
Тепловизионный канал		Напряжение питания	24 VDC
Спектральный диапазон	8..14 мкм	Интерфейс управления и передачи видео	Ethernet
Разрешение и тип сенсора	640х480 – неохлаждаемая матрица	Габаритные размеры	620 мм х 430 мм х 240 мм
Дальность визуального обнаружения	Человек – 4 км Автомобиль, катер – 6 км	Масса	Не более 25 кг

4. Гиростабилизированная оптико-электронная система для беспилотного летательного аппарата ГОЭС-1

Гиростабилизированная оптико-электронная система предназначена для установки на

беспилотном летательном аппарате и служит для круглосуточного наблюдения за местностью, поиска, обнаружения и сопровождения объектов и измерения дальностей до обнаруженных объектов.



Оптико-электронная система ГОЭС-1 (слева) и беспилотный летательный аппарат «ГРИФ» с установленной системой (справа)

Телевизионный канал	
Вид изображения	Цветное или черно-белое
Дальность визуального обнаружения	Человек – 3 км Автомобиль, катер – 5 км
Поле зрения	от 57,0°х 46,0° до 1,7°х 1,3°
Цифровое увеличение	12х
Выходной видеосигнал	PAL
Захват движущейся цели	есть
Тепловизионный канал	
Спектральный диапазон	8..12 мкм
Разрешение сенсора	640х480 (неохлаждаемая матрица)
Дальность визуального обнаружения	Человек – 2 км Автомобиль, катер – 3 км
Лазерный дальномер	
Рабочая длина волны	905±20 нм
Измерение дальность до цели размером 2,3х2,3м	От 50 до 3000м
Точность измерения дальности	±2 м

УДК 006.91.034(045)(476)

РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Гуревич В.Л.

Белорусский государственный институт метрологии

Минск, Республика Беларусь

Единство измерений - это такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в стране единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

В Республике Беларусь допущены к применению единицы величин Международной системы единиц (SI), принятой Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ), рекомендованные Международной организацией по законодательной метрологии (МОЗМ).

Обеспечение единства измерений требуется для получения достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в национальной экономике и торговле, в здравоохранении и экологии, в сфере обороны и безопасности, а также для защиты прав и законных интересов граждан, юридических лиц, индивидуальных пред-принимателей и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

К основным задачам в сфере обеспечения единства измерений следует отнести:

- принятие Концепции развития Государственной метрологической службы (ГМС);
- совершенствование нормативных правовых актов;
- пересмотр действующих ТНПА по метрологии;
- развитие национальной эталонной базы с доведением СМС-строк до 250;
- развитие системы межлабораторных сличений, в т. ч. в рамках ЕАЭС;
- развитие и оптимизация территориальной специализации ГМС (материальная база ЦСМС);
- создание Государственной информационной системы в области обеспечения единства измерений, включая ГМС;
- развитие международного сотрудничества (BIPM, МОЗМ, КООМЕТ, МГС).

Решая задачу вхождения Республики Беларусь полноправным членом в мировую систему измерений, необходимо создавать современные национальные эталоны, постоянно совершенствовать теоретические основы измерений, проводить фундаментальные исследования.

Проводимые работы по разработке и совершенствованию теоретических основ метрологии должны быть направлены:

- на совершенствование теории измерений по мере появления открытий и достижений в фундаментальных областях науки - физике, математике, химии, биологии;

- на совершенствование теоретических основ системы единиц величин и соответствующих эталонов для воспроизведения этих единиц;

- на проведение фундаментальных исследований и создание национальных эталонов на основе использования фундаментальных физических констант и стабильных природных эффектов;

- на разработку методов передачи размера единиц величин от эталонов рабочим средствам измерений наиболее экономичным, но технически правильным путем;

- на разработки в области теории погрешностей, в том числе теории случайных величин (погрешностей), методов выявления и исключения систематических погрешностей, способов обработки данных измерений;

- на разработки по теории неопределенности и методологии ее применения в практике измерений;

- на разработку теоретических основ отдельных областей измерений;

- на исследование и нормирование метрологических характеристик средств измерений.

Разработки новых принципов, методов и техники измерений должны быть направлены на:

- методы измерений на основании новых знаний о физических величинах и процессах, строении материи;

- современные методы измерений с использованием информационно-измерительных систем для обеспечения безопасности в технике и осуществления экологического мониторинга;

- методы и средства измерений параметров динамических процессов;

- методы испытаний и валидации программного обеспечения, которое реализует функции или свойства законодательно контролируемого средства измерений;

Создание и совершенствование научных основ обеспечения единства измерений включает:

- формирование идеологии, разработку и реализацию программ по созданию научно-обоснованной национальной эталонной базы;

- проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию

современного и высокоточного измерительного оборудования;

- создание автоматизированных и мобильных эталонных средств;

- установление научно обоснованных критериев оценки качественных и количественных показателей, разработку методики и технических средств для проведения испытаний и метрологической аттестации средств измерений.

Работы по обеспечению единства измерений в Республике Беларусь осуществляются на основе Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» и других нормативных документов.

Нормативная база системы обеспечения единства измерений представляет комплекс документов, включающих в себя постановления Совета Министров Республики Беларусь, Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, технические нормативные правовые акты (ТР, ТКП, ГОСТ, СТБ) и другие документы, определяющие порядок передачи размера единиц величин, порядок проведения испытаний, поверки и калибровки средств измерений и т.д.

Данное направление будет реализовано путем разработки новой редакции Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» (далее – Закон).

Необходимость внесения изменений в Закон вызвана вступлением в силу Договора о Евразийском экономическом союзе с целью реализации положений согласованной политики в области обеспечения единства измерений, гармонизации с документами Международной организации законодательной метрологии D1 «Основные положения для закона по метрологии», D2 «Юридическая квалификация средств измерений», D9 «Принципы метрологического надзора», D16 «Принципы обеспечения метрологического контроля», D18 «Использование сертифицированных стандартных образцов в областях, подвергаемых метрологическому контролю, осуществляемому национальными службами законодательной метрологии. Основные принципы» и др. Этим обусловлена необходимость пересмотра целого ряда организационно-правовых форм осуществления деятельности по обеспечению единства измерений. Кроме того, актуальной является задача дальнейшего совершенствования законодательства в области обеспечения единства измерений путем устранения имеющихся в нем пробелов и приведения его в соответствие с законодательными актами последнего периода.

Это касается правового регулирования сферы обеспечения единства измерений, в том числе:

- государственного управления и координации деятельности по обеспечению единства измерений в стране;

- создания и хранения эталонов единиц величин Республики Беларусь, реализации системы передачи размеров единиц величин рабочим средствам измерений, а также сличений национальных эталонов с эталонами Международного бюро мер и весов и национальными эталонами других стран под эгидой Международного комитета мер и весов (МКМВ);

- изготовления, использования, продажи и импорта средств измерений, стандартных образцов, технических устройств с измерительными функциями;

- осуществления государственного надзора за соблюдением метрологических правил и норм (государственного метро-логического надзора).

Потребуется гармонизация используемой терминологической системы с международным и региональными документами.

Предполагается введение новых структурных элементов (статей):

1) Метрологическая прослеживаемость измерений для документально подтвержденного установления связи свойства эталона единицы величины, средства измерений или результата измерений с национальным эталоном или международным эталоном иностранного государства соответствующей единицы величины, посредством сличения эталонов единиц величин, поверки, калибровки средств измерений, использования сертифицированных стандартных образцов и методик выполнения измерений, прошедших метрологическое подтверждение пригодности или валидацию;

2) Первичная референтная (эталонная) методика (метод) измерений, позволяющая получать результаты измерений без прослеживаемости к национальному эталону соответствующей единицы величины;

3) Референтная (эталонная) методика (метод) измерений - для оценки правильности измерений, выполненных по другим методикам (методам) измерений одних и тех же величин;

4) Государственный (сертифицированный) стандартный образец для установления требований к веществу или материалу, характеризующемуся однородностью и стабильностью определенных характеристик с указанием их неопределенности и/или погрешности и прослеживаемостью, установленными с использованием методик выполнения измерений, прошедших процедуру метрологического подтверждения пригодности;

5) Уполномочивание в области обеспечения единства измерений путем предоставления органом, осуществляющим государственное

регулирование и управление в области обеспечения единства измерений (Госстандартом), права проведения работ в сфере законодательной метрологии (поверка и калибровка средств измерений, государственные приемочные и контрольные испытания, метрологическое подтверждение пригодности методик выполнения измерений) исключительно юридическим лицам ГМС на основе (оценка технической компетентности поверочных лабораторий (регистрация на право поверки) объективных доказательств их компетентности.

6) Проверка квалификации поверочных /калибровочных лабораторий в т.ч. в сфере законодательной метрологии);

7) Проведение метрологической экспертизы и валидации (ТНПА, методик измерений и испытаний, программного обеспечения для измерений и средств измерений, результатов сличений эталонов, порядков учета энергоресурсов, методов технического обслуживания средств измерений в здравоохранении и др.);

8) Метрологическое обеспечение технических систем и устройств с измерительными функциями (испытательное оборудование, медицинское оборудование, меры, шаблоны, средства сбора-передачи данных и др.), которые наряду с их основными функциями (воздействующие факторы, терапевтическое воздействие) выполняют измерительные функции и/или имеют нормированные метрологические характеристики для проведения контроля или воздействий, а также используются при оценке соответствия (сертификация) и различных экспертизах.

9) Государственная регистрация средств измерений, применяемых в сфере законодательной метрологии путем установления административной процедуры обязательной регистрации средств измерений, применяемых юридическими лицами в сфере законодательной метрологии, для целей планирования развития ГМС и осуществления государственного надзора

10) Единая информационная система в области обеспечения единства измерений, представляющая комплекс взаимосвязанных

информационных ресурсов государственной метрологической службы в области обеспечения единства измерений, предназначенный для информирования заинтересованных лиц о деятельности, процедурах, задачах и результатах работы государственной метрологической службы.

Кроме того, будут продолжены работы по формированию регионального законодательства в сфере обеспечения единства измерений в рамках реализации положений Договора о Евразийском экономическом союзе, а также Соглашения о взаимном признании результатов испытаний с целью утверждения типа, метрологической аттестации, поверки и калибровки средств измерений (СНГ).

Действующие технические нормативные правовые акты устанавливают требования к: единицам измерений, допущенным к применению на территории Республики Беларусь; основополагающим правилам Системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь; правил проведения работ по государственным испытаниям, поверке, калибровке и метрологической аттестации средств измерений; требования к средствам измерений и стандартным образцам; требования к методам измерений.

Данные работы получают свое развитие в рамках национального технического комитета по стандартизации ТК ВУ 6 «Стандартизация в области метрологии», секретариат которого ведет БелГИМ.

Разработка и пересмотр ТНПА Государственной системы обеспечения единства измерений обеспечат реализацию новой редакции Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений», а также принятие государственных стандартов, гармонизированных с публикациями OIML, ISO, IEC, EN, ILAC, EA, JCGM и устанавливающих требования к метрологической прослеживаемости, неопределенности измерений при оценке соответствия, компетентности поверочных лабораторий и др.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**Крень А.П., Рудницкий В.А.***Институт прикладной физики НАН Беларуси**Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время во всем мире непрерывно происходит разработка и увеличение производства конструкционных материалов как металлических, так и неметаллических (полимеров, композитов, резин, стекла, керамика и целого ряда других). В то же время, резкое увеличение доли материалов, обладающих уникальными свойствами, во всех без исключения отраслях промышленности требует разработки и создания новых методов и средств их оценки по физико-механическим свойствам и параметрам разрушения.

Одним из наиболее перспективных и востребованных методов контроля в последнее время стало инструментальное индентирование, которое получило серьезное развитие за последнее десятилетие. Метод давно вышел за рамки обычного измерения твердости и используется при контроле модуля упругости, трещиностойкости, параметров ползучести, релаксации, адгезии. Индентирование разделилось на статическое и динамическое, высоко- и низкоскоростное.

В работе приводится история возникновения метода и эволюция его развития. Показано, что первая работа в области индентирования появились еще в 1722 году и принадлежала Реамюру. Существенное развитие метода началось в 1881 году благодаря работе Г. Герца, посвященной упругому механическому контакту материалов. Фундаментальные основы теории твердости и процессов индентирования были заложены в 30-60 гг. прошлого века, после чего началось интенсивное внедрение испытаний на твердость в промышленности.

Новый толчок в развитии индентирования получило после того как стало возможным регистрировать весь процесс нагружения – получать диаграмму контактное усилие - глубина вдавливания, включающую активный и пассивный этапы нагружения. Данная диаграмма по сути является аналогом зависимости напряжение-деформация (σ - ϵ) - общепринятой расчетной зависимости, используемой в конструкторской практике.

Для эффективного применения метода и создания целостной системы научных положений, реализация которых обеспечивает достоверный контроль, был развит системный подход к индентированию, который стал возможен только благодаря решению целого ряда задач. В частности, была решена: 1) проблема разработки объективных критериев выбора

модели деформирования материалов, 2) проблема оценки влияния условий нагружения и 3) деградации материалов на результаты контроля, 4) приведения результатов контроля к единым условиям нагружения, 5) повышения качества измерений и практические вопросы, связанные с внедрением оборудования.

В результате впервые был предложен графоаналитический метод, позволяющий без привлечения дополнительного оборудования, по результатам анализа диаграммы непрерывного ударного вдавливания индентора выделить свойства материала, определяющие ход деформирования и осуществить объективный выбор модели деформирования, оптимальной для расчета физико-механических характеристик. Получены достаточно общие уравнения, основанные на применении принципа суперпозиции Больцмана, для оценки характеристик материалов учетом влияния на их значения скорости деформации, пригодные для использования в температурном диапазоне от -150 до +150 °С. Решение проблемы учета деградации материалов позволило впервые разработать эффективные методы контроля и расчета долговечности полимеров по данным индентирования. Верификация полученных выражений, проведенная путем сравнения с данными испытаний, показала, что определение свойств материалов с производится с приемлемой для промышленности погрешностью.

Наряду с разработкой теоретических основ и алгоритмов определения физико-механических свойств материалов было развито новое направление – применение динамического индентирования для контроля параметров разрушения. Использование модели Гарсона зарождения и роста трещин, а также принципа Леметра, связывающего изменение модуля упругости и поврежденность материала, позволило получить необходимые данные для расчета критического коэффициента интенсивности напряжений по формулам линейной механики разрушения

Использование теоретических положений на практике позволило создать серию приборов, нашедших широкое применение в промышленности при контроле углеродных композиционных материалов, фторопластов, резин, материалов, изготовленных по аддитивным технологиям.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОТОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

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

¹Белорусский национальный технический университет

²НТЦ «Белмикросистемы» ОАО «Интеграл»

Минск, Республика Беларусь

Применение в технологии полупроводниковых интегральных схем, 3-D приборов, композитных материалов и материалов с модифицированными свойствами требует развития методов контроля приповерхностных слоев материалов с широким диапазоном характеристик, определяющих их применимость в данной технологии, и приборных структур с малой толщиной активных областей. Особенно остро стоит проблема диагностики состояния нескольких верхних атомных слоев поверхности при производстве полупроводниковых приборных структур с субмикронными активными слоями, сенсорных и микроэлектромеханических структур (МЭМС).

При производстве полупроводниковых приборных структур используются диэлектрические, поликристаллические, металлические слои толщиной в несколько нанометров, кроме того и глубины залегания активных ионнолегированных слоев не превышают десятков нанометров. Фактически при изготовлении приборов задействован только тончайший верхний слой кремниевой пластины. Однако в процессе производства исходная кристаллографически совершенная кремниевая пластина подвергается большому количеству высокоэнергетических обработок, которые могут существенным образом нарушить совершенство пластины – вызвать генерацию кристаллографических дефектов или изменить примесный состав кремния. Это в свою очередь приводит к деградации характеристик элементов микросхем.

Важное значение в контроле технологии интегральных микросхем, особенно на основе субмикронных слоев, имеет не только контроль готовых приборных структур, но и исходных материалов и слоев, используемых в конкретных технологических операциях. Одним из основных параметров, характеризующих качество приповерхностных слоев полупроводниковых пластин является однородность пространственного распределения их электрофизических параметров, например, поверхностного сопротивления, по площади пластины. Параметром, напрямую не определяющим качество изготавливаемых приборов, но очень сильно зависящим от параметров кремниевой подложки и качества проведения технологических

операций является диффузионная длина или время жизни неравновесных носителей заряда, которые определяются как объемом кремниевой пластины, так и состоянием ее поверхности или границ раздела функциональных слоев.

Характерными общими требованиями к подобным методам контроля являются:

- высокая чувствительность к изменениям характеристик приповерхностных слоев материалов и приборных структур, связанных с параметрами готовых приборов;
- возможность бесконтактного, неразрушающего контроля больших площадей (в пределе – всей полупроводниковой пластины, например, диаметром 300 или 200 мм) в сочетании с высоким пространственным локальным разрешением (до единиц и долей мм);
- пространственная локализация участков поверхности (приборных структур) с отличными от нормальных значений электрофизических параметров приповерхностных слоев;
- бесконтактный, неразрушающий характер контроля, позволяющий возвращать пластины в технологический процесс;
- отсутствие специальных операций подготовки поверхности перед и после проведения контроля.

Комплексом характеристик, удовлетворяющим этим требованиям, обладает эффект поверхностной фотоЭДС, заключающийся в изменении электростатического потенциала поверхности полупроводника при воздействии на нее оптическим излучением, причем совокупность параметров приповерхностных слоев полупроводниковой структуры, определяющих формирование поверхностной фотоЭДС, зависит от длины волны оптического излучения. Этот эффект обнаружен и описан еще в середине XX века, однако его практическое применение до последнего времени сдерживалось недостаточными характеристиками элементной базы, необходимой для реализации бесконтактных методов измерения поверхностной фотоЭДС, и из-за отсутствия достоверных экспериментальных данных недостаточной проработкой моделей формирования измерительного сигнала. Величина поверхностной фотоЭДС непосредственно связана одновременно со многими физическими параметрами полупроводникового материала,

такими как время жизни неравновесных носителей заряда, удельное поверхностное сопротивление, наличие и концентрация поверхностных состояний (дефектов) и их энергетический спектр. С одной стороны, это позволяет в близких методиках измерения использовать данный параметр для контроля качества полупроводниковых пластин, с другой – затрудняет однозначную интерпретацию соответствия измерительного сигнала конкретному параметру материала или приборной структуры.

В течение ряда лет в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ совместно с НПО «Интеграл» проводятся работы в области исследований и разработки методов и средств визуализации электрофизических параметров полупроводниковых пластин на основе методов зондовой электрометрии, в том числе с использованием дополнительных неразрушающих воздействий оптическим излучением, коронным разрядом, нагревом. Результатом первого этапа этих исследований явилось создание установки сканирующей зондовой электрометрии «СКАН-2013» (рисунок 1), реализующей метод сканирующего зонда Кельвина (SKP) [1]. Установка обеспечивает визуализацию дефектов поверхности полупроводниковых пластин на основе анализа пространственного распределения контактной разности потенциалов (КРП) поверхности. Кроме того, установка «СКАН-2013» обладает ограниченными возможностями по определению электрофизических параметров приповерхностных слоев полупроводника за счет заряжения его поверхности в коронном разряде, что позволяет регистрировать Q-V характеристику поверхностных структур.



Рисунок 1 – Установка сканирующей зондовой электрометрии (SKP) «СКАН-2013»

Развитием данной установки является установка фотостимулированной сканирующей зондовой электрометрии «СКАН-2015» (рисунок 2), дополнительно обеспечивающая визуализацию пространственного распределения поверхностной фотоЭДС (режим SPV) [2]. При поочередном освещении поверхности полупроводниковой структуры оптическим излучением с разными длинами волн и одинаковой интенсивностью

обеспечивается возможность определения длины диффузии неравновесных носителей заряда L_n на основании выражения [3]

$$L_n = \frac{\alpha(\lambda_1)V_p(\lambda_2) - \alpha(\lambda_2)V_p(\lambda_1)}{\alpha(\lambda_1)\alpha(\lambda_2)(V_p(\lambda_2) - V_p(\lambda_1))}, \quad (1)$$

где $\alpha(\lambda)$ – коэффициент поглощения на длине волны λ ; $V_p(\lambda)$ – фотоЭДС на длине волны λ .



Рисунок 2 – Установка фотостимулированной сканирующей зондовой электрометрии (SPV) «СКАН-2015»

Существенно, что генерация сигнала поверхностной фотоЭДС происходит в тонком (в пределах глубины проникновения оптического излучения) поверхностном слое, что позволяет контролировать свойства эпитаксиальных слоев независимо от подложки.

Проводимые в настоящее время исследования направлены на разработку методов и средств бесконтактного определения параметров легированных слоев кремниевых пластин (JRV), основанных на анализе особенностей спектрально-пространственных параметров поверхностной фотоЭДС путем контроля амплитуды и фазы фотоЭДС модулированного по длине волны и интенсивности луча света. К числу определяемых таким способом параметров относятся сопротивление ионно-легированного или диффузионного слоя, ток утечки p - n перехода и др. Датчик RsL в реализации метода JRV состоит из модулированного по яркости луча света и двух емкостных электродов (рисунок 3). Напряжение под датчиком в одномерной модели описывается выражением

$$V = A e^{-kx}, \quad (1)$$

где x – расстояние от датчика до освещенного участка;

$$k = (R_s G + i\omega R_s C_s)^{1/2},$$

R_s – сопротивление слоя в переходе;

G – проводимость перехода, позволяющая оценить ток утечки перехода;

C_s – емкость подложки;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота модуляции оптического излучения.

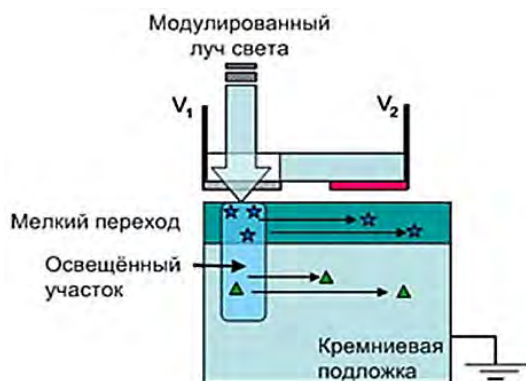


Рисунок 3 – Схема бесконтактного определения параметров легированных слоев кремниевых пластин на основе анализа спектрально-пространственных параметров поверхностной фотоЭДС

Методика измерения включает пространственное сканирование полупроводниковой пластины электрометрическим зондом R_sL и расчет значений R_s и I_0 по модели (2) формирования поверхностной фотоЭДС в зависимости от параметров освещения и расстояния зонда от освещаемой области. Результатом применения данной методики является карта распределения R_s и токов утечки перехода. Таким образом, на основе методов зондовой электрометрии создается комплекс методов и средств, обеспечивающих бесконтактное неразрушающее определение однородности распределения параметров ионно-легированных и диффузионных слоев на полупроводниковых пластинах, включая длину диффузии или время жизни неравновесных носителей заряда, концентрацию примеси атомов железа или меди на поверхности [4],

сопротивление слоя в переходе, ток утечки перехода и др.

1. Воробей, Р.И. Контроль дефектов структуры кремний-диэлектрик на основе анализа пространственного распределения потенциала по поверхности полупроводниковых пластин / Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, О.К. Гусев, А.Н. Петлицкий, В.А. Пилипенко, А.С. Турцевич, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 67-72.
2. Установка для контроля полупроводниковых пластин методом зонда Кельвина с дополнительными воздействиями / Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: / Воробей Р.И., Гусев О.К., Жарин А.Л., Петлицкий А.Н., Пилипенко В.В., Тявловский А.К., Тявловский К.Л. / Материалы XIV научно-технической конференции. – М.: ОАО "НПП Пульсар", 2015. – С. 72-75.
3. Тявловский А.К., Пантелеев К.В., Жарин А.Л. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследовании свойств перспективных материалов / Перспективные материалы и технологии: монография. В 2 т. Т1. / под ред. В.В. Клубовича – Витебск: Изд-во УО «ВГТУ». – 2015. – 398 с.
4. Воробей Р.И., Жарин А.Л., Микитевич В.А., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Пилипенко В.А., Петлицкий А.Н. Визуализация пространственного распределения примеси железа в кремнии на основе методов зондовой электрометрии / Приборостроение-2015: материалы 8-й Междунар. научно-техн. конф. В 2 т., Т1. – Минск: БНТУ, 2015. Т. 1 – С. 169-171.

**Секция 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 502.656

**СИСТЕМА ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД
ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И.

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Современное развитие промышленности, коммунального хозяйства и других видов человеческой деятельности связано с необходимостью использования чистой и последующего сброса загрязненной воды. Нарушения требований нормативно-технических документов по физико-химическим и микробиологическим показателям питьевой воды отмечены во всех субъектах Российской Федерации. Главными причинами низкого качества чистой воды являются значительная загрязненность водных объектов и малоэффективные технологии подготовки воды [1, 2].

Основным загрязнителем открытых водоемов и подземных вод являются сточные воды. Более 90% сточных вод, поступающих через коммунальные сети в поверхностные водные объекты, сбрасываются загрязненными [2]. Среди загрязнителей наиболее распространены нефть и нефтепродукты, кислоты, щелочи, соли разных металлов, сернистые соединения, аммиак, фенолы, синтетические смолы, болезнетворные микробы и т.д. Учет рисков загрязнения промышленных стоков практически не проводится в отраслях, связанных с интенсивным природопользованием (металлургия, энергетика, горная, химическая, нефтехимическая промышленность, предприятия строительной индустрии и железнодорожного транспорта и т.д.).

В связи с интенсивным хозяйственным освоением природно-промышленных территориальных комплексов появилось много экологических проблем. Наибольшее воздействие на окружающую среду урбанизированных территорий оказывают промышленность, транспорт и население, что определяет большинство количественных и качественных характеристик гидрологического цикла на городской территории.

Содержащиеся в сточных водах загрязняющие вещества, попадая в значительных количествах в водоёмы или скапливаясь в почве, могут быстро ухудшать санитарное состояние водоёмов и атмосферы, способствовать распространению различных заболеваний. Поэтому вопросы очистки, обезвреживания и утилизации сточных вод являются неотъемлемой частью проблемы охраны природы, оздоровления окружающей среды и обеспечения санитарного благоустрой-

ства промышленных территориальных комплексов. Все сточные воды перед сбросом в водоем подвергаются очистке от вредных веществ. Для выполнения этих требований применяют механические, химические, биологические, а также комбинированные методы очистки. Чтобы определить состав сточных вод проводится множество различных анализов, как химических, так и санитарно-бактериологических [3].

В настоящее время появилось огромное количество техногенных источников опасности, вследствие чего вероятность катастроф, аварий и сбросов химически опасных веществ в природные водоёмы возросла многократно. В связи с этим большое внимание соответствующих служб уделяется контролю, анализу, оперативной оценке состояния водной среды и ее антропогенных изменений, обнаружения залповых сбросов загрязнителей сточных вод, способных перевести водоем или процессы очистки в неустойчивое состояние с целью их прогнозирования и своевременного устранения возможных неблагоприятных последствий.

При санитарно-эпидемиологическом анализе сточных вод определяется, не превышают ли контролируемые показатели предельно допустимых концентраций в данный конкретный момент времени, когда выполняется забор проб, и ничего не гарантируется в промежутках времени между ними, когда производится хранение, проведение анализа и обработка полученных результатов. Кроме этого, загрязнение, вообще, может не попасть в пробу или в зону контроля. Существующие методы повышения объективности контроля основываются на повышении количества анализов и установке большого количества стационарных или передвижных станций экологического мониторинга.

В России выпускаются станции "САФ", "ГИДРОТЕСТ", Атмосфера-11, "InterANALIT", АНКОС-АМ, СОЭМ, передвижная химико-радиометрическая лаборатория АО "НПО Химватоматика", станция экологического мониторинга ИПЦ "Геокомплекс" и ряд других. Аналогичного назначения станции выпускаются за рубежом, например, "ZEISS" (Германия), "NEOLAB" (Италия). Данные отечественные и зарубежные станции специализируются на оценке определенных

экологических параметров в промышленной или жилой зоне [4]. Эти методы являются дорогостоящими и не обеспечивают достоверного анализа, поскольку сброс может пройти мимо них и не быть идентифицированным.

В связи с этим важным является создание эффективных систем быстрого прогноза на основании априорной информации о появлении загрязнений и математической обработки динамики изменений результатов контроля, чему и посвящена работа.

Целью работы является создание системы интерполяционного контроля загрязнений сточных вод природно-промышленных территориальных комплексов на основе использования эффективного метода контроля состояния водной среды при производственных и техногенных авариях в условиях действия помех измерения и неоднозначности существующих моделей динамики потоков жидкости.

В работе использован инструментальный метод исследования особенностей процессов движения загрязняющих веществ, протекающих в жидкой среде. Для разработки алгоритма работы системы по данным реперных измерений и текущих результатов анализа за основу был взят метод стохастической интерполяции, используемый как средство решения задач распознавания, идентификации, обучения и адаптации [5].

Если сбросы состоят из крупных твердых или плотных жидких частиц, то, распространяясь в жидкой среде, они под действием силы тяжести начинают спускаться с определенной постоянной скоростью в соответствии с законом Стокса для распределения скоростей по сечению круглой трубы при ламинарном течении жидкости. График распределения скоростей по поперечному сечению потока представляет собой параболоид вращения, а сечение параболоида осевой плоскостью – квадратичную параболу. Для турбулентного течения характерно перемешивание жидкости, пульсации скоростей и давлений. Естественно, что с течением времени почти все загрязнения, в конечном итоге, скапливаются в нижней части канализационной трубы, причем тяжелые осаждаются в основном под действием гравитационного поля, а легкие – в результате диффузионного процесса. Большое значение в теории распространения загрязнений имеют флуктуации скорости и направление потока [6].

На основании вышеизложенного разработан алгоритм работы, структурная схема системы, рабочие режимы, выбрана элементная база, разработана конструкция источников и приемников диспетчерского контроля основных показателей качества природной воды, выбраны места их установки на канализационных коллекторах, предназначенных для отвода очищенной и осветленной воды от крупных очистных соору-

жений к природным водоемам.

Функциональная схема системы приведена на рис.1, где 1 – загрязнения сточных вод, 2 – система канализации, 3 – универсальный оптоэлектронный датчик, 4 – специализированные оптоэлектронные датчики, 5 – главный процессор, 6 – специализированные контроллеры, 7 – отводы (ответвления) для выделения загрязнений, 8 – основные заслонки, 9 – дополнительные заслонки, 10 – основные устройства очистки, фильтры, 11 – дополнительные узлы очистки.

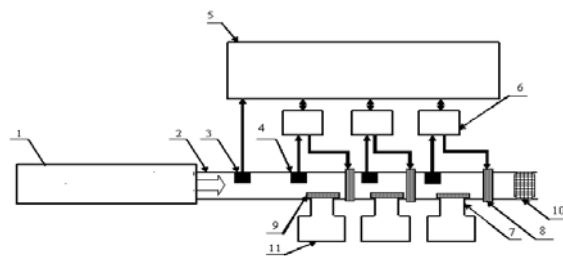


Рисунок 1 – Функциональная схема системы

Проведя математическую обработку результатов контроля, можно выделить информативные факторы изменения оптических характеристик сточных в результате загрязнения, интерполировать их на промежутки между моментами контроля, тем самым повысить достоверность при идентификации наличия загрязнений сточных вод в конкретных ситуациях. Факт изменения оптической плотности при изменении составляющих оптического тракта при появлении загрязнений можно рассматривать как экспериментальное обоснование эффективности интерполяционного контроля загрязнений сточных вод природно-промышленных территориальных комплексов из исследованной группы.

1. ГОСТ 17.1.3.10.83 (СТ СЭВ 3545-82). Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами при транспортировании по трубопроводу.
2. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод, утв. в РФ с 22.06.2000.
3. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: в 2-х ч. / Л.А. Кульский и др. Киев: Наукова думка, 1980. – 1206 с.
4. Новые методы контроля качества питьевой воды / Б.Е. Рабинович, А.И. Семенов, В.Н. Александров [и др.] // Экология и промышленность России, 2005, №6. – С.14-15.
5. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
6. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 374 с.

УДК 614.84

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ОБРАБОТАННОЙ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПРОПИТКАМИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЕЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ

Антошин А.А.¹, Нератова В.В.², Есипович Д.Л.², Джежора А.А.³

¹Белорусский национальный технический университет

²НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси
Минск, Республика Беларусь

³Витебский государственный технологический университет
Витебск, Республика Беларусь

В республике Беларусь имеется большое количество объектов, строительным материалом которых является древесина.

Древесина представляет собой прочный и одновременно легкий материал, обладающий хорошими теплоизоляционными свойствами, способностью без разрушения поглощать энергию при ударных нагрузках, гасить вибрации. Она легко обрабатывается режущими инструментами, склеивается. Древесина имеет прекрасные декоративные свойства; ей присуща уникальная резонансная способность. Эти природные особенности древесины позволяют использовать ее для производства строительных деталей и конструкций.

Однако, изделия из древесины имеют ряд недостатков, которые обусловлены анизотропией свойств, наличием дефектов, способностью усыхать, разбухать, коробиться и растрескиваться, гнить и возгораться [1]. Высокая горючесть древесины это свойство, которое существенно уменьшает область ее использования. Одним из основных мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности конструкций и материалов, а также обеспечение пожарной безопасности и огнестойкости зданий и сооружений является огнезащита. Существуют серьезные трудности, которые препятствуют широкому использованию древесины с огнезащитной обработкой, связанные с контролем качества огнезащиты при выполнении строительных работ. Обусловлено это отсутствием методов и средств неразрушающего контроля качества огнезащитной обработки древесины.

Контроль качества огнезащитной обработки в настоящее время осуществляется следующими методами: классификационным и экспресс-метод. Эти методы являются разрушающими. Как показывают литературный и патентный поиски не инвазивные методы контроля для этих целей не использовались. Для диэлектрической спектроскопии обработанной древесины и выявления наличия огнезащитной обработки нами были применены меандровые датчики накладного типа [2]. Согласно формуле Лихтенеккера–Ротера, диэлектрическая проницаемость среды, состоящей из двух компонентов, зависит от их объемного соотношения и описывается формулой

$$\lg \varepsilon_3 = y_1 \lg \varepsilon_1 + y_2 \lg \varepsilon_2,$$

где, y_1 и y_2 – объемные доли первого и второго

компонентов соответственно. Изменение диэлектрической проницаемости материала и, следовательно, изменение содержания огнезащитного связующего может быть измерено как изменение емкости, когда исследуемый материал находится в поле датчика. Размеры электродов датчика были выбраны таким образом, чтобы проникновение электрического поля преобразователя было меньше минимальной толщины контролируемых образцов материала и, следовательно, изменение толщины не сказывалось на результатах измерений.

В представленной работе исследовано влияние огнезащитной обработки различными составами сосны разной структуры. Датчик подключался к измерителю иммитанса Е7-20 с возможностью подключения через интерфейс RS-232C и математической обработки результатов измерений. Это средство измерений имеет широкий диапазон рабочих частот (25 Гц ÷ 1 МГц), класс точности 0,1 и высокую скорость измерений. Проводились многократные измерения емкости датчика для двух огнезащитных составов: КМД-О-2 и ОК-ГФ. Контроль проводился на двух сторонах образцов на частотах от 100 кГц до 1МГц в лаборатории при значениях температуры в помещении от 22,8°С до 25,0°С, давления - от 98,6 кПа до 98,9 кПа и влажности - 42,3% до 46%. В условиях постоянства влажности, температуры и геометрических размеров измеряемой области относительное изменение емкости датчика практически совпадает с относительным изменением диэлектрической проницаемости.

Исследованы 67 образцов размером 150x60x30 мм, изготовленных из сосны, плотностью от 376 кг/м³ до 620 кг/м³. Образцы подвергались обработке двумя огнезащитными составами: КМД-О-2 и ОК-ГФ. Состав КМД-О-2 наносился на образцы с расходом 0,33 л/м² в 3 слоя с интервалом в 2 часа. Состав ОК-ГФ также наносился на образцы с расходом 0,34 л/м² в 3 слоя с интервалом в 2 часа. Обработка производилась путем нанесения состава кистью на всю поверхность образца. После нанесения образцы подвергались сушке на открытом воздухе при комнатной температуре в течение недели.

Поверхность контроля имела разную ориентацию по отношению к годовым кольцам. Структура древесины каждого образца заметно отличалась друг от друга. На рисунке 1

представлен вид торцов образцов древесины, которые впоследствии подвергались огнезащитной обработке.

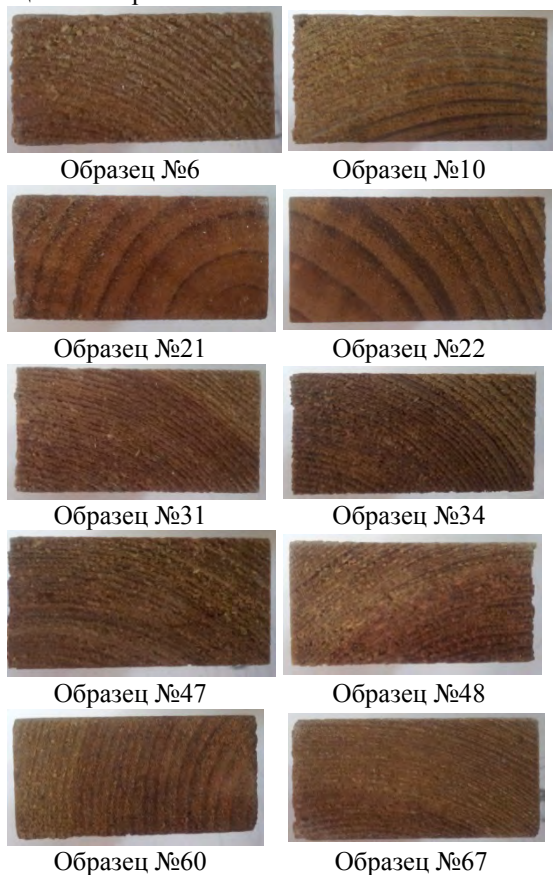


Рисунок 1 - Вид торца образцов древесины

Из рисунка 1 видно, что структура образцов №21 №22 существенно отличается от структуры других образцов шириной годовых колец. Тем не менее измерение емкости исходных образцов показало, что структура образца влияла на значение емкости незначительно. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Значение емкости исходных образцов древесины

№ образца	Значение емкости (лицевая сторона бруска), пФ		Значение емкости (изнаночная сторона бруска), пФ	
	900 кГц	1 МГц	900 кГц	1 МГц
6	1,26	1,37	1,33	1,43
10	1,2	1,33	1,25	1,38
21	1,24	1,35	1,28	1,38
22	1,24	1,31	1,24	1,32
31	1,29	1,39	1,23	1,35
34	1,26	1,33	1,27	1,44
47	1,26	1,43	1,45	1,55
48	1,3	1,41	1,36	1,48
60	1,43	1,54	1,27	1,36
67	1,31	1,42	1,38	1,49

Изменение диэлектрической проницаемости образцов ($\epsilon_{1обр}/\epsilon_1$) после их обработки огнезащитным составом КМД-О-2 и ОКГ-Ф представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние огнезащитной обработки древесины на относительное изменение диэлектрической проницаемости материала

Огнезащитный состав	Относительное изменение диэлектрической проницаемости (сторона 1), %	Относительное изменение диэлектрической проницаемости (сторона 2), %
КМД-О-2		
6	100	103
21	104	104
31	100	101
48	104	99
67	106	107
ОКГ-Ф		
10	133	140
22	147	130
34	120	137
47	114	113
60	116	121

Из таблицы 2 видно, что при нанесении на древесину огнезащитного состава КМД-О-2, изменение диэлектрической проницаемости для всех образцов практически одинаково, и не зависят от ширины годовых колец. При нанесении огнезащитного состава ОКГ-Ф, изменения диэлектрической проницаемости составили от 114 до 147%. Самое большое изменение диэлектрической проницаемости наблюдалось у образца с широкими годовыми кольцами №22.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1) структура (ширина годовых колец) не обработанной огнезащитными составами древесины не значительно влияет на диэлектрическую проницаемость;

2) обработка огнезащитными составами КМД-О-2 и ОКГ-Ф привела к различным изменениям диэлектрической проницаемости. Диапазон относительного изменения диэлектрической проницаемости для огнезащитного состава КМД-О-2 находится в пределах от 99% до 107%, а для огнезащитного состава ОКГ-Ф в пределах от 114% до 147%.

3) При обработке древесины огнезащитным составом ОКГ-Ф на изменения диэлектрической проницаемости существенным образом повлияла структура древесины (ширина годовых колец).

1. Древесиноведение и лесное товароведение / Уголев, Б.Н.: Учебник. - М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. - 351с.

2. Джежора, А.А. Электроёмкостные преобразователи и методы их расчета / А.А. Джежора. –

Минск: РУП «Издательский дом «Белорусская наука», 2008. - 305с.

УДК 621.179.147

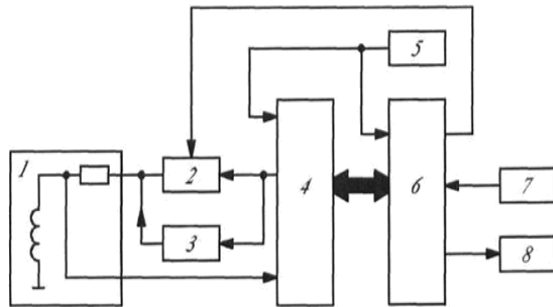
ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗЫ ВНОСИМОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ ВИХРЕТОКОВЫМ ДЕФЕКТОСКОПОМ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Баженов В.Г., Глейник К.А.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина.

Вихретоковые методы неразрушающего контроля являются очень распространенными методами и при решении многих задач контроля не имеют альтернативы особенно в авиации. Современные цифровые дефектоскопы имеют широкие функциональные возможности используют мощные DSP процессоры на базе ПЛИС, но они потребляют много электроэнергии и имеют большую стоимость и большие габариты.

В данный момент в мире микроэлектроники появились уникальные микросхемы малогабаритных измерителей комплексного сопротивления со встроенным DSP процессором работающих совместно с современными микроконтроллерами с помощью последовательного интерфейса И2С. Это позволило авторам предложить новые структуры (рисунок 1) [1-3] цифровых вихретоковых дефектоскопов, которые имеют очень малые размеры, малую стоимость, малое потребление электроэнергии (так например микросхема измерителя комплексного сопротивления AD5933 потребляет 15ма).



- 1-вихретоковый преобразователь;
- 2-цифровой ключ; 3-фазовращатель;
- 4-измеритель комплексного сопротивления;
- 5-опорный генератор; 6-микроконтроллер;
- 7-пульт управления; 8-дисплей

Рисунок 1 – Структурная Схема цифрового дефектоскопа на базе микросхемы измерителя комплексного сопротивления

С помощью микроконтроллера 6 задаётся частота и амплитуда сигнала на выходе схемы 4 (AD5933), затем DSP процессор этой схемы через порт I2C выдаёт на микроконтроллер 6 реальную (R) и мнимую (I) составляющие

комплексного сопротивления вихретокового датчика 1. В микроконтроллере по известным формулам (1,2) действительная и мнимая составляющие комплексного сопротивления пересчитываются в амплитуду (Magnitude) и фазу (Phase) сигнала.

$$Magnitude = \sqrt{R^2 + I^2} \quad (1)$$

$$Phase = \arctg\left(\frac{I}{R}\right) \quad (2)$$

Использование общего генератора тактовых сигналов 5 для микроконтроллера 6 и схемы 4 измерителя комплексного сопротивления позволяет синхронизировать процесс работы синтезатора частоты схемы AD5933 и микроконтроллера. Синтезатор частоты в свою очередь синхронизирует запуск внутреннего 12-ти разрядного АЦП и арифметического устройства (DSP), путём подачи на него кодов выборок опорных сигналов (Sin,Cos) записанных в ПЗУ, которые перемножаются в этом блоке с соответствующими выборками измерительного сигнала с выхода АЦП. После реализации цифровой операции фильтрации в арифметическом блоке получают проекции (Sin,Cos) a_s и a_c формированием квадратурных составляющих сигнала [6,7,8, 9]:

$$\alpha_s = \sum_{j=1}^{M_{AD}} u_i[j]u_s[j], \alpha_c = \sum_{j=1}^{M_{AD}} u_i[j]u_c[j] \quad (3)$$

где $u_i[j]$ – выборка входного сигнала; $u_s[j], u_c[j]$ – синусная и косинусная составляющие опорного сигнала, цифровым сигналом. M_{AD} - количество элементов выборки входного сигнала.

Синхронизация от одного генератора 5 запуска, АЦП и блока опорных сигналов арифметического устройства позволила существенно уменьшить погрешности измерения за счет не кратности частот дискретизации и частоты входного сигнала вихретокового преобразователя [6, 7, 9] Микроконтроллер позволяет полностью автоматизировать процесс измерения и калиб-

ровки и выводить и документировать требуемый результат измерения в заданных единицах (проводимости, толщины)

Известно [4,5], что при контроле например проводимости ферромагнитных проводящих материалов изменяется в основном фаза измеряемого сигнала, т.е. точность измерения фазовых сдвигов будет определять в этом случае точность измерения проводимости. Однако при измерении малых значений фазы резко возрастает погрешность её измерения, что обусловлено тем, что абсолютные значения погрешностей измерения мнимой и действительной частей остаются неизменными. Такие погрешности определяются как разрядностью АЦП так и разрядностью блока ДСП [6.7.8], а на краях четвертей измеряемого результата на краях четвертей полного фазового сдвига ($0^{\circ}, 90^{\circ}, 90^{\circ}, 180^{\circ}$ и т.д.). Малые значения мнимой или действительной части приводят к большим относительным значениям погрешности вычисления, которые как нетрудно показать прямо сказываются на погрешности вычисления фазы. Поэтому при получении измеряемого результата на краях четвертей полного фазового сдвига предлагается в измерительную цепь вводить дополнительный фазовый сдвиг с помощью фазовращателя 3 чтобы находиться в оптимальной области (например 45°), что реализуется с помощью размыкания по команде микроконтроллера аналогового ключа 2 включенного параллельно фазовращателю 3. Использование микроконтроллера позволяет автоматизировать процесс измерения, калибровки и окончательной корректировки и выводить требуемый результат измерения в заданных единицах (проводимости, толщины). Время измерения не превышает 30 мс. В качестве микроконтроллера в разработанном дефектоскопе рис.1 используется микроконтроллер ATMEGA 32.

Внешний вид разработанного дефектоскопа представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид разработанного дефектоскопа

1. Патент №45908 Украины на полезную модель МПК G01N27/00 Многофункциональный вихретоковый дефектоскоп Баженов В.Г., Климашевская В.М., Глейник К.А.; заявитель и патентообладатель НТУУ «КПИ» Оpubл. 25.11.2009р. Бюл.№22 Номер заявки u200907688 від 21.07.2009.
2. Баженов В.Г., Лепеха В.В., Глейник К.А., Лепеха В.Л. Цифровой вихреструмовий дефектоскоп. Патент на корисну модель №82342 від 25.07.2013 МПК G01N27/90 (2006.01) Бюл.№14/2013. Номер заявки u201302593 від 01.03.2013.
3. Баженов В.Г., Лепеха В.В., Глейник К.А., Лепеха В.Л. Цифровой вихретоковый дефектоскоп. Патент Украины на изобретение №107249 от 10.12.2014р МПК G01N27/61; G01N27/90.; заявители и патентообладатели Баженов В.Г., Лепеха В.В., Глейник К.А., Лепеха В.Л. Бюл. 23/ 2014 р.
4. Неразрушающий контроль. В 5кн. Кн.3. Электромагнитный контроль: Практ. Пособие/ В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В.Сухоруков; Под ред. В.В.Сухорукова,-М.; Выш. Шк.,1992.-312с.
5. Дорофеев А.Л., Казаманов Ю.Г. Электромагнитная дефектоскопия.-2-е изд., перераб и доп.- М.: Машиностроение, 1980. – 232.
6. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2010.-328с. ISBN978-5-94836-243-4.
7. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. А36 Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2008.-992 с.:ил.-Парал. тит. англ. . ISBN978-5-8459-0710-3.
8. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования,- СПб.: Политехника, 1998.-592с.: ил. . ISBN 5-7325-0486-9.
9. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box502407, San Diego, CA92150. Also available at: <http://www.dspguide.com>.

РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Баженов В.Г., Богдан Г.А., Грузин С.В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

На кафедре приборов и систем неразрушающего контроля (ПСНК) приборостроительного факультета НТУУ «КПИ» разработана реконфигурируемая универсальная измерительная система, которая включает в себя:

- двухканальную плату АЦП с блоком цифровой обработки сигналов ЦОС;
- два блока маломощных усилителей входных сигналов;
- персональный компьютер.

Основным блоком которой является двухканальная плата аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) Рис.1. Спроектированная на кафедре ПСНК семислойная двухканальная плата АЦП состоит из двух быстродействующих 14 разрядных микросхем АЦП с частотой дискретизации 100МГц. Сбор и предварительная обработка информации с этих АЦП осуществляется с помощью микросхемы типа «PLIS» фирмы «XILINX», кроме того на плате имеется две быстродействующих микросхемы ЦАП также управляемых микросхемой «PLIS». Частота дискретизации микросхем ЦАП может достигать 100МГц. Данные могут накапливаться в быстродействующих накопительных ОЗУ, после чего данные с них могут передаваться через порт USB2 на персональный компьютер/

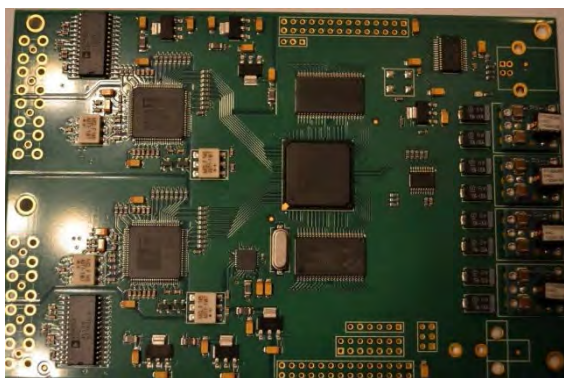


Рисунок 1 – Двухканальная плата АЦП

Диапазон частот входных сигналов АЦП может составлять :0-50МГц. Частоты дискретизации могут выбираться по командам с компьютера: 100МГц, 75МГц, 62.5МГц, 10МГц, 7.5МГц, 6.25МГц, 62.5КГц. Следует отметить, что по желанию оператора эти частоты могут быть изменены путём перепрограммирования PLIS. ОЗУ может накапливать массив данных до 256000 выборок по каждому каналу.

На выходах ЦАП имеется возможность

синтезировать сигналы любой формы от синусоидальной, радиоимпульсной до самой простейшей- прямоугольной с частотами от единиц герц до 50 МГц, причём частоту можно изменять с очень малой дискретностью (01Гц), можно задавать программно диапазон, дискретность, и скорость изменения частоты, например для автоматического снятия АЧХ или ФЧХ исследуемого объекта. Особо следует отметить, что запуск каждого АЦП, синхронизация работы «PLIS» и следовательно работа синтезаторов частоты происходит от одного высокостабильного опорного генератора, что позволило авторам реализовать прецизионные фазовые измерения на базе этой платы [1,2,3,4,5] как с непрерывными так и радиоимпульсными сигналами.

Микросхема «PLIS» платы АЦП может также управлять коэффициентом усиления блока регулируемых высокочастотных усилителей по заданной программе или по командам с пульта компьютера. На плате АЦП имеется резервный разъём, выводы которого могут быть запрограммированы для управления или регулирования по заданной программе другими, вспомогательными блоками. Например: регулируемые усилителями, в составе блоков временной регулировки усиления (ВРЧ) или автоматической регулировки усиления (АРУ), генераторами зондирующих импульсов и т.д.

Блоки усилителей состоят из двух маломощных усилителей:

- 1-й представляет собой регулируемый плавно сигналами ЦАП высокочастотный (полоса может быть до 100 МГц). Максимальный коэффициент усиления составляет 55.5дб, диапазон изменения коэффициента усиления составляет 48 дб. Эта пара усилителей может быть использована для организации двухканальной системы временной регулировки чувствительности (ВРЧ) по наперёд заданному закону или системы АРУ при ультразвуковых измерениях. При организации одного канала измерений усилители можно включить последовательно тогда коэффициент усиления может достигать выше 100дб

- 2-й представляет собой усилитель с очень большим входным сопротивлением около 10 ТОм.

С помощью программного обеспечения LabVIEW, установленного на компьютере, можно производить визуализацию измеряемых процессов (рисунок 2) по следующим программам:

- Двухканальный осциллограф;
- Анализатор спектра с возможностью задания

различных оконных функций (Хемминга, Блекмана, Хеннинга и др.), а также с возможностью запоминания спектров с последующим их вычитанием;

– Корреломер;

– Измеритель АЧХ и ФЧХ с возможностью задания диапазона и дискретности изменения частоты;

– Двухканальный измеритель-регистратор (самописец) изменений интенсивности принимаемого сигнала по времени с использованием автошкалы как по оси измеряемых значений, так и по оси времени;

– Двухканальный генератор-синтезатор частот.

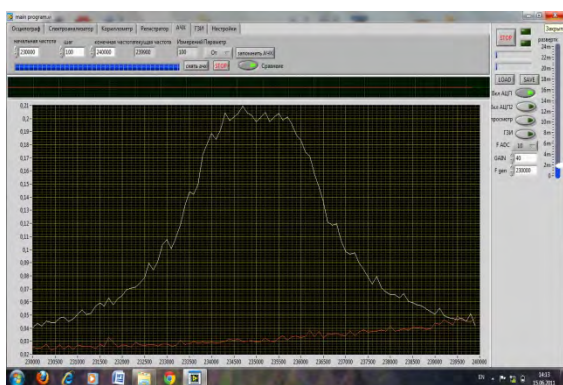


Рисунок 2 – Визуализация измеряемых процессов

Разработанная реконфигурируемая измерительная система позволяет заменить целый парк дорогостоящих измерительных приборов (особенно таких как характериографы, самописцы), позволяет выполнять прецизионные фазовые измерения при исследовании фазочастотных характеристик различных четырёхполюсников, позволяет полностью автоматизировать, документировать и запоминать весь процесс проведения измерений.

УДК: 621.039

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ЭЛЕМЕНТАХ ОБОРУДОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Баринов А.А.¹, Дмитриев С.М.¹, Хробостов А.Е.¹, Рязанов А.В.¹, Главный В.Г.²

¹НГТУ им. Р.Е.Алексеева, каф. «Атомные и тепловые станции»

Н. Новгород, Россия

²ИТ СО РАН им.С.С. Кутателадзе

Новосибирск, Россия

Процессы смешения потоков с различной температурой и концентрацией растворенных примесей (поглотителей нейтронов) в ряде случаев значительно влияют на ресурс реакторной установки и ее поведение в переходных и аварийных режимах работы. Расчетное моделирование такого вида гидродинамических явлений

– Может быть использована Универсальный лабораторный стенд для ВУЗов

– Лаборатории по измерениям, диагностике и контролю дефектов в ЖД транспорте, авиации, нефти и газопроводах, космической промышленности

– Системы связи и телекоммуникаций

– Геологоразведка

– Научно-исследовательские институты и лаборатории

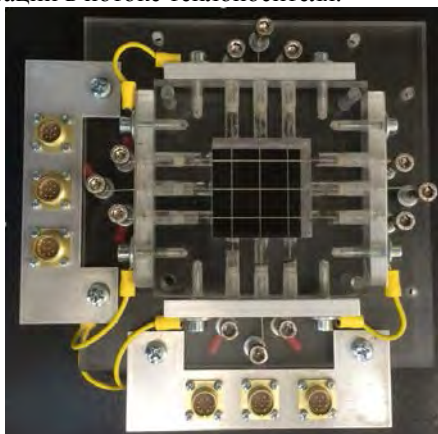
– Сервисные центры по ремонту и наладке электронной аппаратуры

1. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. А36 Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2008.-992 с.
2. Уолт Кестер. Проектирование систем цифровой и смешаной обработки сигналов. Москва: Техносфера, 2010.-328с.
3. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования,- СПб.: Политехника, 1998.-592с.
4. Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition, 1999, California Technical Publishing, P.O. Box502407, San Diego, CA92150. Also available at: <http://www.dspguide.com> or <http://www.analog.com>.
5. Цифровий спосіб вимірювання фазового часу проходження радіоімпульсних сигналів. Патент України на винахід №105074 від 10.04.2014 МПК G04F10/00 (2014.01) бюл.№9/2014.Номер заявки a201206917 від 06.06.2012. Баженов В.Г., Богдан Г.А., Грузін С.В.

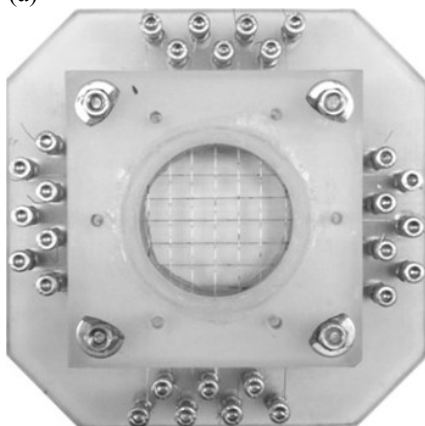
проводится при помощи трехмерных теплогидравлических программ, нуждающихся в верификации на основе данных эксперимента.

Пространственные кондуктометрические датчики являются одним из средств измерения поля концентрации примеси и гидродинамических величин в турбулентном потоке жидкости.

Проведенная работа по освоению и адаптации метода пространственной кондуктометрии к измерениям в турбулентных потоках теплоносителя позволяет провести исследования смешения потока в элементах масштабных моделей парогенирующих блоков ЯЭУ. В настоящее время совместными усилиями НГТУ им. Р.Е.Алексеева, ИТ СО РАН им.С.С.Кутателадзе и АО «ОКБМ Африкантов» создана лабораторная база, включающая тестовый кондуктометрический стенд, набор пространственных датчиков различной конструкции и быстродействующую измерительную систему ЛАД-36, которая позволяет производить параллельную регистрацию сигналов с частотой до 1,8 МГц на 36 каналах [1]. Разработанные датчики имеют сетчатую (рис.1) и стержневую конструкцию, что дает возможность измерять поля концентрации проводящих примесей в каналах и зазорах сложной геометрической конфигурации. Кроме того, такие виды измерительных устройств имеют низкую инерционность, что позволяет разрешать широкий диапазон частот турбулентных пульсаций в потоке теплоносителя.



(а)



(б)

Рисунок 1 – Сетчатые кондуктометрические датчики:
а – датчик для квадратного канала;
б – датчик для круглого канала

В настоящее время были проведены эксперименты по смешению потоков с различной концентрацией растворимой соли в каналах круглого и квадратного поперечного сечения.

Методика проведения исследований гидродинамических процессов в круглом канале $D=60\text{мм}$ заключалась в следующем: солевой трассер через инъекционный капилляр изокинетически подавался в центр канала спутно с направлением потока. С помощью сетчатого датчика проводился замер проводимости по поперечному сечению потока, при подаче солевого трассера на различном расстоянии до места установки датчика.

В результате экспериментальных замеров при различных местах ввода трассера получены следующие данные:

- временные реализации флуктуаций измерительного скаляра от времени для всех ячеек датчика при различных расстояниях от подачи солевого трассера до места установки сетчатого датчика. Из полученных зависимостей определялись средние по времени значения, а также пульсационные составляющие измерительного скаляра для каждой ячейки сетчатого датчика. Усредненные значения использовались для построения распределений измерительного скаляра, а на основе пульсационных составляющих строились частотно-энергетические спектры сигналов;

- построены распределения (картограммы) измерительного скаляра (5) по сечению экспериментальной модели при различных положениях инъекционного капилляра, позволяющие судить о наличии характерного для турбулентного потока размывания трассера с увеличением расстояния от точки подачи;

- построены графики и картограммы радиальной дисперсии трассера для характерных сечений экспериментальной модели (рисунок 2).

Получено хорошее согласие оценок осредненных характеристик потока с данными других исследователей. Форма распределения согласуется с теорией Тейлора, согласно которой распределение частиц трассера в спутном турбулентном потоке подчиняется модели «случайного блуждания» [2]. Обработка данных позволила весьма достоверно оценить временные и геометрические (волновые числа $k = 20-75 \text{ м}^{-1}$, размеры 13-50 мм) масштабы вихрей, распределения спектральной плотности энергии турбулентности в ядре потока.

Промышленную апробацию созданная измерительная система будет проходить на крупномасштабном верификационном исследовательском стенде НГТУ им. Р.Е. Алексеева по изучению смешения неизотермических потоков в проточной части модели реактора РИТМ-200 для универсального атомного ледокола (УАЛ).

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках договора № 02.G25.31.0124 от 3 декабря 2014 г. (в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218).

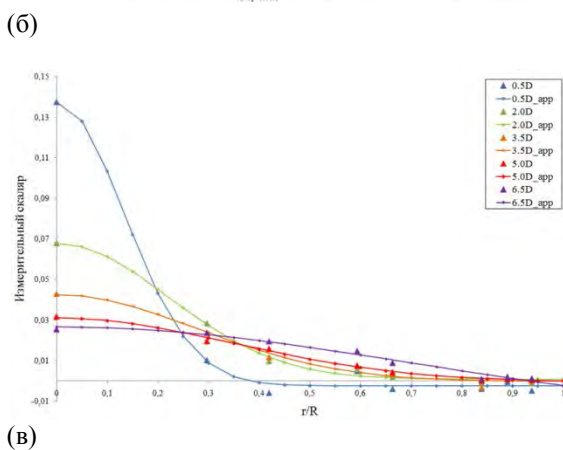
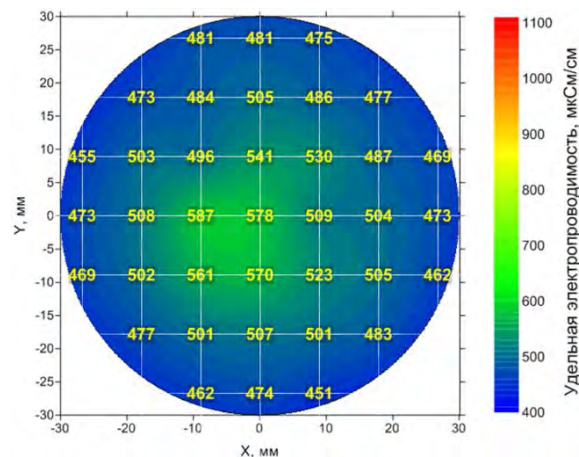
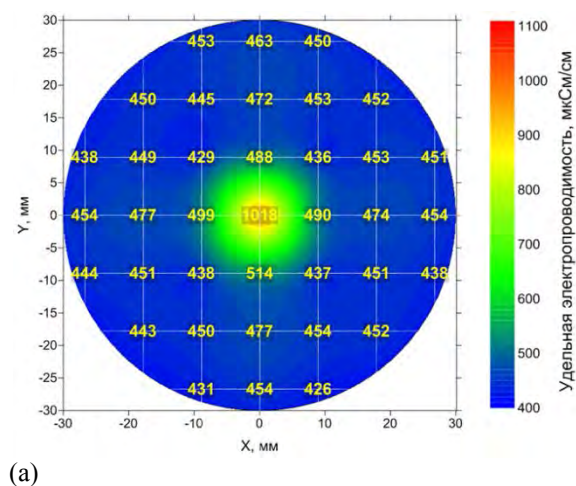


Рисунок 2 – Дисперсия примеси в турбулентном потоке: (а) – картограммы интерполированного осредненного распределения проводимости в сечении 0,5D, (б) – в сечении 5D от места впуска трассера; (в) – осредненные графики распределения измерительного скаляра и аппроксимации (на рис. «app») функцией Гаусса; D – гидравлический диаметр канала; r/R – относительное расстояние по радиусу канала

Список использованных источников

1. «Развитие стендовой базы НГТУ им. Р.Е.Алексеева для верификации CFD программ // С.М.Дмитриев [и др.]. – сборник тезисов НТС «Проблемы верификации и применения CFD-кодов в атомной энергетике». – Н.Новгород, 2016. – с.17-18.
2. G. Taylor. The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. Proceedings of the Royal Society of London. – 1954. – P. 446-468.

УДК 681

КОМПЛЕКСНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АУДИОСИГНАЛОВ В СФЕРЕ ТЕЛераДИОВЕЩАНИЯ

Бобрикович А.А., Гусев О.К.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В основу метода контроля качества передачи звуковых сигналов положено комплексное статистическое оценивание параметров сигнала, определяющих, в конечном итоге, оценку качества его передачи слушателем. В процессе оценки используются наиболее информационно значимые параметры из многочисленных характеристик сигнала. По результатам измерений формируется многомерное векторное пространство, определяющее область существования сигнала.

Такой подход лежит в основе метода комплексного статистического контроля качества аудиосигналов (МКСК).

Комплексный статистический контроль включает в себя комплексный анализ статистик энергетических и спектральных параметров сигнала, а также параметров формы сигнала и оценку их изменения в результате передачи сигнала по каналам и трактам с адаптивно изменяющимися при проведении контроля характери-

стиками. Статистический контроль дополняется введением шкалирования полученных параметров по известным оценкам качества передачи конкретных звучаний и результатам субъективно статистических испытаний (ССИ). Такой подход к оценке качества передачи звуковых сигналов во многих случаях остается единственно возможным, так как многообразие возможных помех и искажений сигнала в каналах передачи делает малообъективной любую оценку, сформированную вне воспринимающего субъекта или его модели. А корреляция результатов ССИ и МКСК не только выводит на качественно новый уровень сам процесс проведения измерений и представления результатов контроля, но также предполагает дальнейшее стремительное развитие данного метода наряду с развитием вычислительной мощности аппаратуры комплексного статистического контроля (АКСК). [2].

В соответствии с МКСК, по результатам анализа изменений статистических характеристик сигнала формируется обобщенная оценка заметности изменений сигнала в процентах и «балльная оценка» качества передачи по 5-балльной шкале. В качестве измерительного инструмента МКСК используется АКСК, осуществляющий вычисление, построение и анализ статистических характеристик ряда параметров, а также изменений этих характеристик на основе сравнения искаженного в канале и исходного сигналов (программно-аппаратный комплекс Spectralab).

Полученные оценки отображаются на дисплее АКСК, на экран также выводится оценка коэффициента передачи канала, сформированная по реальному сигналу. В случае выхода оценки за пределы допуска, для канала данного класса конкретизируются параметры сигнала, определяющие ее снижение, и предлагаются рекомендации по необходимой коррекции характеристик канала передачи.

Измерения могут производиться как с выведением, так и без выведения канала из эксплуатации, возможен также экспресс-контроль канала в процессе эксплуатации по ограниченному набору рекомендуемых параметров.

При проведении измерений с выведением канала из эксплуатации АКСК подключается к входу и выходу канала, по которому осуществляется передача специально подготовленной испытательной программы, входящей в комплектацию (базу данных) АКСК. В программу включены сигналы, обеспечивающие наиболее полный контроль свойств канала.

После приема испытательной программы аппаратурой комплексного статистического контроля (ИП АКСК) на приемной стороне, сравнивая статистические свойства переданного и принятого сигналов, автоматически формирует оценку заметности изменений сигнала и балль-

ную оценку качества передачи. При расчетах используется испытательные программы (ИП) из имеющейся базы данных.

В случае выхода оценки за пределы допуска для канала данного класса конкретизируются параметры сигнала, определяющие ее снижение, и предлагаются рекомендации по необходимой коррекции характеристик канала передачи.

При проведении измерений без выведения канала из эксплуатации, контроль осуществляется с использованием реального вещательного сигнала, передаваемого по каналу передачи. АКСК подключается к входу и выходу канала и производит сбор статистики о свойствах сигнала на длительности, соответствующей интервалу стационарности для данной программы. Длительность интервала стационарности определяется в АКСК автоматически по отсутствию изменений в статистических свойствах сигнала. Для программ радио это 1...2 часа. Структурная схема организации измерений приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема организации измерений без выведения канала из эксплуатации. АКСО – блок аппаратно-программного комплекса

Статистические параметры аудиосигналов, использованные в рамках МКСК позволяют определить степень искажения сигнала в канале передачи, и, что не мало важно, результаты возможной коррекции этих искажений. [4].

Результаты исследования эффективности обработки звуковых сигналов с использованием автокорректоров уровня и аудиопроцессоров, применяемых на каналах телерадиовещания приведены на рисунке 2.

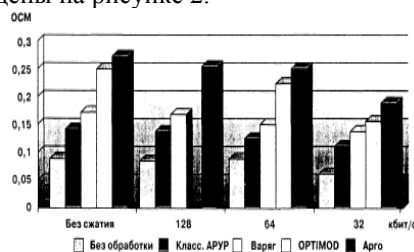


Рисунок 2 – Результаты предварительной обработки аудиосигналов в канале передачи программ

Использовались модель стандартной классической обработки (АРУ), АП OPTIMOD (ORBAN – США), цифровой ограничитель «ВАРЯГ» и АП «АРГО».

Из гистограммы следует, что предварительная обработка звуковых сигналов позволяет по-

высить относительную среднюю мощность (ОСМ), которая затем уменьшается в канале пропорционально используемой скорости передачи цифрового потока.

Объективная оценка изменений звуковых сигналов в каналах передачи, близкая к результатам объемных ССИ, может быть получена с использованием статистических распределений определенного количества параметров. При этом важен тот факт, что при соблюдении основных пунктов методики измерений, трудоемкость формирования такой оценки и конечная стоимость проведения измерений существенно ниже, а точность и повторяемость гораздо выше, чем при проведении ССИ.

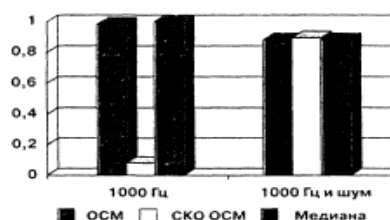


Рисунок 3 – Результаты измерений ОСМ гармонического сигнала и наложения сигнал/шум

На рисунке 3 приведены результаты измерений ОСМ гармонического сигнала 1000 Гц и такого же сигнала, но с подмешанным розовым шумом мощностью 2% от мощности сигнала. [1].

В результате получается, что введение шумовой составляющей четко фиксируется параметрами распределения. Поэтому интегральные статистические распределения являются основной альтернативой традиционным измерениям при определении качества передачи в каналах, не сохраняющих форму сигнала, т.е. практически всех современных аналоговых и цифровых каналов [3].

1. Попов О. Б. Рихтер С. Г. «Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания» – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 306 с.
2. Бобрикович А. А. Гусев О. К. Воробей Р. И. «Метод комплексного статистического контроля качества аудиоаппаратуры»// Сборник тезисов. – Приборостроение 2015. Минск. С. ..
3. Architectural acoustic: Databook / Elsevier Academic Press. – Marshall Long, 2006. – 761 с.
4. Ковалгин Ю. А. Вологдин Э. И. «Аудиотехника» – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 696 с.

УДК 621.384.3: 616.073.65

МОНИТОРИНГ МЕТОДИК УСКОРЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОДИОДОВ ТЕРМОГРАФАМИ С РАЗНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Бумай Ю.А.¹, Куклицкая А.Г.¹, Бернацкая М.Д.¹, Трофимов Ю.В.², Цвирко В.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

Разработка методик ускоренной деградации светоизлучающих диодов (СИД) необходима для оценки их качества, чтобы при включении в состав светодиодных излучателей гарантировать долговременную эксплуатацию последних с сохранением спектральных и светотехнических характеристик [1].

Методика ускоренной деградации СИД за счет перегрева излучающего кристалла из-за наличия на поверхности линзы слоя мелкодисперсных частиц моделирует реальные условия эксплуатации светодиодных излучателей в производственных помещениях, при которых на внешней поверхности рассеивателя образуется слой пыли и сажи.

При отработке методики проводились модельные эксперименты, в которых на поверхность линзы СИД наносился слой сажи, полученной при сжигании камфары, и исследовались зависимости поверхностного разогрева от величины питающего тока для СИД

с монохроматическим излучением - НМНР-Е1LG Helio и СИД со сложным спектральным излучением - MX6 Cree cool white (белого свечения).

Мониторинг разогрева излучающей поверхности СИД осуществлялся термографами с различной спектральной чувствительностью - ИРТИС-2000 (РФ) и ThermaCAM A325 фирмы FLIR-systems (США). Тепловизор ИРТИС-2000 чувствителен к инфракрасному излучению в диапазоне длин волн 3-5 мкм, спектральный диапазон тепловизора ThermaCAM A325 - 7,5-13 мкм. Кроме различной спектральной чувствительности, указанные термографы характеризуются практически совпадающими температурной чувствительностью, диапазоном измеряемых температур и погрешностью измерения.

Мониторинг предполагал регистрацию серии термограмм излучающей поверхности СИД различного свечения при наличии слоя

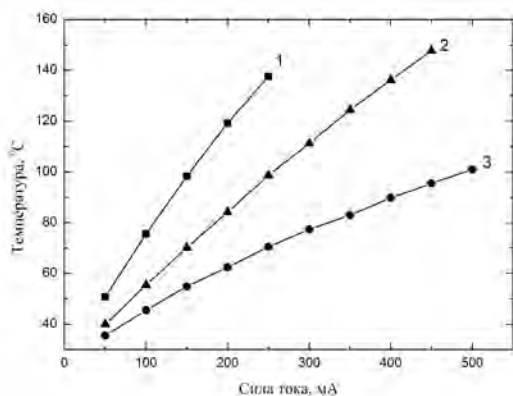
камфарной сажи в условиях возрастания тока питания от 10 мА до 500 мА с шагом в 50 мА.

Ранее авторами было установлено, что поверхностная температура СИД со сложным спектральным составом излучения, измеренная термографом ThermoCAM A325 существенно выше температуры, зарегистрированной термографом ИРТИС-2000. Расхождение результатов измерений достигало десятков градусов Цельсия [2].

Существенное расхождение в значениях температуры, превышающее нормированную погрешность термографов, свидетельствовало о регистрации в более длинноволновой области излучения, избыточного над тепловым. Это можно объяснить, в частности, наличием флуоресценции продуктов горения камфары в данном спектральном интервале, возбуждаемой синей частью спектра излучения СИД [2].

С целью обнаружения влияния флуоресценции продуктов сгорания камфары на показания термографа FLIR ThermoCAM A325, работающего в длинноволновой области инфракрасного спектра (диапазон длин волн 7,5–13 мкм), проведены экспериментальные исследования тепловых режимов однотипных СИД Helio ультрафиолетового (НМНР-Е11U), синего (НВНР-Е11В) и зеленого (НМНР-Е11G) свечения.

На рисунке 1 приведены графики зависимостей температуры поверхности СИД от силы тока.



1 – синий; 2 – ультрафиолетовый; 3 – зеленый

Рисунок 1 – Зависимости температуры поверхности синего, ультрафиолетового и зеленого СИД от силы тока

Приведенные результаты хорошо согласуются с полученными данными экспериментальных исследований тепловых режимов СИД МХ6 Сгее белого свечения, в спектре которого имеются полосы в сине-фиолетовой области спектра (излучение кристалла СИД) и желто-зеленой (излучение люминофора) [2].

Следует отметить, что зарегистрированные термографом ИРТИС-2000 со спектральным диапазоном 3-5 мкм термограммы дают практи-

чески совпадающие зависимости разогрева от тока для всех типов СИД, зависимости разогрева от тока для монохроматического СИД зеленого свечения практически совпадают для обоих типов термографов [1,2].

Такая же ситуация наблюдалась при исследовании тепловых режимов СИД белого свечения в составе покрытого камфарной сажой светодиодного модуля, разработанного в Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси, термографами с различной спектральной чувствительностью ИРТИС-2000МЕ и ThermoCAM A325, что также свидетельствует о наличии в длинноволновой ИК-области излучения, избыточного над тепловым.

На рисунке 2 представлена термограмма излучающей поверхности светодиодного модуля на основе СИД белого свечения с нанесенной на поверхность камфарной сажой, зарегистрированная термографом ThermoCAM A325.

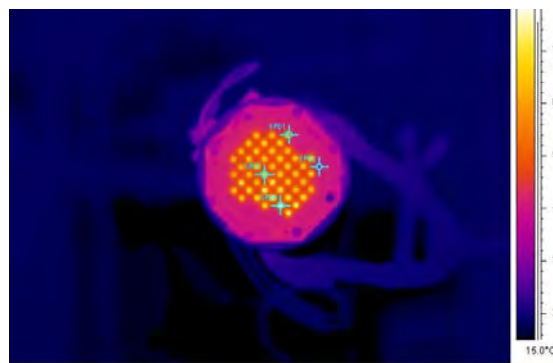


Рисунок 2 – Термограмма светодиодного модуля, зарегистрированная термографом ThermoCAM A325

На термограмме отмечены точки, в которых измерена температура.

Термограмма излучающей поверхности того же светодиодного модуля, полученная с помощью термографа ИРТИС-2000, приведена на рисунке 3.

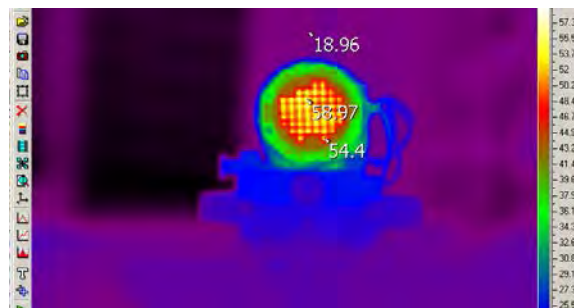


Рисунок 3 – Термограмма светодиодного модуля, зарегистрированная термографом ИРТИС-2000

Термограф ThermoCAM A325 зарегистрировал разогрев в области отдельных СИД до 80°C,

тогда как термограф ИРТИС-2000 показал существенно меньший разогрев – до 60°C. Разница температур в 20°C хорошо согласуется с данными для СИД различного свечения, приведенными выше, с учетом того, что ток питания СИД в составе излучателя, не достигает предельных значений в 300– 500 мА.

Таким образом, мониторинг методики ускоренной деградации СИД показал:

- результаты измерения температуры излучающей поверхности СИД, покрытой слоем мелкодисперсных частиц, термографами с различной спектральной чувствительностью могут существенно отличаться;

- разность измеренных температур значительно превышает пределы нормированной погрешности термографов и может быть обусловлена флуоресценцией продуктов сгорания камфары;

- измерения температуры светодиодных излучателей со сложным спектральным составом

при наличии производственных загрязнений на излучающей поверхности предпочтительно проводить термографами, чувствительными к более коротковолновому инфракрасному излучению.

1. 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 / в сб. Приборостроение-2014 (м-лы 6 МНТК). Минск: БНТУ, 2014. - С. 41-42.
2. Бумай Ю.А., Куклицкая А.Г., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И. Исследование тепловых режимов излучающих объектов термографами с разным спектральным диапазоном / в сб. Приборостроение-2014 (м-лы 7 МНТК). Минск: БНТУ, 2015. – Т. 1. - С. 55-57.

УДК 620.179.14/15

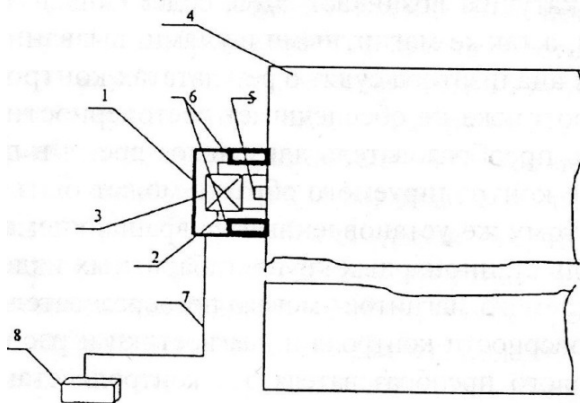
ДАТЧИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Бусько В.Н.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

При использовании магнитного метода эффекта Баркгаузена (МЭБ) с целью исследования, неразрушающего контроля (НК) и диагностики ферромагнитных материалов и изделий применяются различные типы магнитошумовых преобразователей Баркгаузена (ПБ), или датчиков, накладного типа. Большинство из них работают в условиях, когда их необходимо держать в руках или крепить на поверхности исследуемого материала механическим способом, что является не всегда удобным или практически невозможным. Кроме того, из-за невозможности удерживать датчик длительное время вручную или при контроле крупногабаритных конструкций, а также в труднодоступных зонах снижается достоверность и эффективность измерений и контроля.

Для повышения эффективности проведения исследований и НК сложных, крупногабаритных и труднодоступных элементов стальных конструкций предлагается использовать датчик, общий вид которого и пример установки на вертикальную поверхность крупногабаритного объекта представлены на рисунке 1.



- 1–корпус датчика; 2–П-образный магнитопровод;
- 3–намагничивающая катушка; 4–контролируемое изделие;
- 5–индикаторная катушка; 6–постоянные магниты; 7–сигнальный кабель;
- 8–измерительный блок

Рисунок 1 – Общий вид и пример установки датчика на вертикальную плоскость конструкции (образца)

Сущность предлагаемого датчика состоит в том, что он снабжен двумя постоянными полосовыми магнитами 6 [1] (рисунок 2), расположенными и закрепленными на противоположных

сторонах магнитопровода 2 П-образной формы и соосно с полюсами магнитопровода, выполненного из магнитномягкого феррита, обладающего высокой магнитной проницаемостью. Намагничивающая катушка 3 для создания в участке контролируемого изделия 4 магнитного поля расположена на центральном плече П-образного магнитопровода. Индикаторная катушка 5, предназначенная для регистрации интенсивности магнитного шума, помещена в ферритовый сердечник броневого типа и расположена посередине между полюсами магнитопровода. Все элементы датчика расположены в корпусе 1.

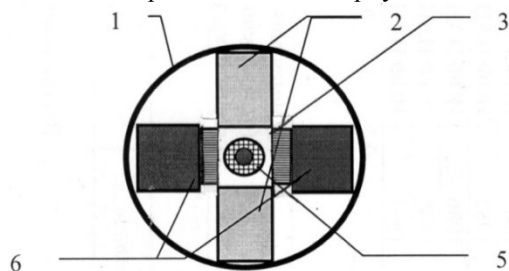


Рисунок 2 – Взаиморасположение постоянных магнитов, индикаторной и намагничивающей катушек, полюсов магнитопровода датчика (вид снизу)

Длина L , ширина b и толщина d постоянных магнитов должны быть соизмеримы с габаритами датчика и свободно размещаться в корпусе. При этом магнитное поле от постоянных магнитов незначительно влияет на величину магнитного шума, измеряемого магнитошумовым анализатором 8 с помощью сигнального кабеля 7. Магнитное поле, создаваемое постоянными магнитами в данном случае выполняет роль надежного фиксатора и своеобразного крепления и удерживает ПБ на поверхности элемента стальной конструкции, расположенной вертикально, наклонно относительно земли или имеет вогнутые или выпуклые контролируемые участки (рисунок 1). Магнитный материал постоянных магнитов выбирается из условия, чтобы их суммар-

ная магнитная энергия W обеспечивала удержание ПБ на поверхности изделия, находящегося в любом пространственном положении. В свою очередь W зависит от химического состава материала магнитов, размеров, способа изготовления и направления намагничивания, а также габаритов и массы датчика.

Так, датчик может устанавливаться на любую вертикальную и наклонную плоскость поверхности образца при длительных исследованиях или испытаниях. С помощью длинного шеста может быть установлен на боковую стенку крупногабаритного контролируемого изделия (нефтеналивные резервуары, газгольдеры, опоры моста, башни, балки и пр.), которое может находиться высоко над землей, на участок, где необходимо провести измерения.

Установленный и удерживаемый таким образом на объекте контроля датчик позволяет существенно расширить функциональные возможности использования магнитошумовых преобразователей.

Для проведения исследований и осуществления НК стальных изделий и элементов конструкций с выпуклыми или вогнутыми поверхностями индикаторная катушка должна быть расположена на упругом элементе в виде пружины, расположенной посередине между полюсами магнитопровода.

Таким образом, появляется возможность проводить измерения магнитного шума и осуществлять контроль практически на любых (наклонных, вертикальных, угловых) поверхностях различных элементов стационарных стальных конструкций, находящихся в удаленных и труднодоступных для контроля зонах, когда отсутствует возможность или затруднен доступ при измерении сигнала с помощью оператора.

1. Патент на изобретение РБ 2113, МПК G01 N27/72. Магнитошумовой преобразователь / Бусько В.Н.; заяв. – «ИПФ НАН Беларуси» //Аф. Бюлл. № 3, 2005. - С. 99-100.

УДК 535.2:616-71

УГЛОВАЯ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Венцурик А.В., Безуглый М.А.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. И. Сикорского»
Киев, Украина

Развитие лазерных и компьютерных технологий способствовало внедрению оптических методов в различные сферы неразрушающего контроля, начиная от исследования рассеивающих сред и материалов в технике и заканчивая диа-

гностикой состояния тканей и органов в биологии и медицине. Продолжая изучение свойств и возможностей эллипсоидальной фотометрической аппаратуры [1], в данной работе проведен ряд практических экспериментов, позволяющих

с позиций оптики светорассеяния по новому взглянуть на взаимодействие оптического излучения с мутными средами.

В работе рассмотрены особенности реализации усовершенствованного метода эллипсоидальной рефлектометрии, который позволяет осуществлять исследования оптических свойств рассеивающих сред при различных углах падения и энергетических характеристиках зондирующего оптического излучения. Для практической реализации метода была разработана экспериментальная установка [2], которая в качестве измерительного ядра использует эллипсоидальный рефлектор с характерным продольным пазом для ввода оптического излучения под различными (изменяемыми) углами. Также установка имеет механизм микрометрической регулировки высоты, что позволяет работать с различными толщинами исследуемых сред, и юстировочные приспособления для достижения горизонтальности базовой линии и соосности рефлектора, вспомогательной оптической системы и ПЗС камеры. Изменение энергетических характеристик падающего излучения достигается путем регулировки мощности универсального источника питания лазерных полупроводниковых излучателей соответствующей длины волны (650 нм (красный) 532 нм (зеленый) или 405 нм (синий) при номинальной мощности 5 мВт каждого из них), разработанного авторами.

Для получения фотометрических изображений использованы средства ПЗС фотометрии, что и в работах [2, 3].

На основании механизма обработки изображений при эллипсоидальной фотометрии [3] была усовершенствована методика анализа фотометрических изображений при угловой рефлектометрии, основными отличительными структурными элементами зонного анализа которых являются эллипсы коллимированного потока и направленного отражения, а также эллиптическое кольцо малоуглового рассеяния.

Для получения искомым значений оптических параметров сред был применён сравнительный метода отсчета. В качестве эталонов выступили плоскопараллельные пластины молочного стека МС-20 толщиной 3, 5 и 10 мм с априори равномерным распределением рассеивающих центров и осесимметричным характером анизотропии рассеяния.

В качестве исследуемых образцов была выбрана мышечная ткань свиньи и курицы различных толщин. Ткань была отделена перпендикулярно направлению размещения волокон для обеспечения минимально возможных отклонений величины фактора анизотропии рассеяния при последующем численном эксперименте методом статистического моделирования Монте-Карло [4] и выдержана в нормальных условиях

физиологическом растворе 0.9% NaCl на протяжении 30 минут.

В результате были получены группы фотометрических изображений на различных длинах волн при различных углах наклона лазерного модуля с шагом 2.5° , наиболее характерные из которых приведены на рисунках 1–4.

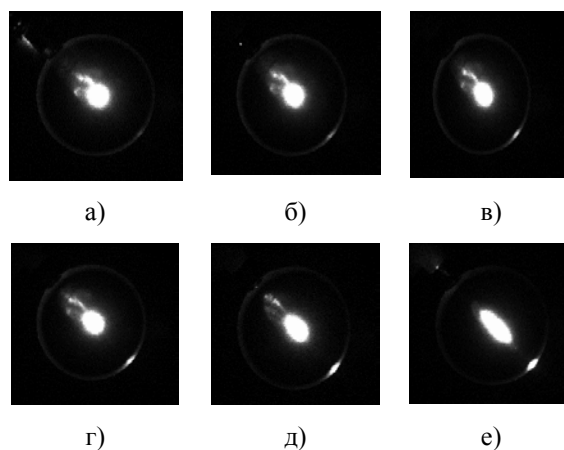


Рисунок – 1 Фотометрические изображения рассеянного излучения на длине волны 532 нм образцами мышечной ткани свиньи толщиной 3.6 ± 0.26 мм при углах наклона падающего излучения: 60° (а); 50° (б); 45° (в); 40° (г); 30° (д); 20° (е)

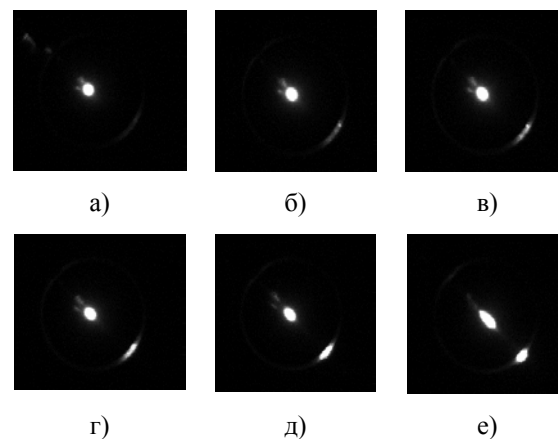


Рисунок 2 – Фотометрические изображения рассеянного излучения на длине волны 405 нм мышечной ткани курицы толщиной 3.2 ± 0.49 мм при углах наклона падающего излучения 60° (а); 50° (б); 45° (в); 40° (г); 30° (д); 20° (е)

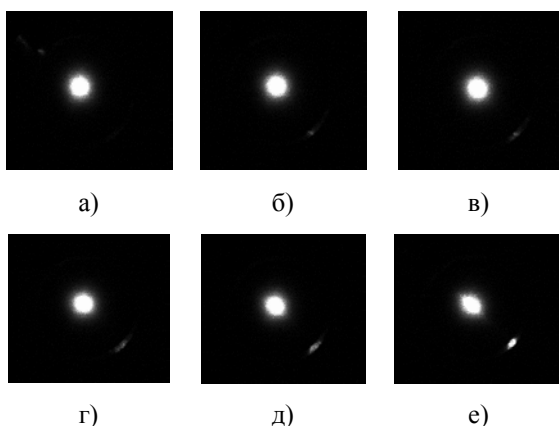


Рисунок – 3 Фотометрические изображения рассеянного излучения на длине волны 650 нм мышечной ткани курицы толщиной 3.2 ± 0.49 мм при углах наклона падающего излучения 60° (а); 50° (б); 45° (в); 40° (г); 30° (д); 20° (е)

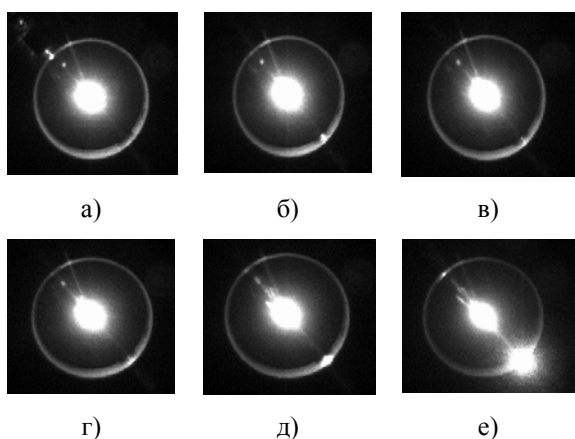


Рисунок 4 – Фотометрические изображения рассеянного излучения на длине волны 405 нм молочным стеклом МС-20 толщиной 10 мм при углах наклона падающего излучения: 60° (а); 50° (б); 45° (в); 40° (г); 30° (д); 20° (е)

На основании полученных фотометрических изображений построены графики изменения уровня освещенности отдельных зон изображения в зависимости от угла падения лазерного

излучения, которые хорошо коррелируют с вычисленными значениями оптических параметров исследуемых сред и тканей. В то же время, аналитические закономерности, которые могут лечь в основу построения прогностических моделей оценки характера рассеяния оптического излучения мутной средой, остаются не выясненными.

Авторы считают, что решение данной задачи находится в плоскости построения адекватной модели взаимодействия оптического излучения с рассеивающей одно- или многослойной средой при корректном использовании начальных данных, которые содержат параметры лазерного излучения и угол наклона, с высокой точностью.

Помимо программной и модельной задачи перед авторами стоит также задача создания опытного образца системы, реализующей предложенный принцип. Сферой применения угловой эллипсоидальной рефлектометрии, помимо области оптической биометрии рассеивающих сред и тканей, может стать и область исследования непрозрачных лакокрасочных и диэлектрических покрытий.

1. Bezuglyi, M.A. Ellipsoidal reflectors in biomedical diagnostic / M.A. Bezuglyi, N.V. Bezuglaya // Proc. SPIE. - 2013. - P. 9032.
2. Венцурик, А.В. Установка для кутовой эллипсоидальной рефлектометрии / А.В. Венцурик // Збірник тез доповідей конференції «Погляд в майбутнє приладобудування», Київ, НТУУ «КПІ». 2016. - С.121.
3. Безуглый, М.А., Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии / М.А. Безуглый, Н.В. Безуглая, А.Б. Самиляк // Приборы и методы измерений. - 2016; № 7(1). – С. 67-76.
4. Безуглая, Н.В. Особенности анизотропии светорассеяния волокнистыми биологическими тканями / Н.В. Безуглая, М.О. Безуглый, Г.С. Тымчик // Вестник НТУУ «КПІ». Серия «Приборостроение». - 2015. - № 2(50). – С. 169-175.

УДК 535.317:532.527

ВИХРЕВАЯ ГАЗОВАЯ ЛИНЗА

Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Шаронов Г.В.

Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ
Минск, Республика Беларусь

Для проведения оптического экспресс – анализа параметров газовых выбросов промышленных производств и технических средств с высоким пространственным разрешением различ-

ными методами и устройствами требуется периодическая перефокусировка зондирующего светового пучка. В условиях длительной эксплуатации таких устройств применения для этой

цели стеклянных линз неэффективно, так как их поверхности будут загрязняться, что приведет к снижению точности и надежности измерений. В этих условиях целесообразно использовать газовые линзы.

Газовые линзы, достаточно подробно и всесторонне описанные в литературе, могут быть созданы различными способами. Из публикаций видно, что наиболее рациональными для массового пользования являются термогидродинамические газовые линзы. Однако характеристики последних, например, зависят от ориентации в пространстве, что снижает возможности их применения в данном случае. Для эффективной реализации устройств бесконтактного экспресс-анализа, обладающих повышенным пространственным разрешением, разработаны газовые линзы, основанные на применении вихревого эффекта.

Вихревой эффект Ранка-Хилша представляет собой сложный газодинамический процесс и обуславливает перераспределение температуры в поперечном сечении неизотермического закрученного турбулентного потока вязкого сжимаемого газа. Устройство, в котором реализуется такой эффект, называется трубой Ранка-Хилша или вихревой трубой [1]. Однако, если учесть, что показатель преломления газа приближенно прямо пропорционален давлению и обратно пропорционален температуре, то вихревой поток, реализующийся в вихревой трубе, с осесимметричными полями температуры и давления, имеющими высокие радиальные градиенты, может быть использован для разработки средств генерации, управления, диагностики и передачи лазерного излучения.

Известно несколько конструкций вихревых труб [1]. В наших экспериментах использовались модифицированные конструкции двухстороннего варианта прямооточной вихревой трубы. Исследования оптических характеристик вихревой системы осуществлялись в трех режимах: в момент подачи в нее воздуха (1-й нестационарный режим), при стационарном режиме подачи и в момент отключения подачи воздуха (2-й нестационарный режим).

На рисунке 1 приведены зависимости фокусного расстояния (при стационарном режиме подачи воздуха в вихревую трубу) от длины вихревой зоны (при давлении газа на входе $1,5 \text{ кг/см}^2$) для трех размеров кольцевых шайб дросселя, посредством которых менялось гидравлическое сопротивление и, тем самым, соотношение расходов потоков горячего и холодного воздуха.

На рисунках 2 – 4 показаны распределения интенсивности и их денситограммы в поперечном сечении светового пучка для трех упомянутых режимов его формирования газодинамической системой. Для всех режимов длина вихревой зоны l_v лежит в пределах 4 - 5 калибров.

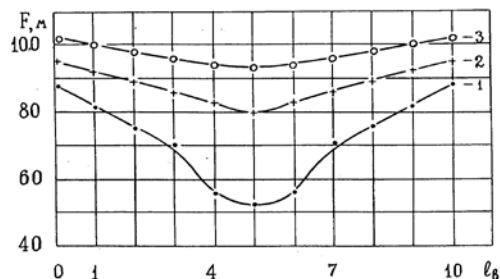


Рисунок 1 – Зависимость фокусного расстояния от длины вихревой зоны

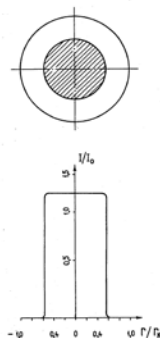


Рисунок 2 – Распределение интенсивности в сечении пучка – первый нестационарный режим

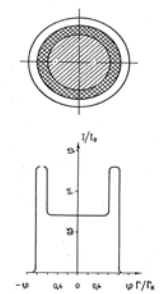


Рисунок 3 – Распределение интенсивности в сечении пучка – стационарный режим

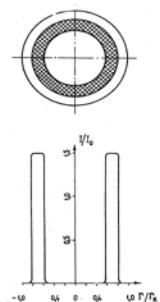


Рисунок 4 – Распределение интенсивности в сечении пучка – второй нестационарный режим

В момент пуска вихревой трубы наблюдалась фокусировка светового потока с равномерным распределением интенсивности по сечению светового пятна (рисунок 2). Время наблюдаемого

эффекта составляло 7 – 8 с. В период стационарного режима работы этой же вихревой трубы наблюдалось перераспределение интенсивности по сечению светового пятна и формирование светового пучка с провалом интенсивности, когда периферийное кольцо имеет большую интенсивность, чем центральная часть пятна. Меняя режим работы вихревой трубы, можно регулировать величину интенсивности центральной части пятна (рисунок 3). Отключив подачу воздуха в вихревую трубу, получаем устойчивое распределение интенсивности светового пятна, когда все лучи пучка резко концентрируются в периферийном кольце (рисунок 4). Время существования наблюдаемого эффекта продолжалось в течение 45 – 90 с.

Во всех приведенных экспериментах максимальная интенсивность периферийного светового кольца наблюдалась в пределах $r/r_k = 0,55 - 0,85$ (где r_k – внутренний радиус перемещаемой трубы), что соответствует границе раздела свободного и вынужденного вихрей. Появление этой границы раздела происходит в момент перестройки свободного вихря (для которого характерен закон потенциального течения) в вынужденный вихрь (для которого характерен закон вращения твердого тела). В результате перестройки вихря возникает центробежный поток кинетической энергии и центростремительный поток тепла, обусловленные разностью статических температур. Если учесть зависимость показатель преломления газа от давления и температуры и рассмотреть по отдельности две вихревые зоны, то можно предположить для момента отключения подачи воздуха в вихревую трубу следующее: для периферийной высокотемпературной зоны высокого давления – фактор давления преобладает над температурой – наблюдаем фокусировку на периферии; для осевой низкотемпературной зоны низкого давления – фактор температуры преобладает над давлени-

ем – наблюдаем расфокусировку в центре. Тогда максимум интенсивности световых лучей наблюдается в периферийном кольце (рисунок 4).

Для стационарного режима работы вихревой трубы, как и для момента отключения подачи в нее воздуха, наблюдаем фокусировку пучка на периферии, а соотношения между давлением и температурой для периферийной высокотемпературной зоны высокого давления остаются прежними. Однако в осевой (центральной) зоне происходит одновременно фокусировка и дефокусировка (фактор давления соизмерим с температурным). Поэтому можно регулировать величину интенсивности центральной части пятна посредством дросселя (рисунок 3).

В момент пуска вихревой трубы еще не происходит формирование и разделение свободного и вынужденного вихрей с четкой границей раздела между ними и плотность воздушного потока в осевой зоне будет выше, чем в периферийной зоне. В этом случае наблюдаем фокусировку светового потока с равномерным распределением интенсивности по сечению светового пятна (рисунок 2).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об оригинальных возможностях, обеспечиваемых термооптическими характеристиками вихревых систем. Вихревые системы могут быть пригодны для формирования разных профилей интенсивности (с провалом в центре, кольцевых) световых пучков диаметрами от 0,003 до 0,056 м. Системы могут фокусировать и дефокусировать пучки излучения упомянутых размеров в широком спектральном диапазоне (от УФ до ИК) в широком интервале фокусных расстояний: 0,3 – 800 м.

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – Москва: Машиностроение, 1969. – 183 с.

УДК 004.451(075)

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОС РВ

Волосатова Т.М.

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация*

Введение. Материалы публикации содержат основные результаты анализа основных направлений развития бортовых ЭВМ и операционных систем реального времени. На основе проведенного анализа определены основные аспекты информационной безопасности бортовых вычислительных средств авионики и, в частности ОС РВ. Учитывается, что для бортовых вычислительных средств (БВС) авионики вопросы информаци-

онной безопасности необходимо рассматривать параллельно с вопросами надежности аппаратных компонент БВС. При анализе учтены БВС жёсткого реального времени. Область применения таких вычислительных средств - бортовые системы управления, системы аварийной защиты, регистраторы аварийных событий. Такие БВС не допускают задержек реакции. Ситуация, в которой обработка событий происходит за

время, большее предусмотренного, в системе жёсткого реального времени считается фатальной ошибкой. При возникновении такой ситуации операционная система прерывает операцию и блокирует её, чтобы, насколько возможно, не пострадала надёжность и готовность остальной части БВС.

1. Аналитический обзор доступной литературы. Цель и задачи исследований. В процессе подготовки рукописи проведен аналитический обзор доступных источников [1-7], позволивший установить, что для разработки средств обеспечения информационной безопасности (ИБ) бортовых вычислительных средств авионики необходима строгая и хорошо формализованная модель угроз. Известные подходы к ее построению основаны на вербальных оценках и обобщении мнений экспертов. При этом невозможно ограничить область адекватности теоретически возможными атаками, то есть обеспечить необходимую полноту модели. Кроме того, такие модели не учитывают лавинообразно нарастающие сбои и отказы (эффект «домино»). Таким образом, целью настоящей публикации является описание разработанной методики формирования модели угроз ИБ БВС. При этом необходим учет функционирования БВС при лавинном нарастании последствий атак. Анализ показал, что основными требованиями к операционным системам реального времени, принятым для эксплуатации в авионике являются:

- Детерминированное предсказуемое поведение при различных нагрузках на систему, необходимое в ответственных приложениях и системах повышенной готовности;
- высокая «живучесть», чтобы при отказе какой-либо части программного обеспечения другая часть продолжала нормально функционировать;
- соответствие различным отраслевым, национальным и международным стандартам;
- требования по надежности - вероятность сбоя в программе должна быть меньше вероятности сбоя аппаратных средств;
- требования по безопасности и секретности данных, в системе должны быть предусмотрены средства защиты от несанкционированного доступа

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Анализ состава бортовых вычислительных средств летательного аппарата (ЛА) с учетом перспектив и динамики их развития.
- Анализ атак на ИБ БВС, возможность которых ограничена физической реализуемостью.
- Выявление условий возникновения спровоцированных лавинных сбоев и отказов.

2. Основные результаты исследований. Модель угроз информационной безопасности программно - аппаратных средств строится путем экспертного перечисления угроз, например:

- угрозы утечки по техническим каналам;
- угрозы несанкционированного доступа (НСД).

Вышеперечисленные угрозы включают в себя:

- угрозы, реализуемые в ходе загрузки операционной системы, направлены на перехват паролей или идентификаторов, модификацию программного обеспечения базовой системы ввода/вывода (BIOS), перехват управления загрузкой;
- угрозы, реализуемые после загрузки операционной системы и направленные на выполнение несанкционированного доступа с применением стандартных функций операционной системы или какой-либо прикладной программы;
- угрозы внедрения вредоносных программ;
- угрозы типа «Отказ в обслуживании»;
- угрозы выявления паролей;
- угрозы удаленного запуска приложений;
- угрозы инициализации недокументированных возможностей программ - приложений.

На основе анализа известных методов построения моделей угроз информационным системам, рассмотренных в [8], в настоящей публикации предлагается метод, основанный на применении нечетких автоматов. Как известно, при табличном описании модели угроз на основе экспертных оценок строится матрица инцидентности, устанавливающая связь «атака – последствие» (таблица 1).

Таблица 1.

Атаки	Последствия атак							
	Q ₁	Q ₂	...	Q _k	...	Q ₁ ⁱ	...	Q ₁ ^j
A ₁	P ₁₁	P ₁₂		P ₁₁				
A ₂	P ₁₁	P ₂₂						
...			
A _n	P _{n1}	P _{n2}						
A ₁ ¹	P ₁₁ ¹	P ₁₁ ²						
A ₁ ²								
...			
A ₁ ^m	P ₁₁ ^m							

В таблице 1 P_{ij} – нечеткое отношение перехода. Рассмотрим автомат с четким входом $i(t)$ и зависимым от времени нечетким отношением перехода $\delta(t)$. Пусть $s(t)$ – нечеткое состояние автомата в момент времени t на конечном множестве состояний $S = \{s_1, \dots, s_n\}$ и i_t – оценка значения $i(t)$. Состояние автомата в момент времени t определяется *min-max* композицией:

$$\begin{aligned} \mu_{s(t+1)}(s_k) &= \\ &= \sup \min (\mu_{s(t)}(s_j), (\mu_{\delta(t)}(s_x, i_t s_j))), \end{aligned}$$

или аналогично ей. Обучение направлено на

изменение нечеткой матрицы переходов:

$$\begin{aligned} \mu_{\delta(t)}(s_k, i_l s_j) &= \mu_{\delta(t-1)}(s_k, i_l s_j), \quad j \neq k, \\ \mu_{\delta(t)}(s_k, i_l s_j) &= a_k \mu_{\delta(t-1)}(s_k, i_l s_j) + \\ &+ (1 - a_k) \lambda_k(t), \end{aligned}$$

где $0 < a_k < 1$, $0 < \lambda_k(t) < 1$, $k = 1, \dots, n$. Константа λ_k определяет скорость обучения. Начало работы автомата возможно без априорной информации $\mu_{s(0)}(s_k) = 0$ или 1, а также с априорной информацией $\mu_{s(0)}(s_k) = \lambda_k(0)$. Величина $\lambda_k(t)$ зависит от оценки функционирования автомата. Доказано, что имеет место сходимость матрицы переходов, независимо от того, есть ли априорная информация, т.е. $\mu_{s(0)}(s_j)$ может быть любым значением из интервала $[0, 1]$. Модель обучения формируется следующим образом. Предполагается, что классификатор имеет в распоряжении множество дискриминантных функций нескольких переменных. Система адаптируется к лучшему решению. Лучшее решение выделяет множество дискриминантных функций, которые дают минимум последствий среди множества дискриминантных функций для данного множества образцов атак. Структурная схема нечеткого конечного автомата приведена на Рис.1. При создании модели угроз ОС РВ такое представление удобно использовать путем применения известных методов каскадной и параллельно – последовательной композиции однотипных автоматов [9].

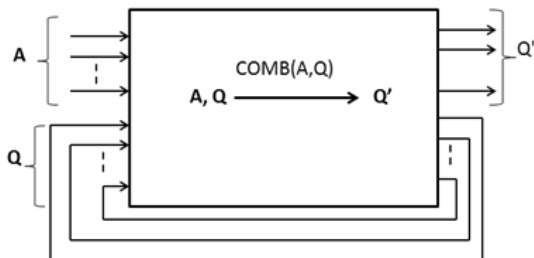


Рисунок 1 – Схема автомата, реализующего модель, либо структурную часть модели угроз.

A – вектор атак, Q – вектор последствий реализации угрозы

Заключение. Предложенный метод формирования моделей угроз ИБ ОС РВ позволяет:

– Формализовать и обобщать экспертные оценки с помощью нечетких переменных алгебры логики.

– Строить наращиваемую формализованную модель угроз.

– Учитывать возникновение возможных «лавинных» атак.

– Обратная связь, отображенная на Рис.1. учитывает лавинные атаки, когда последствия атаки в одном программном модуле становятся новой атакой.

1. Интернет – ресурс: www.aviasafety.ru/crash-stat, последний доступ – 25.12.2013.
2. Интернет-ресурс: Воздушный кодекс РФ от 19.03.1997 N 60-ФЗ / Консультант Плюс, www.consultant.ru/popular/air/. Последний доступ 25.12.2016.
3. Ефанов В.Н. Открытые архитектуры в концепции авионики пятого поколения // Бодрунов С.Д. - Мир авионики. – 2004. – № 5. – С. 20–28.
4. Интернет-ресурс: Е.В. Книга, Принципы организации вычислительных систем перспективных летательных аппаратов/ www.elektropribor.spb.ru/cnf/kmu2013/text/63.d осх. последний доступ 15.04.2016.
5. Зыль С. Операционная система реального времени QNX: от теории к практике. — 2-е изд. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 192 с. — ISBN 5-94157-486-X.
6. Зыль С. QNX Momentics. Основы применения. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 256 с. — ISBN 5-94157-430-4.
7. Евгенов А.В. Направления развития интегрированных комплексов бортового оборудования самолетов гражданской авиации. / Авиакосмическое приборостроение. – 2003. – № 3. – С. 48–53.
8. Чичварин И.Н. Структурное моделирование угроз информационной безопасности систем автоматизированного проектирования / Вестник МГТУ. Серия Приборостроение – 2013, - №3. - С.58-75.
9. Алгебраическая теория автоматов, языков и полугрупп/Пер. с англ.; Под ред. М. Арбиба. – М.: Статистика, – 1975. – 335 с.

ОСОБЕННОСТИ БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Вонсевич К.П., Безуглый М.А.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. И. Сикорского»
Киев, Украина

В сложной структуре последствий локальных и глобальных мировых военных конфликтов, травматизма на производстве, врождённых аномалий, дисваскулярности, неоплазии и бытовых травм разного рода, одним из самых значимых факторов выступает потеря конечностей. Так, согласно статистике, показанной в статье [1], в следствии приведённых выше первопричин, в наиболее продуктивном возрасте – от 16 до 54 лет, происходит ампутации рук, ног и их отдельных частей, в том числе и фаланг конечности.

Для преодоления последствий ампутаций, в случаях, где это возможно, могут использоваться несколько медицинских техник, среди которых наиболее продуктивными можно считать трансплантацию и протезирование.

Как известно, протез – это устройство, которое может эстетически или функционально заменить ампутированную часть тела человека. Среди различных вариантов протезных решений, наиболее доскональным и перспективным решением является технология бионического протезирования. Бионический протез – это комплексное устройство, с помощью которого человек может исполнять ряд движений и функций, необходимых в повседневной жизни, а процесс управления им происходит в следствии анализа биологических сигналов непосредственно от ампутанта.

Для изготовления и проектирования качественного бионического протеза исследователю необходимо обеспечить выполнение целого ряда критериев, таких как: наличие достаточного количества степеней свободы, возможность интуитивного управления, внешнее сходство устройства с здоровой конечностью, максимальная энергонезависимость и габаритные размеры. Более того, учитывая среду применения данного типа устройств, для его дальнейшей медицинской имплементации разработчику необходимо придерживаться ряда требований и критериев, присущих медицинским изделиям, в частности – по токсичности используемых в изготовлении материалов и веса готового устройства.

Фактически, проектируя бионические протезы верхних конечностей, исследователи решают целый ряд проблем, связанных с особенностями конструкции приборов, системой управления, наличием тактильной обратной связи, источником питания и другими факторами, которые в конечном счёте и формируют выходные

характеристики прибора и, как следствие, его стоимость.

Исходя из этого, можно утверждать, что каждая отдельная модель бионического протеза является уникальным устройством, с наличием или отсутствием тех или иных функций, но основные функциональные блоки, присущие системам бионических протезов, остаются унифицированными. Пример обобщённой схемы бионического протезного устройства приведен на рисунок 1.



Рисунок 1 – Обобщённая схема бионического протезного устройства верхней конечности

Каждый из описанных функциональных блоков имеет свою значимость в обеспечении корректной работы системы, и должен учитывать не только технико-конструктивные трудности, возникающие в подобном типе устройств, но и отдельные анатомические особенности конечности и специфичность функционирования опорно-двигательного аппарата и нервной системы человеческого организма.

По состоянию на сегодняшний день, существует множество исследований в области бионического протезирования верхних конечностей, где используются различные типы конструкций и систем управления, которые базируются на использовании различных методов измерения биологического сигнала. Наиболее распространённым методом организации системы управления бионическим протезным устройством является использование в качестве управляющего сигнала, полученный методом электромиографии.

Возвращаясь к обобщённой схеме бионического протезного устройства верхних конечностей, при проектировании системы измерения сигнала, важно учитывать не только его очень низкую амплитуду, но и шумовую составляющую. Электромагнитное излучение, артефакты движения конечности, дрейф измерительных

датчиков, температурные колебания и артефакты в следствии работы сердечного органа [2] – это лишь часть помех, которые должны быть отсечены от полезного сигнала, при измерении электромиограммы для дальнейшего её использования в протезировании.

Кроме того, не менее важной особенностью измерения миограм при протезировании является использование поверхностных измерительных электродов разных типов (активных, пассивных, сухих, гелиевых и.т.д), а также их месторасположение на здоровой части конечности.

В зависимости от тех типов движений, которые в теории должен восполнять протез верхней конечности, основными группами мышц, исследуемыми при бионическом протезировании являются: flexor pollicis longus, extensor pollicis longus, flexor carpi uninaris, flexor carpi radialis, flexor palmaris longus extensor, carpi ulinaris [3] и.т.д.

Говоря о системе обработки зарегистрированной информации, важно учитывать довольно сложную форму получаемого сигнала, а также особенности его распознавания и классификации. Так, измеренный, усиленный и отфильтрованный сигнал электромиограммы имеет в своей структуре несколько фаз и ряд определённых характеристик. При проектировании систем обработки миографического сигнала, после записи миограммы, исследователи прежде всего обеспечивают её анализ с помощью разнообразных математических методов (вейвлет преобразования, преобразования Фурье и.т.д). Этот процесс происходит путём выделения характеристических особенностей (таких как авторегрессионные коэффициенты, временные, частотные характеристики и.т.д.) передаточной функции, которые в дальнейшем могут использоваться для классификации измеренного сигнала в соответствии с типом исполняемого движения.

Классификация ЭМГ сигналов и дальнейшее машинное обучение проектируемой системы – один из наиболее сложных этапов в изготовлении бионических протезных устройств. Для реализации этой задачи, исследователями, в основном, используются отдельные уже наработанные математические методы и техники, с возможностью их комбинационного применения и введением определённых изменений. К таким методам можно отнести метод опорных векторов, методы нечёткой логики, нейро-нечётной логики, штучных нейронных сетей и.т.д.

Обеспечение же проектируемого протеза системой обратной связи, так же возможно путём

комбинации различных решений, например – на основании датчиков давления, ультразвуковых датчиков, вибро-моторов и других конструкторских идей, связанных со сбором и передачей тактильной информации к телу пользователя.

Учитывая мобильность рассматриваемых устройств и их функциональное предназначение, не менее важным остается вопрос обеспечения питания в бионических протезах, где габаритные размеры и емкость используемых источников питания должны обеспечивать энергонезависимость протеза хотя бы на 5 часов непрерывной работы.

Итак, исходя из проанализированной информации, авторами было определено основные особенности проектирования бионических протезов верхних конечностей, которые будут использованы в дальнейшем построении собственного устройства.

Авторами был выделен метод электромиографии, как основной и наиболее распространённый метод организации систем управления бионических протезов, который и будет использован в качестве базиса при проектировании собственного инженерного решения.

Для упрощения процесса проектирования и изготовления протеза авторами планируется использование готовой системы измерения электромиографического сигнала, с последующим построением математической модели его верификации, в зависимости от типа используемых в исследовании движений верхней конечности.

Основной целью разработки нового устройства является создание бионического протезного решения, для использования его в случаях частичной ампутации пальцев рук и возможной дальнейшей организацией системы вибро-тактильной обратной связи.

1. Clement, R.G.E. Bionic prosthetic hands: A review of present technology and future aspirations // The Surgeon. – 2011. – № 9. – С. 336-340.
2. Rubanna H.C, Mamun B.I.R, Mohd A.B.M.A. Surface Electromyography Signal Processing and Classification Techniques // Sensors. – 2013. – № 13. – С. 12431-12466.
3. Balbinot A, Schuck A.J, Favieiro G.W. Decoding Arm Movements by Myoelectric Signal and Artificial Neural Networks // Intelligent Control and Automation. – 2013. – № 4. – С. 87-93.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И.,
Костина Г.А., Буйневич М.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) некоторых измерительной системы должны быть чувствительны как к мощности оптического излучения, так и к его спектральному диапазону (длины волны максимума спектральной плотности). При этом, например, для диагностики импульсных плазменных разрядов должно обеспечиваться быстрое действие фотоприемника на наносекундном уровне. Применение традиционных фотоприемников обеспечивает пригодность, основанного на нем оптического метода диагностики, в ограниченной области параметров контролируемого объекта. В любом случае сущность оптических методов сводится к регистрации абсолютной и относительной интенсивностей спектральных линий, полуширины, формы контуров спектральных линий и т.п. Результаты моделирования ФЭП с многозарядными примесями показывают, что на зависимости времени жизни основных и неосновных носителей заряда от плотности мощности оптического излучения существуют две области линейной рекомбинации, разделенной областью нелинейной рекомбинации.

Зависимости, связывающие конструктивные и выходные параметры ФЭП (рисунок 1) характеризуют возможность управления границами поддиапазонов линейности ФЭП с глубокими примесями, т.е. динамическим диапазоном за счет целенаправленного изменения концентрации глубокой акцепторной примеси. Автоматическая перезарядка уровней примеси в разных зарядовых состояниях глубокой многозарядной примеси при увеличении плотности мощности оптического сигнала приводит к формированию двух поддиапазонов энергетической характеристики фотоприемника. 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 .

При изменении мощности оптического излучения происходит изменение концентрации зарядовых состояний примеси с разными энергиями ионизации и автоматическое переключение между уровнями по мере их заполнения соответственно мощности оптического излучения.

Результатом является расширение динамического диапазона чувствительности фотоприемника.



Рисунок 1 – Зависимость границ поддиапазонов энергетической характеристики ФЭП от концентрации примеси акцепторной природы

Параметрами ФЭП в линейных областях энергетической характеристики можно управлять как на стадии изготовления фотоприёмной структуры, так и в уже готовой структуре используя, например, дополнительные воздействия. Так положение границ областей P_L и P_H можно синхронно изменить на несколько десятичных порядков при изменении концентрации примеси (Ge(Cu)) от 10^{12} до 10^{15} см^{-3} (рисунок 1). Положение конкретной энергетической характеристики ФЭП внутри пространства обобщенных характеристик определяется типом материала полупроводника и примеси.

Структура многофункционального датчика в общем случае может включать совокупность одного или нескольких конструктивно объединенных чувствительных элементов, размещенных в зоне действия нескольких физических величин, а также формирующих соответствующие сигналы посредством преобразовательных (передаточных) функций. Целесообразно воспользоваться физической интеграцией процессов внутри объема чувствительного элемента, приняв за основу полупроводниковую поверх-

носно-барьерную структуру (ПБС) МФД, например, металл-полупроводник-металл (с прослойкой окисла, глубокими и мелкими примесными центрами).

Как среда, в которой возможны хранение и обработка информации ПБС содержит три физически различных и электрически связанных области (поверхность – область пространственного заряда (ОПЗ) – объем), границы которых, представляющие собой статические неоднородности, могут служить средством выявления диффузионно-дрейфовых потоков носителей заряда, создаваемых внешними воздействиями.

Основой применения объемно перезаряжаемых светом и электрическим смещением структур является изменение времени жизни и подвижности неравновесных носителей заряда в результате их перераспределения по уровням рекомбинации и прилипания многозарядной примеси. Например, одноэлементная МФД структура МФД с расширенным и переключаемым диапазоном энергетической характеристики работает следующим образом: при изменении мощности оптического излучения происходит изменение концентрации зарядовых состояний примеси с разными энергиями ионизации и автоматическое переключение между уровнями по мере их заполнения, соответственно мощности оптического излучения. Результатом является расширение динамического диапазона чувствительности фотоприемника и реализация автоматического переключения передаточной характеристикой фоточувствительности. Одновременно с переходом от одной линейной области к другой происходит и изменение быстродействия фотоприёмника на основе полупроводника с многозарядной примесью акцепторного типа.

Изменяя интенсивность излучения из области собственного поглощения можно управлять концентрацией примеси в различных зарядовых состояниях с разными уровнями энергии ионизации. В зависимости от плотности мощности оптического сигнала (дополнительного из области собственного поглощения, или основного) реализуются различные зарядовые состояния многозарядной примеси и, соответственно, спектральные характеристики с максимумами на длине волны λ_1 или λ_2 (рисунок 2), переключаемые под воздействием управляющего излучения с длиной волны λ_0 . Управление уровнем интенсивности P управляющей подсветки позволяет регулировать вид спектральной характеристики. Изменение интенсивности управляющей подсветки на длине волны λ_0 позволяет изменять относительную чувствительность фотоприемного устройства к излучению в диапазоне длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_n$ из области примесного поглощения. При мощности управляющего излучения λ_0 $P < P_H$ (рисунок 1)

работает уровень E_2 и фотоприемное устройство чувствительно к излучению с длиной волны λ_1 . При интенсивности управляющего излучения λ_0 $P > P_B$ работает уровень E_1 и фотоприемное 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 фотоприемного устройства либо к спектральной области λ_1 , либо – λ_2 , причем при работе с интенсивностью управляющего излучения $P > P_B$ существенно расширяется динамический диапазон чувствительности фотоприемного устройства.

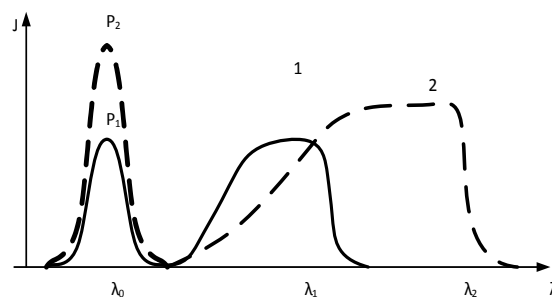


Рисунок 2 – Переключение спектральной зависимости одноэлементного ФЭП

Для реализации оперативного управления видом спектральной характеристики при использовании традиционных фотоприемников понадобилось бы использование в одном устройстве нескольких фотоприемников, каждый с оптическим фильтрующим элементом, настроенным на различные области спектра, светоделительное устройство и схему объединения электрических сигналов. Такие многофункциональные ФЭП могут использоваться в мультиволновых каналах связи, что позволит при тех же характеристиках канала связи сократить число фотоприемников. При этом чувствительность системы (энергетический запас) даже несколько повысится за счет исключения светоделительных элементов из оптического тракта канала связи.

Многофункциональные датчики можно применить и в различных оптических схемах обработки сигнала, например, схеме синхронного оптического детектора, реализующего передачу и информационного и опорного сигнала синхронизации одним оптическим сигналом, причем информационный сигнал передается, например, параметром "мощность оптического сигнала", а сигнал синхронизации – параметром "длина волны оптического сигнала". При этом в обоих каналах используются МФД с переключаемыми характеристиками энергетической и спектральной чувствительности.

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

**Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тьяловский К.Л., Шадурская Л.И.,
Костина Г.А., Буйневич М.В.**

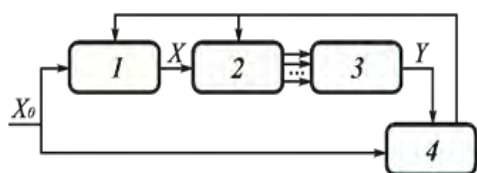
*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Многие задачи в физике, медицине, метрологии, технической диагностике решаются путем регистрации изображений областей, находящихся в рассеивающих оптическое излучение средах. Поэтому актуальными задачами исследований в области технической диагностики являются как изучение методов формирования тестирующего оптического излучения, так и методов регистрации параметров источников излучения и параметров вторичного излучения диагностируемой среды, с учетом гетерогенности свойств объектов контроля. Важной задачей при разработке принципов построения систем оптической диагностики является оценка возможностей первичных преобразователей системы диагностики на основе широкодиапазонных фотоэлектрических преобразователей. В основе оптических методов диагностики лежат как определенные модели исследуемого объекта, так и модели оптического сигнала и процессов формирования оптических характеристик такого сложного объекта, каким является, например, неоднородная нестационарная плазма. Одной из основных проблем при разработке методов оптической диагностики и интерпретации диагностических данных является сложный характер распространения света в биотканях. Аналитически эта задача не может быть решена в общем случае в силу сложной структуры биотканей. Они являются существенно более мутными средами, чем туман – оптически неоднородные поглощающие среды. За счет многократного рассеяния и поглощения при распространении в биоткани лазерный пучок уширяется в поперечном направлении и затухает – в продольном. Формируется значительный поток излучения в обратном направлении (обратное рассеяние). Основными рассеивателями биотканей являются клеточные мембраны, ядра, митохондрии и гранулы меланина в клетках. Оптическая диагностика широко применяется при контроле состояния технических объектов и сложных систем, в том числе, в режиме «реального времени». Особенно, применение методов оптической диагностики целесообразно в противоположных случаях, когда необходимо максимально исключить влияние средств измерения на объект контроля (невозмущающие методы диагностики), или в случае, когда сам объект контроля представляет опасность для измерительной аппаратуры и оператора (человека). Например, метод оптической диагностики используется при

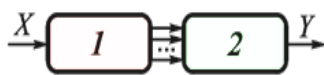
стендовой отработке ракетного двигателя и основан на измерении спектра излучения факела двигателя, выделении в спектре линий химических элементов, уносимых с элементов конструкции двигателя или присутствующих в качестве загрязнений в топливе, внутриводятельных полостях и в стендовых системах, и оценки степени износа и загрязнений. Важной областью климатологических исследований является мониторинг оптического состояния атмосферы. Для мониторинга высотного распределения компонентов атмосферы предназначены лидары. Лидары для исследования озона и аэрозоля в стратосфере составляют основу сети NDSC (Network for the Detection of Stratospheric Change). Технические требования к лидарным системам предусматривают обеспечение измерений оптических характеристик аэрозольного слоя, и обратного рассеяния аэрозоля.

Типовые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) характеризуются относительно низким динамическим диапазоном (40-50 дБм) энергетической характеристики. При этом, для ряда методов изменения мощности оптических сигналов достигают 10^6 - 10^7 , а в ряде случаев паразитная засветка от объекта контроля или источника тестирующего воздействия превышает и эту величину. Диапазоны преобразования существующих фотоэлектрических преобразователей являются недостаточными, что приводит к необходимости в одном диагностическом приборе использовать несколько измерительных преобразователей одного типа с различными диапазонами. Указанные проблемы могут быть решены при использовании широкодиапазонных фотоэлектрических и измерительных преобразователей [1], позволяющих преобразовывать широкодиапазонные измерительные сигналы без переключения информационных каналов систем оптической диагностики.

Еще одной задачей при построении систем оптической диагностики является восстановление образа «по прецеденту», заключающееся в построении алгоритма восстановления на основе эталонной пары «идеальное изображение - искаженное изображение» и его использование для других сигналов того же класса. Общая схема преобразования данных (рисунок 1) состоит из двух этапов «обучение» и «обработка» изображений (образов).



а)



б)

1 – модель системы искажений;
2 – формирование признаков; 3 – классификатор;
4 – оценка погрешности

Рисунок 1 – Схема преобразования образов в системе оптической диагностики: а) обучение; б) обработка

Для построения таких систем возможно использование как дискретных координатно-чувствительных приборов, так и аналоговых приборов с протяженной фоточувствительной поверхностью. К последним можно отнести позиционно-чувствительные линейные фотоприемники, фоторезисторы, полупроводниковые сканисторы, а также полупроводниковые фотодиоды с продольным фотоэффектом. Для многих приложений применение аналоговых фотоприемников предпочтительно с точки зрения высокой разрешающей способности, быстродействия, простой технологии изготовления.

В ряде случаев системы оптической диагностики используют анализ излучения на различных длинах волн. Многофункциональные широкодиапазонные детекторы (МФД) позволяют путем инжекции носителей заряда (изменение интенсивности управляющей подсветки на длине волны λ_0 , или инжекция через дополнительный электрод) в фоточувствительную область позволяет изменять относительную чувствительность фотоприемного устройства к излучению в диапазоне длин волн $\lambda_1 \dots \lambda_n$ из области примесного поглощения. При этом реализуется возможность управления видом спектральной характеристики МФД, выполненного в одном объеме полупроводникового материала, расширение спектрального и динамического диапазона, исключение оптических фильтрующих элементов для формирования требуемого вида спектральной характеристики при использовании нескольких фотоприемников.

Например, при использовании в качестве одноэлементного фотоприемника с многозарядовыми примесями структуры Ge(Cu) реализуется переключение вида спектральной характеристики, определяемой включением зарядовых состояний на различных энергетических уровнях

(сдвиг красной границы спектральной чувствительности на 4 мкм). Переключение производится за время порядка постоянной времени рекомбинации (10^{-5} - 10^{-8} с), в зависимости от материала МФД и уровня оптического сигнала.

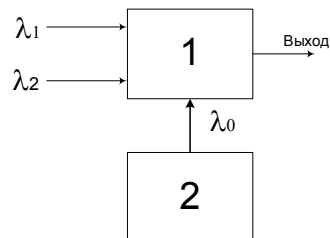


Рисунок 2 – Одноэлементный фотоприемник с управлением характеристик по оптическому каналу

Процессы формирования сигнала МФД связаны с изменением эффективного времени жизни и подвижности с уровнем инжекции. Зависимость времени жизни основных τ_n и неосновных τ_p носителей заряда от уровня возбуждения для германия и кремния, легированного глубокими примесями с несколькими многозарядными уровнями, характеризуется диапазоном изменения до четырех порядков величины.

Фотоприёмники оптико-электронных систем контроля и диагностики должны обладать не только высокой чувствительностью, но и устойчивостью к оптическим перегрузкам, особенно в оптических системах с использованием лазеров, характеризующимися большими плотностями мощности оптического излучения.

Свойства одноэлементных фотоэлектрических преобразователей на основе собственных полупроводников с малой концентрацией глубоких примесей, формирующих несколько зарядовых состояний, позволяют реализовывать оригинальные способы измерения не только параметров оптического сигнала, но и перемещений, сил, давления, их производных, обладающие повышенной помехозащищенностью, линейностью выходных характеристик и другими полезными эксплуатационными свойствами.

1. Гусев, О.К. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями / О.К.Гусев, А.И.Свистун, Л.И.Шадурская, Н.В.Яржембицкая // Датчики и системы. 2011. № 1. – С. 19-23.
2. Гусев О.К. и др. Фотоприёмное устройство, управляемое подсветкой. Патент № 15840 РБ, МПК Н 01L 31/16.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И.

*Белорусский национальный технический университет**Минск, Республика Беларусь*

Современные тенденции развития информационных технологий и обработки измерительной информации связаны с развитием функциональной электроники и применением распределенных информационно-измерительных систем. Для последних характерна децентрализация первичной обработки данных путем "интеллектуализации" датчиков. Внесение "интеллекта" в первичные преобразователи возможно различными способами, среди которых одним из перспективных является создание функциональных датчиков, работающих на принципах интеграции физических процессов в чувствительном элементе. Например, разработка принципов действия многофункциональных фотоэлектрических датчиков (МФД) основана на использовании неравновесных электронных процессов в полупроводниковых структурах, протекающих при комбинации факторов внешних воздействий (электрическое и магнитное поле, свет, температура, давление и др.) и систематизации их особенностей.

Структура многофункционального датчика в общем случае может включать совокупность одного или нескольких конструктивно объединенных чувствительных элементов, размещенных в зоне действия нескольких физических величин, а также формирующих соответствующие сигналы посредством преобразовательных (передаточных) функций. Целесообразно воспользоваться физической интеграцией процессов внутри объема чувствительного элемента, приняв за основу полупроводниковую поверхностно-барьерную структуру (ПБС) МФД, например, металл-полупроводник-металл (с прослойкой окисла, глубокими и мелкими примесями центрами).

Как среда, в которой возможны хранение и обработка информации ПБС содержит три физически различимых и электрически связанных области (поверхность – область пространственного заряда (ОПЗ) – объем), границы которых, представляющие собой статические неоднородности, могут служить средством выявления диффузионно-дрейфовых потоков носителей заряда, создаваемых внешними воздействиями.

Преобразование входной физической (чаще неэлектрической) величины в выходной сигнал датчика (напряжение, ток) осуществляется через протекание определенного физического процесса в объеме чувствительного элемента. Такое преобразование отличается тем, что на входе действуют одновременно несколько физических

величин, изменение даже одной из которых сопровождается протеканием целого ряда физических явлений. Таким образом, преобразовательная (передаточная) характеристика датчика является сложной функцией параметров x_i , исследуемого (на входе) процесса и параметров z измерительного сигнала. Выбор структуры многофункционального датчика зависит от условий формирования и измерения передаточной характеристики, способа ее экспериментальной реализации с учетом выявленных особых точек характеристик чувствительности и особенностей измерительного сигнала.

Исследования базовых структур на основе полупроводников с собственной проводимостью с глубокими многозарядными примесями показывают, что основой создания оптоэлектронных многофункциональных датчиков являются нелинейные фотоэлектрические явления в поверхностно-барьерных структурах, легированных глубокими примесями. Основой применения объемно перезаряжаемых светом и электрическим смещением структур является изменение времени жизни и подвижности [1] неравновесных носителей заряда в результате их перераспределения по уровням рекомбинации и прилипания многозарядной примеси.

Например, для МФД на основе германиевого диода Шоттки с длиной компенсированной медью базой (ДШДБ) исследовались вольтамперные характеристики (ВАХ) темного тока и полного тока при освещении излучением с длиной волны $\lambda = 1,5$ мкм. При этом наблюдалось S-образное переключение тока, несколько квазустойчивых по току состояний и внутреннее усиление сигнала (до 10^6 раз). В работе ДШДБ используется двойная инжекция (неосновных носителей заряда через барьер металл-полупроводник, основных носителей – из омического электрода) и (τ, μ) – механизм инжекционного тока. S-образное переключение наступает после накопления в базе диода определенной величины заряда Q неравновесных дырок, для генерации которых в приборе имеется три возможных физических канала: инжекция через контакт, фотовозбуждение в полупроводнике и фотоэмиссия из металла, управляемая соответственно напряжением и светом. Поскольку величина Q определяется обоими компонентами экспозиции $H = I \times t$ (и интенсивностью света I и временем воздействия t , т.е. выдержкой), а также зависит от прикладываемого напряжения V , то время пере-

ключения $t_{\text{пер}}$ прибора из высокоомного в низкоомное состояние, интенсивность света и напряжение, приложенное к диоду, оказываются функционально связанными параметрами. Это позволяет при заданном значении V получить функциональную зависимость $t_{\text{пер}} = f(I)$, а при фиксированном значении I – однозначную связь между временем переключения и приложенным смещением $t_{\text{пер}} = \varphi(V)$.

Используя разные величины смещения прибора, можно "запрограммировать" время переключения на определенное значение освещенности (при данной длине волны) и использовать таким образом МФД в качестве фотореле для отключения исполнительного устройства при достижении заданной экспозиции.

Большим разнообразием передаточных характеристик отличаются явления перезарядки глубоких центров на границах раздела и в приповерхностной ОПЗ полупроводника, где происходит дополнительное расщепление энергетических уровней. Процессом перезарядки поверхностных электронных состояний на границах раздела и глубоких примесей в ОПЗ свойственны модуляция параметров приповерхностного потенциального барьера [2] (в первую очередь, ширина и высота). Изменение ширины потенциального барьера существенно влияет на протекание тока в тех структурах, где превалирует туннельный механизм переноса, а изменение высоты барьера влияет на величину тока надбарьерной эмиссии. Создание МФД на основе ПБС с модуляцией высоты барьера предполагает введение в ОПЗ полупроводника глубоких центров с асимметричными сечениями захвата для электронов и дырок. Захват фотовозбужденных дырок на глубокие уровни в ОПЗ вызывает уменьшение высоты потенциального барьера. Поэтому такие структуры, в отличие от обычных диодов и диодов Шоттки, приобретают фоточувствительность на прямой ветви ВАХ [2]. На основе базовой структуры разработаны модифицированные диоды Шоттки с компенсацией ОПЗ примесью меди, формирующей глубокую примесь акцепторного типа с несколькими зарядовыми состояниями. Наряду с высокой чувствительностью, управляемой напряжением и приемлемым быстродействием (~ 1 мкс) такие чувствительные элементы обладают расширенной областью спектральной чувствительности, поскольку работают в режиме примесного фотоэффекта.

Поверхностно-барьерные структуры с двумя потенциальными барьерами с глубокими многозарядными примесями в ОПЗ, сформированные с противоположных сторон приборной структуры, и образующие два встречно включенных диода Шоттки разделенных длинной базой, демонстрируют немонотонную зависимость выходного

сигнала от длины волны λ , интенсивности света I , величины приложенного напряжения V и геометрического смещения Δz , спроецированного изображения от фронтальной к тыльной плоскости структуры. Такая структура представляет собой по существу функциональный преобразователь, в котором взаимосвязь четырех параметров I , λ , V , Δz дает возможность функционального выражения одной физической величины через другую (или совокупность нескольких величин) и использования прибора в качестве фотоприемника для определения и сравнения интенсивностей излучения в разных спектральных диапазонах, детектора длины волны монохроматического излучения, фотоприемника в оптоэлектронных системах приема и передачи информации, координаточувствительного элемента.

Таким образом, одноэлементные чувствительные элементы, физические процессы в которых связаны с явлениями перезарядки глубоких многозарядных примесей как в объеме, так и в ОПЗ полупроводника, характеризуются большим разнообразием передаточных характеристик чувствительности к одному или нескольким физическим факторам. Это позволяет реализовать многопараметрические измерительные преобразователи на базе одноэлементного МФД с одним измерительным каналом.

Многообразие характеристик оптоэлектронных многофункциональных датчиков гораздо шире приведенных примеров. Накопленные экспериментальные данные и теоретические модели дают основание рассматривать ПБС с глубокими многозарядными примесями в качестве единой физической и технологической основы для создания многофункциональных датчиков неэлектрических величин.

1. Гусев, О.К. Проектирование и управление метрологическими характеристиками фотоэлектрических преобразователей на основе полупроводников с многозарядными примесями / О.К. Гусев, А.И. Свистун, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Датчики и системы. 2011, № 1. – С. 19-23.
2. Гусев, О.К. Управление высотой потенциального барьера в приборных структурах на основе полупроводников с глубокими примесями / О.К. Гусев, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая // Материалы и структуры современной электроники: сб. научн. тр. IV Международной научной конференции, Минск, 23-24 сентября 2010 г., БГУ; редкол.: В.Б.Оджаев [и др.]. – Минск, 2010. – С. 116-118.

ОДНОЭЛЕКТРОДНЫЕ ГАЗОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ $WO_3-In_2O_3$ Гайдук Ю.С.¹, Гуляева Н. М.², Савицкий А.А.¹, Соколов А.В.³¹Белорусский государственный университет²НП ОДО «Фармэк»³Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Традиционно полупроводниковые газовые датчики имеют двухэлектродную конструкцию, при которой газочувствительный материал нанесён между парой металлических электродов (Pt, Au, Ni и т.д.), а третий металлический электрод (обычно Pt) используется для нагрева подложки. Известное распространение получили также датчики, имеющие в своей конструкции лишь один электрод (рисунок 1). На тонкой Pt-проволоке ($20 \div 50$ мкм) сформирована спираль (обычно 7 – 13 витков), на которой при нагревании постоянным током наносят коллоидный раствор гидроксидов определённых металлов или их композиций. После отжига при повышенной температуре вокруг спирали формируется цилиндрическая или шаровидная капсула.

В первом приближении относительный отклик одноэлектродного газового датчика определяется по уравнению

$$\frac{\Delta U}{U_{air}} = \frac{\Delta R_{MeO}}{R_{MeO}(air)} \frac{R_{Pt}}{R_{Pt} + R_{MeO}(gas)}, \quad (1)$$

где R_{Pt} и R_{MeO} – сопротивление платиновой спирали и полупроводниковой металлооксидной капсулы, соответственно, а $R_{MeO}(air)$ и $R_{MeO}(gas)$ – сопротивление оксида металла на воздухе, и в атмосфере, содержащей определяемый газ. [1].

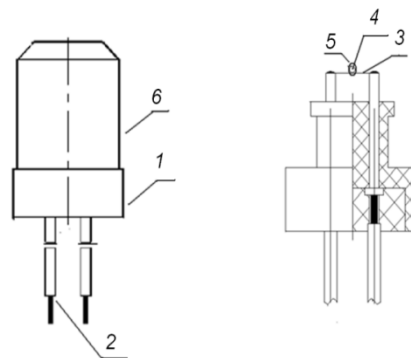
Методика эксперимента. Вольфрамовая кислота осаждалась из 1,23М р-ра вольфрамата натрия 12М р-ром азотной кислоты. ($Na_2WO_4 \times 2H_2O$ капельно добавляли к раствору HNO_3 при интенсивном перемешивании). Термическое разложение $H_2WO_4 \times H_2O$ при температурах выше $200^\circ C$ приводит к образованию WO_3 .

Оксид индия In_2O_3 получали осаждением 9,24 М р-ром аммиака гидроксида индия из 0,78 М р-ра $In(NO_3)_3 \times 4,5H_2O$, последующий отжиг ксерогеля при $200 - 800^\circ C$ приводил к получению нанокристаллического In_2O_3 . Оксид галлия получали аналогичным образом после растворения металлического галлия в разб. азотной кислоте. Золи WO_3 , In_2O_3 и Ga_2O_3 смешивались в необходимых пропорциях.

Чувствительные элементы (ЧЭ) одноэлектродных датчиков, представляющие собой сформированную на спирали из Pt-проволоки керамическую капсулу, изготавливали по методике, использованной ранее [2]. ЧЭ после формирования отжигали при 140 мА в течение 3 ч.

Исследовались датчики, содержащие в качестве ЧЭ керамический материал на основе $WO_3-In_2O_3$ (3 % мас. In_2O_3), и $WO_3-In_2O_3$ (5 % мас. WO_3), а также тройной композиции $In_2O_3-Ga_2O_3$ (4 % мас.)– WO_3 (5 % мас.).

Чувствительность (сенсорный отклик) S , мВ, определяли по формуле $S = U_0 - U_g$, где U_0 – напряжение на выводах датчика при нагреве спирали постоянным током 11 – 201 мА на воздухе, U_g – при воздействии анализируемой газовой смеси. Потребляемая мощность по формуле $P = U \times I$.



1-корпус, 2-токоподводы, 3-Pt-электрод, 4 - нагревательный элемент в виде спирали, 5-керамическая капсула (ЧЭ), 6 - газопроницаемый колпачок

Рисунок 1 – Схема одноэлектродного (керамического) сенсора

Рентгенографические исследования композиции образцов $WO_3-In_2O_3$ при различных температурах отжига проводились при помощи дифрактометра ДРОН-3 (Co-K α_1 -излучение).

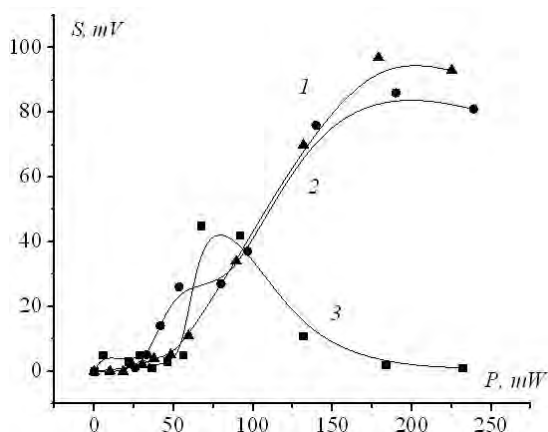
Обсуждение результатов. В указанных условиях отжига и эксплуатации ЧЭ датчиков представляли собой наногетерофазный материал, состоящий из моноклинной WO_3 (PDF 87–2404) и C– In_2O_3 (PDF 6–416). Образование примесных фаз соединений и твёрдых растворов на основе WO_3 и In_2O_3 не обнаружено.

ЧЭ из чистых In_2O_3 и WO_3 в составе газовых датчиков с рабочей температурой до $350^\circ C$ демонстрирует определённую чувствительность к газам окислительной и восстановительной природы, в т.ч. к CH_4 , C_3H_8 , CO, NO_2 (рисунок 2а), однако такие датчики не селективны между ука-

занными газами, и обладают сравнительно высокой мощностью. С целью повышения электропроводности и снижения мощности одноэлектродных датчиков на основе In_2O_3 индия применяют допирование другими оксидами, обычно оксидом галлия [2].

ЧЭ одноэлектронных датчиков из чистого WO_3 обладает очень малой чувствительностью ко всем исследованным газозвоздушным смесям (сигналы не превышают 10 – 12 мВ).

На рисунке 2 представлена чувствительность к газовым смесям одноэлектродных датчиков на основе In_2O_3 . Датчики, содержащие в своём составе чувствительные элементы на основе чистых WO_3 и In_2O_3 демонстрируют определённую чувствительность к CH_4 и CO ($S_{\text{max}} = 50\%$ и 10% соответственно для WO_3 , $S_{\text{max}} = 80\%$ и 90% для In_2O_3). Введение в состав газочувствительного слоя на основе In_2O_3 добавки оксида вольфрама WO_3 приводит к существенному увеличению чувствительности к обоим газам, причем к CH_4 в наибольшей степени (к CO – в 2 раза, к CH_4 – в 4 раза).

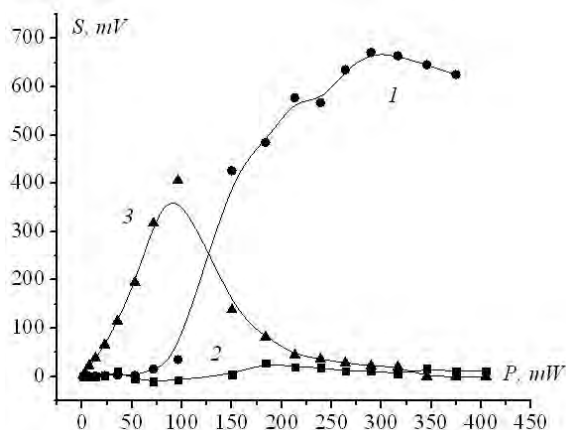


1 – 0,1 % об. CH_4/N_2 ; 2 – 0,1 % об. CO/N_2 ; 3 – In_2O_3 , 10 ppm $\text{NO}_2/\text{воздух}$

Рисунок 2 – Зависимость чувствительности датчика In_2O_3 от мощности

Использование смешанной оксидной композиции $\text{WO}_3 + 3\%$ мас. In_2O_3 в качестве материала для формирования ЧЭ полупроводниковых одноэлектродных газовых датчиков позволяет детектировать CO , CH_4 и NO_2 . Время достижения максимального сигнала не превышало 30 с для 0,1 % об. CH_4 в азоте, 60 с для 0,3 % об. CO в воздухе и в азоте с быстрым временем возврата (до 10 с). Сигналы выше наблюдаемых для чистого In_2O_3 и смещены к меньшим рабочим температурам ЧЭ, что сопровождается снижением потребляемой мощности. Максимальная чувствительность ЧЭ на основе In_2O_3 и $\text{WO}_3 + 3\%$ мас. In_2O_3 к 10 – 50 ppm NO_2 в воздухе наблюда-

ется при 80 – 100 мВт, к 9,8 ppm CH_4 в воздухе – при ≈ 200 мВт, к 0,3 % мас. CO в азоте и в воздухе – при 200 ÷ 250 мВт (рисунок 3).



1 – 0,3 % об. CO/N_2 ; 2 – 0,3 % об. $\text{CO}/\text{воздух}$; 3 – 10 ppm $\text{NO}_2/\text{воздух}$

Рисунок 3 – Зависимость чувствительности датчика на основе $\text{In}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ (5%) — Ga_2O_3 (4%) и композиции In_2O_3 — 5% мас. WO_3 от мощности

Введение добавки Ga_2O_3 (4 % мас.) в состав композиции $\text{In}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ (5 %) приводит к дальнейшему увеличению газовой чувствительности ко всем исследованным газозвоздушным смесям, и в особенности к 10 ppm NO_2 . Таким образом, введение в состав оксида индия добавки WO_3 (5% мас.), и, особенно совместное введение добавок оксида вольфрама (5 % мас.) и Ga_2O_3 (4 % мас.) позволяет изготавливать датчики, обладающие высокой чувствительностью к низким концентрациям диоксида азота. Чувствительность таких датчиков к 10 ppm NO_2 оказывается заметно выше, чем для исследованных ранее и рекомендованных для практического применения в целях обнаружения диоксида азота в атмосфере на уровне ПДК и ниже одноэлектродных датчиков на основе композиций $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и $\text{In}_2\text{O}_3\text{-Ga}_2\text{O}_3\text{-ZnO}$.

1. Korotchenkov, G. Practical aspects in design of one-electrode semiconductor gas sensors: Status report / Г. Коротченков // Sens. and Actuators B. Chem. – 2007. – Vol. 121. – P. 664 – 678.
2. Савицкий А.А., Гайдук Ю.С., Гуляева Н.М., Таратын И.А. Одноэлектродные газовые датчики для детектирования диоксида азота: «Менделеевские чтения – 2016»: материалы республиканской научно-практической конференции по химии и химическому образованию, 26 февраля 2016 г. / редкол.: Ступень Н.С. (под об. ред.) [и др.]. – Брест, БрГУ им. А.С.Пушкина, 2016 – с. 230. С. 67 – 72.

УДК 620.179.11

АНАЛИЗ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гусев О.К.¹, Жарин А.Л.¹, Тявловский А.К.¹, Тявловский К.Л.¹, Воробей Р.И.¹, Мухуров Н.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Минск, Республика Беларусь

Задачей исследования являлось обеспечение контроля электрофизических свойств поверхности и качества элементов прецизионных сеток с высоким пространственным разрешением на основе использования средств зондовой электротометрии. Контроль осуществляется на основе бесконтактных измерений пространственного распределения электрического потенциала (контактной разности потенциалов, КРП) исследуемой поверхности и определения статистических характеристик такого распределения. В качестве измерительного преобразователя используется сканирующий электротометрический зонд Кельвина, результаты контроля представляются в виде визуализированной карты распределения электрофизических параметров с кодированием их значений условными индексными цветами. Значение измеряемой контактной разности потенциалов определяется разностью значений работы выхода электрона (РВЭ) зонда и поверхности образца в данной точке поверхности. Поскольку РВЭ является высокочувствительным параметром по отношению к любым нарушениям структуры поверхности, выявление на визуализированном изображении отклонений локальных значений этого параметра от средних для данной поверхности позволяет неразрушающим способом выявлять и локализовать дефекты поверхностей, в том числе прецизионных [1].

Примеры визуализированных изображений пространственного распределения электрофизических свойств прецизионных поверхностей элементов прецизионных сеток для сенсорных устройств (датчиков потока космической плазмы), полученных с помощью разработанной методики, приведены на рисунках 1-3. В соответствии с методикой контроля, при анализе изображений используются гистограммы распределения значений КРП, вид которых для указанных изображений приведен на рисунках 4-6.

На основании теоретического моделирования и сопоставления экспериментально полученных результатов исследования пространственного распределения электрофизических свойств прецизионных поверхностей с данными других методов исследования (измерений поверхностной микротвердости, износостойкости, металлографического исследования и др.) [2-4] были сформулированы критерии анализа получаемых визуализированных изображений, краткая суть которых сводится к следующему:

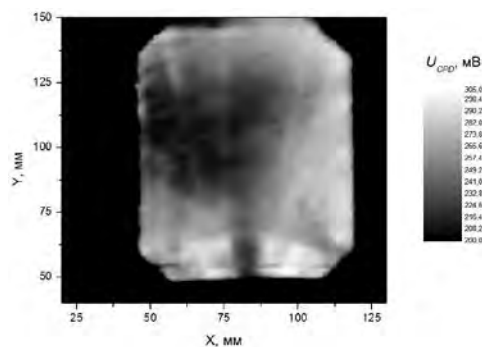


Рисунок 1 – Визуализация распределения электрофизических свойств образца № 1

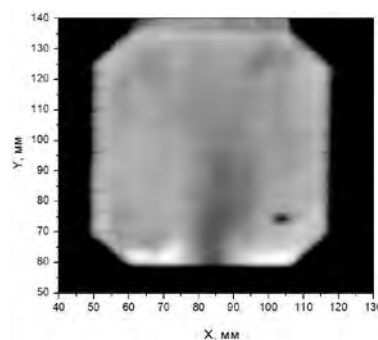


Рисунок 2 – Визуализация распределения электрофизических свойств образца № 7

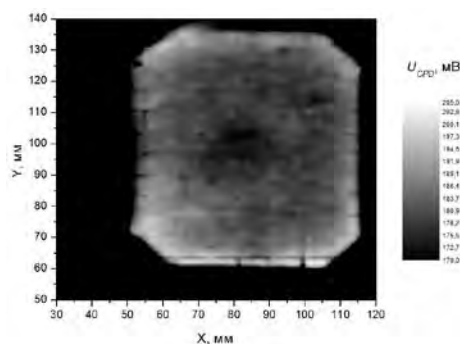


Рисунок 3 – Визуализация распределения электрофизических свойств образца № 14

1. Более высоким качеством обладают поверхности, характеризующиеся большей однородностью распределения электрофизических свойств (меньшей полушириной гистограммы распределения). Из приведенных примеров наибольшим качеством характеризуется поверхность образца № 14 (полуширина гистограммы

распределения 5 мВ), а наименьшим - № 1 (полуширина гистограммы распределения 23 мВ).

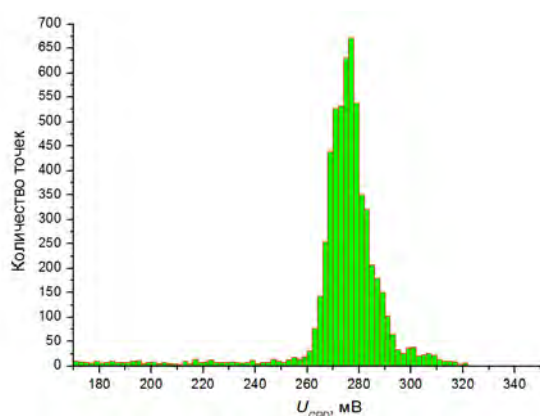


Рисунок 4 – Гистограмма распределения электрофизических свойств образца № 1

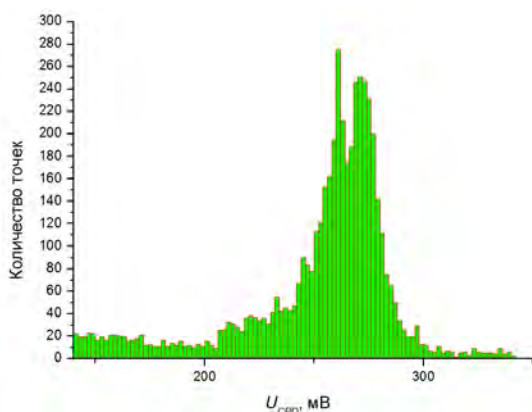


Рисунок 5 – Гистограмма распределения электрофизических свойств образца № 7

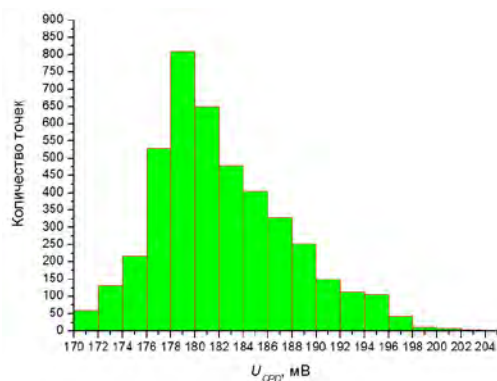


Рисунок 6 – Гистограмма распределения электрофизических свойств образца № 14

2. Наибольшей механической прочностью и в целом лучшими механическими свойствами, при прочих равных условиях, обладают поверхности с наиболее низкими значениями контактной разности потенциалов, что соответствует наибольшим значениями работы выхода электрона и по-

верхностной энергии. В данном случае наибольшую микротвердость поверхности демонстрирует образец № 14, характеризующийся средним значением КРП поверхности 179 мВ.

3. Наличие второй моды в гистограмме распределения значений контактной разности потенциалов указывает на наличие значимых по площади дефектных областей на соответствующей поверхности образца.

4. На визуализированных изображениях распределения электрофизических свойств поверхности можно с высокой степенью достоверности выделить следующие основные типы дефектов:

а) Плавное изменение значений контактной разности потенциалов к краю или определенной (как правило, крупной по площади) области образца указывает на неравномерность формирования покрытия поверхности. В приведенных примерах данный дефект в различной степени наблюдается на всех трех образцах.

б) Локальные изменения значений контактной разности потенциалов, как правило, в сторону их повышения, указывают на загрязнение поверхности адсорбированными инородными атомами или молекулами. В частности, лучеобразные расходящиеся линии на визуализированном изображении образца № 1 могут являться следами течения каплей жидкости при промывке и/или просушке поверхности.

в) Локальные понижения значений контактной разности потенциалов, прослеживаемые на обеих (верхней и нижней) поверхностях образца, отражают остаточные механические напряжения и/или пластические деформации в материале образца. В частности, в числе приведенных примеров данный дефект прослеживается вдоль продольной оси образца № 7.

1. Жарин А.Л., Зондовая электрометрия как метод визуализации потенциального рельефа поверхности функциональных материалов / А.Л. Жарин, О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, А.И. Свистун, А.В. Дубаневич // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. докл. Междунар. Научн. конф. / под ред. Н.М. Олехновича. – Мн.: Ковчег, 2013. – С. 274-276.
2. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л. Диагностика локальных изменений пластической деформации по работе выхода электрона. // Приборы и методы измерений. 2015, № 1 (10). – С. 56-63.
3. Шаронов Г.В., Жарин А.Л., Мухуров Н.И., Пантелеев К.В. Контроль металлических поверхностей, обработанных алмазным наночечением, по работе выхода электрона // Приборы и методы измерений. 2015, № 2 (10). – С. 196-203.

4. Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л. Экспериментальные исследования локализации деформации в металлах по топологии работы выхода электрона /

Перспективные материалы и технологии: Материалы 4-го междунар. симпозиума. – Витебск, ВГТУ. 2015. – С. 270-273.

УДК 681

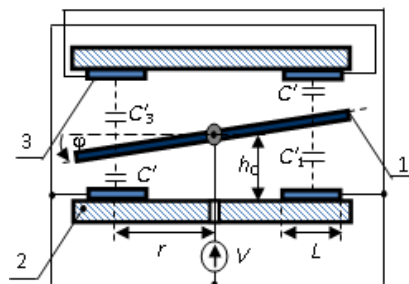
УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ МОМЕНТОВ С НЕСИММЕТРИЕЙ

Джилавдари И.З.¹, Ризноокая Н.Н.¹, Инсарова Н.И.²
¹Белорусский национальный технический университет
²УО «Белорусский государственный медицинский университет»
 Минск, Республика Беларусь

Гравиинерциальные датчики (ГИД), такие как линейные и угловые акселерометры, сейсмографы а также гравитационные градиентометры, обладающие максимально возможной чувствительностью, обычно построены на основе упруго подвешенной подвижной массы (ПМ), совершающей повороты относительно корпуса в пределах малого угла вокруг фиксированной оси под действием измеряемых сигналов [1-3]. Такие ГИД должны иметь малую собственную частоту, и низкий уровень шумов. Требуемый уровень шумов и чувствительности могут обеспечить емкостные датчики. В последнее время большое внимание уделяется резонансным датчикам, в которых электростатическое поле используется для уменьшения крутильной жесткости подвесов.

Цель данной работы состоит в анализе в линейном и нелинейном приближениях динамики ГИД с дифференциальной электростатической системой съема полезного сигнала.

Описание электрической схемы датчика. Общую схему датчика (рисунок 1) с дифференциальной емкостной системой считывания сигналов, можно назвать «трехслойной». Предположим, что, вследствие технологических погрешностей, в системе нарушена симметрия, так что между емкостями конденсаторов выполняются соотношения $C'_1=C'_3=C_0$ и $C'_2=C'_4=(1+\gamma)C_0$, где γ - параметр несимметрии электростатической системы датчика. Учитывая, что емкости C'_1 и C'_3 , как и емкости C'_2 и C'_4 , соединены параллельно, введя обозначения $\gamma_1=1+\gamma$ и $2C_0=C_s$, можно свести трехслойную схему к эквивалентной «двухслойной» схеме, показанной на рисунке 2. При анализе «двухслойной» схемы будет учтено наличие резисторов и дополнительных источников постоянного напряжения.



1 – проводящая ПМ, 2 – непроводящая пластина, 3 – электроды.

В центре показан упругий торсион

Рисунок 1 – «Трехслойная» схема дифференциального датчика

Можно показать, что в схеме на рисунке 2 зависимость емкостей конденсаторов от угла наклона ПМ дается формулами :

$$C_1(\varphi) = \frac{C_s \varphi_m}{\varphi_m + \varphi}, C_2(\varphi) = \frac{\gamma_1 C_s \varphi_m}{\varphi_m - \varphi}, C_s = \frac{2\epsilon_0 S}{h_0}, \quad (1)$$

$$\varphi_m = \frac{h_0}{L} \ln \frac{a_2}{a_1}; a_1 = r - \frac{L}{2}; a_2 = r + \frac{L}{2}. \quad (2)$$

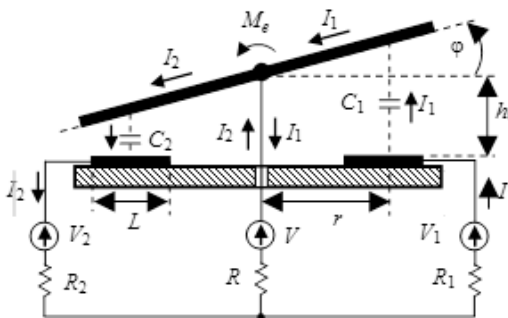


Рисунок 2 – Эквивалентная «двухслойная» схема дифференциального датчика

Вывод формул динамики электростатического ГИД. Полагаем, что момент силы трения M_ω пропорционален скорости вращения ПМ, т.е.

$M_\omega = D_0 \frac{d\varphi}{dt}$. Тогда, учитывая связи между направлениями моментов сил трения, сил инерции, сил упругости и электростатических сил, уравнение движения ПМ будет иметь вид

$$I_z \frac{d^2\varphi}{dt^2} + D_0 \frac{d\varphi}{dt} + k\varphi - \frac{1}{2} \frac{q_2^2 - \gamma_1 q_1^2}{\gamma_1 C_s \Phi_m} = M(t) \quad (3)$$

Составив уравнения электрического баланса (уравнения Кирхгофа) в схеме на рисунке 2, выразив токи, текущие через оба конденсатора, в

виде $I_1 = \frac{dq_1}{dt}$ и $I_2 = \frac{dq_2}{dt}$, получим два уравнения

$$\begin{aligned} \frac{q_1}{C_1} + R \left(\frac{dq_1}{dt} - \frac{dq_2}{dt} \right) + R_1 \frac{dq_1}{dt} &= -V_1 + V, \\ \frac{q_2}{C_2} + R \left(\frac{dq_2}{dt} - \frac{dq_1}{dt} \right) + R_2 \frac{dq_2}{dt} &= -V + V_2 \end{aligned} \quad (4)$$

В частности, в статическом случае (при отсутствии тока) на основании формул (4) и при $\varphi=0$ заряды в конденсаторах могут быть вычислены по формулам:

$$q_1 \equiv q_{1s} = C_s (V - V_1), \quad q_2 \equiv q_{2s} = -C_s \gamma_1 (V - V_2) \quad (8)$$

С точки зрения теории дифференциальных уравнений система уравнений (3) - (4) является «жесткой», что в нашем случае проявляется в том, что при численном решении число шагов и время расчета неограниченно растут при уменьшении значений сопротивлений резисторов. Решение таких систем требует специальных алгоритмов, однако теория оценки точности решения в общем случае еще не разработана.

Для аналитических исследований динамики датчика линеаризируем систему (3) - (4), сведя ее к одному линейному дифференциальному уравнению четвертого порядка. Будем считать, что заряды конденсаторов содержат соответствующие постоянные q_s и переменные составляющие q_v :

$$q_1 = q_{1s} + q_{1v}, \quad q_2 = q_{2s} + q_{2v}. \quad (9)$$

Сохраняя постоянные члены, а также члены, линейные по φ , q_{1v} и q_{2v} , исключая члены, содержащие произведения этих трех параметров, получим искомые линейные уравнения для зарядов q_{1v} и q_{2v} , которые для краткости запишем их матричном виде:

$$\begin{aligned} p_4 \frac{d^4}{dt^4} \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} + p_3 \frac{d^3}{dt^3} \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} + p_2 \frac{d^2}{dt^2} \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} + \\ + p_1 \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} + p_0 \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} &= - \begin{bmatrix} K_1(t) \\ K_2(t) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (5)$$

где коэффициенты, представленные в соответствующих матрицах, даются формулами

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} K_1(t) \\ K_2(t) \end{bmatrix} &= \begin{pmatrix} b_1 \\ \gamma_1 b_2 \end{pmatrix} \cdot \left[M_1(t) + \frac{1}{2} P \right] + \\ &+ \begin{bmatrix} \gamma_1 (\tau b_2 + \tau_2 b_1) \\ \gamma_1 (\tau b_1 + \tau_2 b_2) \end{bmatrix} \frac{dM_1(t)}{dt}; \end{aligned}$$

$$p_4 = a_2 \gamma_1 I_z; \quad p_3 = a_1 I_z + a_2 \gamma_1 D_0;$$

$$p_2 = I_z + a_1 D_0 + a_2 \gamma_1 \begin{pmatrix} k - P \\ k + P \end{pmatrix};$$

$$p_1 = D_0 + a_1 k - \frac{1}{C_s \Phi_m^2} \begin{pmatrix} \gamma_1 a_1 b_2^2 + 2\gamma_1 \tau b_1 b_2 \\ a_1 b_1^2 + 2\gamma_1 \tau b_1 b_2 \end{pmatrix} \mp \begin{pmatrix} \tau_1 \\ \gamma_1 \tau_2 \end{pmatrix} P;$$

$$p_0 = k - \frac{2}{C_s \Phi_m^2} \begin{pmatrix} \gamma_1 b_2^2 \\ b_1^2 \end{pmatrix};$$

$$a_1 = \tau_1 + \tau_2 \gamma_1; \quad a_2 = \tau_1 \tau_2 - \tau^2; \quad P = \frac{\gamma_1 b_2^2 - b_1^2}{C_s \Phi_m^2}.$$

В этих формулах введены следующие обозначения:

$$\tau = RC_s, \quad \tau_1 = (R + R_1)C_s, \quad \tau_2 = (R + R_2)C_s,$$

$$b_1 = C_s (V - V_1), \quad b_2 = C_s (V - V_2), \quad M_1(t) = \frac{M(t)}{\Phi_m}.$$

Пренебрегая малыми слагаемыми, содержащими τ_i , найдем, что динамика датчика описывается формулой

$$\begin{aligned} I_z \frac{d^2}{dt^2} \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} + D_0 \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} + \left[k - \frac{2}{C_s \Phi_m^2} \begin{pmatrix} \gamma_1 b_2^2 \\ b_1^2 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} q_{1v} \\ q_{2v} \end{pmatrix} = \\ = - \begin{pmatrix} b_1 \\ \gamma_1 b_2 \end{pmatrix} \cdot \left[M_1(t) + \frac{\gamma_1 b_2^2 - b_1^2}{2C_s \Phi_m^2} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой линейное дифференциальное. Из его вида можно сразу установить некоторые особенности динамики датчика, описываемой нелинейной системой уравнений (3) - (4). В частности, видно, что устранить влияние несимметрии датчика можно, реализовав условие $b_1 = \gamma_1^{1/2} b_2$. В этом случае уравнения для зарядов q_1 и q_2 совпадают между собой. Также видно, что последнее слагаемое, стоящее в квадратной скобке правой части (6) и ответственное за появление фонового сигнала в выходном сигнале датчика, пропадает.

1. Liu H., Pike W. T., Dou G. Design, fabrication and characterization of a micro-machined gravity gradiometer suspension // ratio. – 2014. – V. 1. – P. 3.

2. Pike W. T. et al. Design, fabrication and testing of a micromachined seismometer with NANO-G resolution // Solid-State Sensors, Actuators and

Microsystems Conference, 2009. TRANSDUCERS 2009. International. – IEEE, 2009. – P. 668-671.

УДК 535-3, 535.314

СКАНЕР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБРАТНО-РАССЕЯННЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ

Дудчик Ю.И., Хилько Г.И., Кучинский П.В., Новик А.Н., Новик М.И., Белый И.В., Кречотень О.В.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

Рентгеновские лучи широко используются для просвечивания изделий и материалов с целью определения внутренних неоднородностей. Комплекс аппаратуры для просвечивания содержит источник рентгеновских лучей и цифровую ПЗС-камеру или фотопленку. Объект располагается между источником и камерой, изображение получается за счет того, что различные участки объекта по-разному поглощают рентгеновские лучи. Такое изображение называется теневым. В ряде случаев получить теневое изображение затруднительно из-за невозможности поместить камеру или фотопленку в требуемом месте за объектом. Поэтому, как дополнение к известному методу получения теневого изображения объектов, в последние годы разрабатывается методика получения изображения объектов с использованием обратнорассеянных рентгеновских лучей, регистрируемых детектором, располагаемым со стороны источника излучения. Преимущества такой методики получения информации об объекте очевидны, поэтому разработка рентгеновского сканера, работающего на основе обратнорассеянного излучения, является актуальной проблемой.

Нами разработан рентгеновский сканер на основе обратнорассеянного рентгеновского излучения. Сканер содержит рентгеновскую трубку, механическое сканирующее устройство для формирования рентгеновского пучка и детектор для измерения интенсивности обратнорассеянных рентгеновских лучей. Сканирующее устройство содержит коллиматор рентгеновских лучей, который перемещается в двух направлениях, и таким образом формирует рентгеновский пучок в заданном месте на объекте. Точность позиционирования рентгеновского луча на исследуемом объекте при его удалении от источника излучения на расстояние 500 мм составляет 1-3 мм. Частота перемещения рентгеновского луча по исследуемому объекту составляет не менее 1000 точек в секунду. При поле сканирования 100x150 точек время сканирования составляет 15-20 секунд.

В качестве источника излучения в сканере использовался переносной рентгеновский аппарат РЕЙС 25 с напряжением на трубке 21 кВ и током 92 мкА. Интенсивного обратнорассеянного рентгеновского пучка измерялась счетно-вычислительным устройством, состоящим из сцинтилляционного детектора на основе монокристалла NaI(Tl) и фотоэлектронного умножителя [1,2]. Управление сканером и обработка информации может осуществляться двумя способами: on-line (то есть подчиняясь командам компьютера) так и off-line (при помощи микроконтроллера). Программное обеспечение разработано на базе C++. Разработаны алгоритмы и программы управления работой сканирующего устройства.

Для проведения исследований с обратнорассеянным рентгеновским излучением собран макет стенда, фотография которого показана на рисунке 1, структурная схема стенда показана на рисунке 2.



1 – рентгеновская трубка, 2 – сканирующее устройство, 3 – сцинтилляционный детектор, 4- объект, 5 - рентгеновская ПЗС-камера

Рисунок 1 – Фотография стенда (вид сверху)

Макет содержит рентгеновскую ПЗС-камеру Photonic Science, которая позволяет визуализировать рентгеновский пучок в месте расположения объекта и определять размер пучка с использова-

нием программного обеспечения камеры. С использованием макета проведены исследования по определению интенсивности обратнорассеянного рентгеновского излучения при облучении образцов из различных материалов.

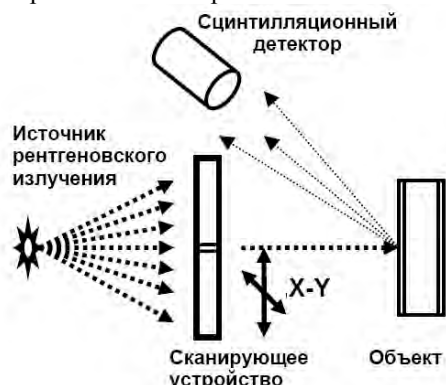


Рисунок 2 – Структурная схема стенда

В качестве образцов использовались:

– свинцовая пластина с прорезями в виде решетки, толщина пластины составляла 200 мкм, ширина прорезей - 2 мм, расстояние между прорезями - 2 мм;

– решетка из пластмассы, толщиной 1,5 мм, ширина прорезей - 3 мм, расстояние между прорезями - 3 мм, фотография решетки показана на рисунке 3.

Образцы размещались на расстоянии 160 мм от источника рентгеновского излучения.

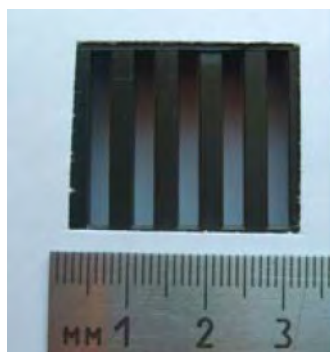


Рисунок 3 – Фотография решетки из пластмассы

Сканирование исследуемых объектов рентгеновским лучом проводилось в режиме on-line пошагово. Для регистрации интенсивности обратнорассеянного рентгеновского излучения использовалось электронно-вычислительное устройство ЭВУ-1-4, предел измерения 1000 импульсов в секунду, время счета составляло 1 секунду. При последующей фиксации луч смещался в продольном направлении на 1 мм.

На рисунках 4 и 5 показаны зависимости интенсивности обратнорассеянного рентгеновского излучения от положения рентгеновского пучка на образце.

Сравнивая результаты, приведенные на рисунках 4 и 5 можно сделать вывод о том, что интенсивность обратнорассеянного рентгеновского пучка от пластмассы в несколько раз выше, чем от свинца. Это хорошо известный факт [1], который широко используется при досмотре с целью выявления скрытых объектов, содержащих материалы с небольшим порядковым номером, которые трудно выявить методом теневого изображения.

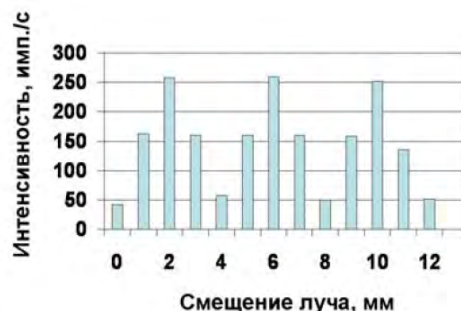


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности обратнорассеянного рентгеновского излучения от положения рентгеновского пучка на свинцовой пластине с прорезями



Рисунок 5 – Зависимость интенсивности обратнорассеянного рентгеновского излучения от положения рентгеновского пучка на пластмассовой пластине с прорезями

Проведенные исследования показали, что разработанный сканер позволяет сканировать образцы со скоростью около 1000 точек в секунду при точности позиционирования пучка на объекте около 1 мм.

Благодарности

Работа поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, проект Ф16Р-070.

1. В.А.Забродский. Применение обратнорассеянного рентгеновского излучения в промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
2. Физика визуализации изображений в медицине: Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. С. Уэбба. – Мир, 1991.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС

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

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

В качестве базового метода измерений при контроле распределения поверхностной фотоЭДС рассматривается метод вибрирующего конденсатора, известный как метод Кельвина-Зисмана [1]. Для регистрации сигнала поверхностной фотоЭДС в состав зарядочувствительного измерительного преобразователя, дополнительно введен импульсный источник оптического излучения, обеспечивающего возбуждение контролируемой оптоэлектронной структуры. Зарядочувствительный измерительный преобразователь обеспечивает бесконтактное измерение величины возникающего при этом нескомпенсированного заряда на поверхности полупроводниковой пластины. Импульс оптического излучения обеспечивает возбуждение электронов в валентной зоне полупроводника, что приводит к их переходу в зону проводимости при условии, что энергия квантов оптического излучения превышает ширину запрещенной зоны хотя бы для одной из структур в освещенной области. Переход электронов в зону проводимости приводит к разделению зарядов в полупроводнике: в зоне проводимости возникает избыток отрицательно заряженных электронов, а в валентной зоне – избыток положительно заряженных дырок. Различие в подвижности электронов и дырок приводит к их пространственному разделению, следствием чего является возникновение в образце электрического поля, формирующего значение потенциала поверхности, которое зависит от свойств и характеристик исследуемой поверхности в зоне воздействия оптическим излучением.

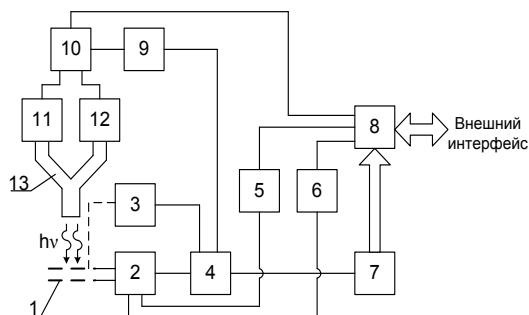
Для улучшения помехозащищенности (повышения отношения сигнал-шум) предлагается использовать модуляцию оптического излучения в сочетании с фазовым (синхронным) детектированием измерительного сигнала. Определение ряда параметров легированных слоев полупроводниковых пластин, в частности, определение примеси металлов (железа, меди и др.) требует анализа спектральной зависимости поверхностной фотоЭДС, в связи с чем освещение поверхности должно осуществляться оптическим излучением нескольких (не менее 2) длин волн. Таким образом, структурная схема электрометрического зонда для контроля пространственного распределения поверхностной фотоЭДС должна включать две связанных подсистемы:

подсистему генерации модулированного оптического излучения нескольких длин волн и подсистему регистрации сигнала поверхностной фотоЭДС. Данные подсистемы различаются по характеру взаимодействия с поверхностью полупроводниковой пластины: воздействие оптическим излучением изменяет зарядовое состояние поверхности полупроводника (эффект поверхностной фотоЭДС), тогда как электрометрический зонд, находящийся по статическим потенциалом, близким к потенциалу поверхности, не оказывает какого-либо влияния на последнюю и является только устройством регистрации. В обоих случаях взаимодействие с поверхностью является полностью неразрушающим и обратимым.

Предлагаемая структурная схема электрометрического зонда для контроля пространственного распределения поверхностной фотоЭДС приведена на рисунке 1. Блоки (узлы) 1–7 структурной схемы составляют подсистему регистрации сигнала поверхностной фотоЭДС, блоки 9–13 – подсистему генерации модулированного оптического излучения нескольких длин волн, блок 8 – устройство управления, согласующее работу указанных подсистем. В соответствии со стандартной системой обозначений, тонкими сплошными линиями на схеме показаны линии электрической связи, прерывистой – линии механической связи, широкими стрелками – линии передачи цифровых данных (цифровые шины данных).

Регистрация сигнала поверхностной фотоЭДС осуществляется сеточным электрометрическим зондом 1, подключенным ко входу трансимпедансного предварительного усилителя 2. Принцип работы электрометрического зонда Кельвина-Зисмана предполагает модуляцию тока в цепи динамического конденсатора, представленного системой электрометрический зонд – поверхность, для чего в традиционной методике измерения используется модуляция зазора между обкладками динамического конденсатора за счет механической вибрации зонда. В приведенной схеме модуляция зазора обеспечивается приводом вибрации 3. С учетом того, что оптическое излучение также является модулированным, сигнал поверхностной фотоЭДС будет иметь переменную составляющую, что также способно

обеспечить модуляцию тока в цепи измерительного конденсатора. При достаточной мощности переменной составляющей сигнала поверхностной фотоЭДС это позволяет исключить механическую модуляцию зазора. В связи с этим, необходимость наличия в структурной схеме привода вибрации 3 должна быть определена в ходе экспериментальных исследований.



- 1 – сеточный электрометрический зонд;
- 2 – трансимпедансный предусилитель сигнала; поверхностной фотоЭДС; 3 – привод вибрации электрометрического зонда;
- 4 – фазовый детектор; 5, 6 – источники опорных напряжений; 7 – аналого-цифровой преобразователь; 8 – микроконтроллер;
- 9 – модулятор; 10 – коммутатор;
- 11, 12 – источники оптического излучения;
- 13 – совмещенный световод

Рисунок 1 – Структурная схема электрометрического зонда для контроля пространственного распределения поверхностной фотоЭДС

Повышение отношения сигнал-шум обеспечивается применением синхронного (фазового) детектирования сигнала, для чего в структурную схему введен фазовый детектор 4. В качестве сигналов синхронизации используются электрический сигнал привода вибрации электрометрического зонда 3 и сигнал модулятора оптического излучения 9 (в случае реализации схемы невибрирующего зонда используется только второй сигнал). Детектированный сигнал преобразуется в цифровой вид в реальном масштабе времени с помощью быстродействующего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 7. Реализуемый метод бесконтактных измерений электрического потенциала с неполной компенсацией [2] предусматривает двукратную регистрацию измерительного сигнала при поочередной подаче на вход компенсации предварительного усилителя двух различных значений компенсирующего напряжения U_1 и U_2 с последующим вычислением истинного значения потенциала на основе математического выражения.

Генерацию напряжений U_1 и U_2 обеспечивают два источника опорных напряжений 5 и 6. Выбор источника компенсирующего напряжения и синхронную с выбором регистрацию оцифрованных значений измерительного сигнала обеспечивает микроконтроллер 8, выполняющий также функции устройства управления блоками структурной схемы электрометрического зонда и связи с внешними устройствами посредством цифрового интерфейса.

В качестве источников оптического излучения 11 и 12 предполагается использовать светоизлучающие диоды или светодиодные лазеры. При необходимости количества источников может быть увеличено. Преимущества светодиодных источников излучения заключаются в высокой монохроматичности излучения, простой схеме управления мощностью излучения путем задания рабочего тока и малой инерционности источника. Это позволяет осуществлять модуляцию оптического излучения путем модуляции управляющего (питающего) напряжения либо тока без применения механических затворов-прерывателей. В качестве источника такого модулирующего напряжения используется модулятор 9, представляющий собой генератор импульсов. Выбор длины волны излучения осуществляется путем коммутации модулированного напряжения на соответствующий источник оптического излучения с помощью коммутатора 10. Работой коммутатора управляет микроконтроллер 8, что позволяет синхронизировать измерения поверхностной фотоЭДС с моментами освещения поверхности полупроводниковой пластины излучением выбранной длины волны или при затемнении (в последнем случае выходы коммутатора блокируются по сигналу микроконтроллера). Доставку оптического излучения к поверхности полупроводниковой пластины в области выполнения измерений обеспечивает совмещенный световод 13, волокна входной стороны которого равномерно распределены между всеми используемыми источниками оптического излучения.

1. Жарин А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии. – Минск: Бестпринт, 1996. – 240 с.
2. Способ измерения контактной разности потенциалов: заявка на патент ЕА 201500105/26 : МПК G01R 19/00, G01N 27/00 (2014.01) / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.Л. Жарин, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, К.В. Пантелеев, А.В. Дубаневич; дата публ.: 21.01.2015.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АППАРАТА ИМПУЛЬСНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕРАПИИ СЕТА-Д

Жидкевич В.И.¹, Матышев С.А.²¹Витебский государственный медицинский университет²Институт технической акустики НАН Беларуси

Витебск, Республика Беларусь

Одним из старейших лечебных и профилактических направлений медицины является физиотерапия, включающая в себя множество разделов, одним из которых является магнито-импульсная терапия.

Аппараты серии Сета-Д, выпускаемые НПФ «Диполь» (г. Витебск, Республика Беларусь), предназначены для бесконтактного воздействия низко- и среднечастотным импульсным магнитным полем интенсивностью от 0,2 до 1,2 Тл и используются при заболеваниях и травматических повреждениях периферической и центральной нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательной, пищеварительной и мочеполовой систем [1,2]. Внешний вид аппарата представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид прибора Сета-Д

Однако аппарат Сета-Д имеет ряд недостатков:

- малая информативность прибора, поскольку 7-сегментный индикатор не дает четкой информации о режиме работы, времени процедуры и величине поля;

- устаревший дизайн передней панели;

- устаревшие 7-сегментные индикаторы;

- громоздкость подключения сегментного индикатора.

Модернизация аппарата, направленная на устранение вышеперечисленных недостатков, состоит в установке LCD дисплея в паре с управляющим микроконтроллером.

Целью настоящей работы являлась разработка платы управления для аппарата импульсной индукционной терапии Сета-Д.

Для этого необходимо:

- выбрать тип конструкции печатной платы;

- разработать принципиальную электрическую схему;

- подобрать детали для схемы;

- проанализировать расположение элементов схемы для устранения возможных наводок и шумов;

- сделать разводку платы.

На рисунке 2 представлена функциональная схема модернизированного аппарата.

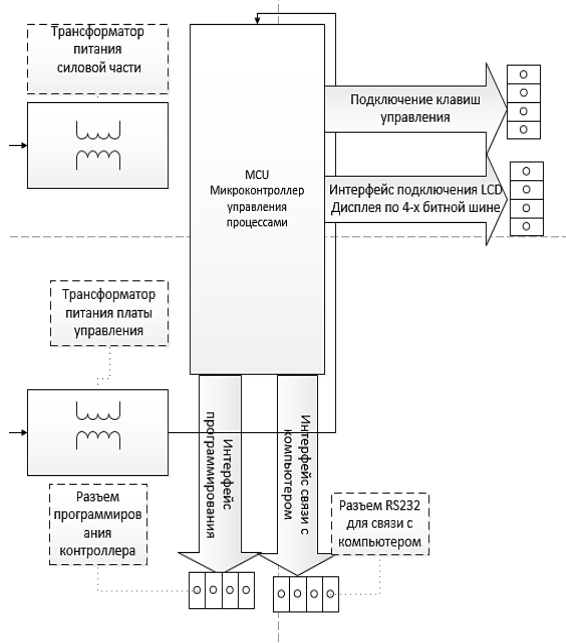


Рисунок 2 – Функциональная схема

Проектирование печатных плат представляет трудоемкий, но очень важный процесс. Для того чтобы обеспечить функционирование электронной аппаратуры, необходимы не только схемотехнические решения, функциональная точность, надежность, но и учет влияния внешней среды, конструктивных, эксплуатационных требований и т. п.

Разработка платы заключается в создании электрической схемы, оценке её эффективности, разводке платы [3,4]. На рисунке 3 представлена электрическая схема блока управления микроконтроллера. Согласно ГОСТ при разработке печатной платы необходимо соблюдать минимальное расстояние между элементами платы, ширину дорожек, размеры сторон печатной платы и многое другое. Данная схема разрабатывалась в соответствии с требованиями ГОСТ 10317-79, ГОСТ 25347-82, ГОСТ 23751-86.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИГНАЛЬНЫХ ФОНАРЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Журавок А.А., Сернов С.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Требования, предъявляемые к сигнальным фонарям транспортных средств, постоянно ужесточаются. Это продиктовано необходимостью повышения безопасности дорожного движения [1].

Одним из способов улучшения характеристик безопасности является реализация адаптивных функций в сигнальных фонарях. Адаптивный фонарь способен изменять свои характеристики на основе анализа данных об условиях эксплуатации. Можно предложить следующие направления адаптации:

– увеличение яркости свечения при увеличении внешней освещенности и снижение яркости при снижении внешней освещенности в пределах допустимых норм. Позволяет повысить заметность сигналов в ясную солнечную погоду и избежать ослепления других участников дорожного движения в темное время суток;

– увеличение яркости свечения по мере загрязнения светоиспускающей поверхности фонаря. Позволяет сохранить заметность сигналов фонаря даже при снижении светопропускания корпусом фонаря;

– увеличение яркости свечения стоп-сигнала или включение импульсного режима при высоких значениях ускорения. Позволяет повысить заметность стоп-сигнала при экстренном торможении транспортного средства.

Вторым фактором, повышающим безопасность, является управление светотехническим оборудованием транспортных средств с помощью центрального блока управления автомобиля (ECU – Electronic Control Unit) [2]. В этом случае все команды передаются в фонарь в цифровом виде по помехозащищенному каналу – CAN (Controller Area Network) шине [3]. Помимо повышения надежности передачи команд это позволяет осуществлять более точную диагностику неисправностей фонаря. Фонарь сам уведомляет ECU о выходе из строя того или иного сигнала. В результате чего ECU может своевременно уведомить водителя о неисправности.

Таким образом, современный сигнальный фонарь транспортного средства является сложным электронным устройством, которое обладает адаптивными и интеллектуальными функциями. На этапах разработки, отладки и испытаний такого устройства необходимо применять специализированное отладочное оборудование и программное обеспечение. Оно должно осу-

ществлять следующие функции:

– предоставлять возможность управления изделием с персонального компьютера;

– эмулировать CAN шину транспортного средства;

– эмулировать внешние воздействия, такие как изменение внешней освещенности, ускорения, светопропускания корпуса;

– наглядно отображать состояние изделия, в том числе ошибки и сбои;

– сохранять на жестком диске подробную информацию о принятых и отправленных сообщениях между изделием и управляющим компьютером (логирование протокола обмена).

Эта задача решается путем разработки и дальнейшего применения программно-аппаратного комплекса для испытания сигнальных фонарей. Он представляет собой программное обеспечение, работающее на управляющем персональном компьютере и устройстве сопряжения, позволяющее подключить фонарь к управляющему компьютеру.

В состав устройства сопряжения входят следующие микросхемы:

– MCP2515 – контроллер CAN шины. Обеспечивает интерфейс между фонарем и устройством сопряжения. Осуществляет эмуляцию CAN шины транспортного средства.

– FT232RL – преобразователь интерфейсов USB-UART. Применяется для связи с ПК по интерфейсу USB.

– Atmega 328 – контроллер, отвечающий за прием команд от управляющего компьютера, формирования команд для фонаря и управление микросхемой MCP2515. Этот микроконтроллер содержит в себе соответствующую специальную программу.

Таким образом, устройство сопряжения позволяет управлять фонарем с любого персонального компьютера через порт USB и при этом осуществляет эмуляцию CAN шины.

Управляющая программа разработана для операционной системы Windows. Программа осуществляет прием команд от пользователя, передачу команд фонарю через устройство сопряжения, получение и обработку информации от фонаря, отображение состояния фонаря на экране компьютера.

Для подключения к устройству сопряжения программа использует виртуальный COM-порт, создаваемый драйвером микросхемы FT232RL.

Программа формирует пакеты данных, аналогичные тем, которые передаются в фонарь блока ECU транспортного средства.

Так как универсального протокола взаимодействия транспортных средств с сигнальными фонарями нет, существуют только общие рекомендации, то каждый производитель может вносить в него существенные вариации. Чтобы обеспечить гибкость испытательному комплексу, все специфические реализации протоколов скрыты общим программным интерфейсом. Это позволяет реализовывать новые протоколы простым добавлением соответствующего драйвера без вмешательства в остальной код программы.

Для взаимодействия с пользователем программа предоставляет оконный графический интерфейс (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пользовательский интерфейс управляющей программы

Программа позволяет включать и выключать отдельные сигналы (опции) фонаря в любой последовательности. При этом сразу же происходит передача управляющей команды фонарю. При получении от фонаря информации о состоянии сигналов это состояние отображается на схематичном изображении фонаря. В случае возникновения ошибки или неисправности на изображении фонаря отображается значок неисправности на соответствующей опции. Также все действия и состояния выводятся в текстовом виде для возможности дальнейшего анализа.

Кроме ручного режима управления, предусмотрены программы автоматического тестирования. При их активации осуществляется автоматическое включение и выключение сигналов по заранее заданным программам.

Важной функцией является возможность эмуляции внешних условий. В нормальном режиме работы, фонарь анализирует данные, поступающие от датчиков освещенности (внешние условия освещения), акселерометра (ускорение транспортного средства) и датчика приближения (степень светопропускания корпуса фонаря). Однако эти воздействия затруднительно достоверно воссоздать в условия тестирования фо-

наря. Например, невозможно одновременно подвергать фонарь ускорению и производить измерение распределения силы света. Кроме того, задавать условия внешней освещенности сложно в условия измерений (темная комната). Измерение характеристик фонаря в условиях загрязнения светоиспускающей поверхности является отдельной задачей. Здесь необходимо нормировать характер загрязнения, разработать способ его нанесения и так далее.

Для решения этой проблемы в протокол управления фонарем были введены дополнительные команды, позволяющие принудительно установить значения внешних параметров и игнорировать показания датчиков в тестовом режиме. При этом предприняты меры защиты от случайного включения тестового режима во время эксплуатации устройства. Тестовый режим позволяет измерить светотехнические и электрические характеристики фонаря во всех возможных режимах работы. В настоящее время это режим «день/ночь» для внешней освещенности, присутствие/отсутствие загрязнения, 3 уровня ускорения (<2g, 2..4g, >4g). Дополнительно есть возможность отключения режима мигания для указателя поворота, что позволяет измерять его светотехнические характеристики.

С целью осуществления анализа ошибок и отладки изделия, управляющая программа осуществляет запись на жесткий диск компьютера всех отправленных команд и принятых сообщений с привязкой ко времени.

Применение такого программно-аппаратного комплекса позволило ускорить и упростить разработку и отладку программного обеспечения фонаря (прошивки), измерить светотехнические характеристики фонаря во всех возможных режимах работы, а также провести ряд презентаций и демонстраций изделия. В дальнейшем он может быть использован для осуществления контроля качества готовых изделий на производстве, где будет активно использован режим автоматического тестирования.

1. Сернов С.П. Современное состояние автомобильной светотехники с несменными источниками света на основе светодиодных технологий / С.П. Сернов, Д.В. Балохонов, Т.В. Колонтаева // Наука и техника. – 2012. – №3. – С.36-41.
2. Road vehicles — Controller area network (CAN) – Part 1: Data link layer and physical signalling // ISO 1 1898-1:2003.
3. Tractors and machinery for agriculture and forestry // ISO 11783-7:2012.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЧМ-МОДУЛЯЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Зайцев Е.А.¹, Левицкий А.С.¹, Сидорчук В.Е.²

¹Институт электродинамики НАН Украины

²Киевский национальный торговко-экономический университет

Киев, Украина

Мониторинг воздушного зазора между статором и вращающимся ротором гидрогенератора в процессе эксплуатации позволяет по отклонению текущего значения величины зазора от нормы судить об эксцентриситете ротора, искажении формы ротора или статора и износе подшипников [1]. Таким образом, построение систем мониторинга воздушного зазора является актуальной научно-технической проблемой обеспечения безопасной и бесперебойной работы гидрогенераторов.

Как известно [2], контроль воздушного зазора может осуществляться с помощью оптических систем. Принимая во внимание труднодоступность и тяжелые условия эксплуатации датчиков, авторами предлагается для передачи и приема оптического излучения использовать оптоволоконные линии. В данном случае чувствительная часть системы оптического контроля реализована на основе 2-х лазерных датчиков. Датчики

размещены на одной стороне сердечника статора на расточке под углом 90° друг к другу, а средства обработки отнесены на некоторое необходимое расстояние, обеспечивающее низкий уровень внешних неблагоприятных воздействий (электромагнитные поля, температура и т.д.). Разработанная структурная схема, реализующая систему оптического контроля, представлена на рис.1. На схеме приняты следующие обозначения: МСЧ – малогабаритный двухканальный синтезатор частоты, ГТ – тактовый генератор, ЛИ – лазерный излучатель, СМ – смеситель, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, ЦСП – цифровой сигнальный процессор, КК – оптическая ячейка Керра, ЛЗ – оптическая линия задержки, Л – линза, ПЗ – полупрозрачное зеркало, ОР – оптический разветвитель, ОБ – оптоволоконно, ОА – оптический адаптер, ЭВМ – электронно-вычислительная машина, ОБЛ – оптоволоконная линия, ОС – оптический сенсор.

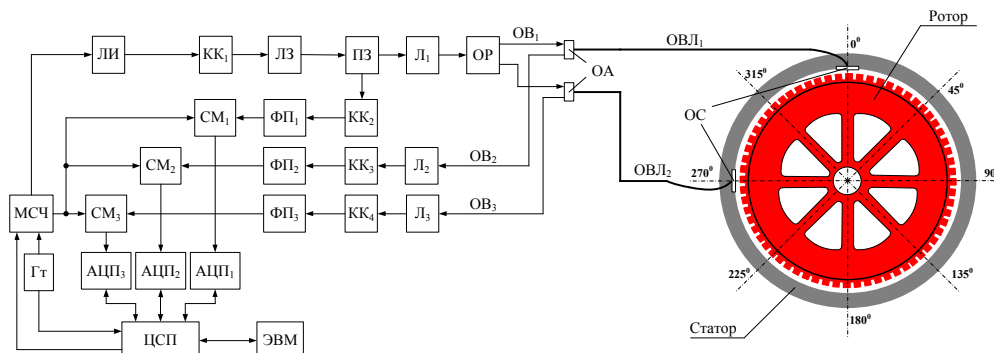


Рисунок 1 – Структурная схема оптической системы контроля воздушного зазора

Принцип работы предложенной схемы основан на использовании линейного изменения частоты модуляции (ЛЧМ-модуляции) лазерного зондирующего излучения. В этом случае значение частоты модуляции зондирующего сигнала изменяется по линейно-ступенчатому закону в течение длительности цикла измерения (рис.2.б). Значение частоты модуляции определяется выходным напряжением МСЧ в качестве которого использовано две микросхемы AD9954 [3]. Параметры выходного напряжения МСЧ задаются через управляющие коды ЦСП [4]. При этом напряжения, получаемые на выходах СМ₂ и СМ₃ в результате перемножения зондирующего и эхо-сигналов, соответствуют разнице частот между сигналами и прямо

пропорциональны расстояниям от оптических сенсоров до измеряемых полюсов ротора или межполюсного пространства (рис.2.а). Модуляционное напряжение с одного из выходов МСЧ подается на лазерный излучатель (ЛИ) с выхода которого лазерный поток через ячейку Керра (КК₁), используемую в качестве оптического управляемого ЦСП оптического затвора при калибровке системы, поступает на оптическую линию задержки (ЛЗ), формирующую необходимую задержку зондирующего излучения для формирования начального значения разностной частоты между зондирующим и эхо-сигналами. С выхода ЛЗ часть оптического излучения через полупрозрачное зеркало (ПЗ) поступает на

измерительные оптические сенсоры (ОС) через оптический разветвитель (ОР), оптоволоконно (ОВ₁) далее оптический адаптер (ОА) и волоконную линию (ОВЛ₁). Остальная часть оптического излучения поступает на калибровочный канал, состоящий из оптической ячейки Керра (КК₂), фотоприемника (ФП₁), смесителя (СМ₁) и АЦП₁. Код с выхода АЦП₁ передается в ЭВМ при помощи ЦСП для дальнейшей обработки.

Отраженное модулированное лазерное излучение через приемное оптоволоконно (ОВЛ₁) поступает на измерительный канал через оптический адаптер (ОА). С выхода ОА оптическое излучение в измерительном канале через приемную линзу (Л₂) и ячейку Керра (КК₃) попадает на фотоприемник (ФП₂). С выхода фотоприемника информационный сигнал в виде напряжения поступает на смеситель (СМ₂). Временная диаграмма, соответствующая форме напряжения на выходе ФП₂, приведена на рис.2.в. С выхода ФП₂ сигнал поступает на АЦП₂ с выхода которого цифровые данные поступают в ЭВМ для дальнейшей статистической обработки. Второй канал, размещенный под углом 90° к первому, работает аналогичным образом уже рассмотренному.

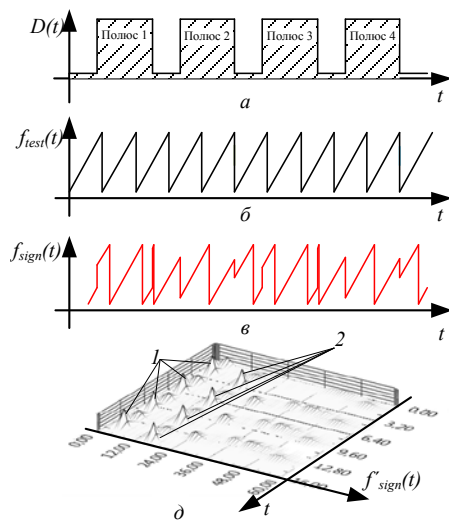


Рисунок 2 – Временные диаграммы

Для проверки принципа работы предложенной структурной схемы была разработана и выполнена в среде графического программирования NI LabView [5] имитационная модель лазерной системы мониторинга воздушного зазора, при помощи специальных модулей, входящих в состав LabView, а также простейших арифметических операций. При проведении исследований работы системы на основе разработанной модели был разработан модуль, имитирующий появление полюсов ротора

и межполюсного пространства над оптическим сенсором. Временная диаграмма сигнала разработанного модуля в декартовой системе координат показана на рис.2.а. Временная диаграмма изменения частоты зондирующего сигнала изображена на рис.2.б. Временная диаграмма, соответствующая изменению частоты эхо-сигнала, показана на рис.2.в. На рис.2.д приведены результаты работы программно-математических средств статистического анализа дискретных отчетов информационных эхо-сигналов. Для анализа полученных информационных сигналов применялось скользящее преобразование на основе быстрого преобразования Фурье с размещением полученных спектрограмм в режиме «водопад». Полученные "пики" спектральных составляющих обозначенные 1 соответствуют полюсам, а 2 соответствуют межполюсному пространству. При этом значении частоты "пики" спектральной составляющей имеет прямую зависимость от заданного в модели воздушного зазора до полюса и до "дна" межполюсного пространства.

В результате проведенных исследований на разработанной имитационной модели были показаны работоспособность предложенной структуры и принципы работы волоконно-оптической системы мониторинга воздушного зазора гидрогенераторов на основе использования ЛЧМ-модуляции.

1. Левицкий А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль стану потужних гідро- та турбогенераторів за допомогою ємнісних вимірювачів параметрів механічних дефектів. – Київ: Ін-т електродинаміки НАН України, 2011. – 242 с.
2. Куликов Д.В., Аникин Ю.А., Двойнишников С.В., Меледин В.Г. Лазерная технология определения геометрии ротора под нагрузкой // Электрические станции. – 2010. – №7. – С. 39–43.
3. Manual AD9854 400 MSPS, 14-Bit, 1.8 V CMOS, Direct Digital Synthesizer Reference Manual [Electronic resource].
4. Зайцев Е.А. Исследование погрешности установки частоты синтезаторов частотно-фазовых систем с использованием LABVIEW // Технічна електродинаміка. – 2014. – №2. – С. 84-88.
5. Тревис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 880 с.
6. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов // Монография: пер. с англ. под ред. Ю. К. Беляева – М.: Мир. – 1976. – 757 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА РАКУРСОВ ПРИ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ОБЪЕМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Зайцева Е.Г., Кислюк А.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Воспроизведение информации в виде объемного оптического изображения является удобным, а часто и необходимым инструментом анализа многомерных сигналов, независимо от того, являются ли они синтезированными или исходящими от реального объекта. При воспроизведении записанного или синтезированного изображения могут иметь место как потери информации, так и появление ложной информации. Целью настоящего исследования является определение условий, исключающих эти факторы при воспроизведении объемного изображения.

Системы воспроизведения объемного изображения можно разделить на 2 группы: стереоскопические и формирующие объемные модели. Подробный обзор упомянутых методов представлен в [1,2].

Принцип формирования изображений первой группы заключается в создании на экране двух смещенных относительно друг друга изображений, причем каждое из них должно быть видимым только для одного соответствующего ему глаза наблюдателя. Общим их недостатком является расхождение расстояний аккомодации и конвергенции, в результате чего в мозг наблюдателя от глазных мышц, управляющих соответствующими процессами, поступают рассогласованные между собой сигналы, что небезопасно для здоровья. Вследствие данного недостатка наиболее перспективными следует считать системы второй группы, воспроизводящие объемные изображения.

В системах второй группы в пространстве образуются элементы, являющиеся источником излучения, которые наблюдаются одновременно двумя глазами. Соответственно работа мышц зрительного анализатора осуществляется согласованно, как и при наблюдении реального объекта, что обеспечивает условия восприятия, аналогичные естественным.

Часть этих систем предусматривает необходимость механического перемещения элементов во время воспроизведения изображения. Временная сумма изображений при этом не является естественной для зрительного восприятия. Другая часть систем для воспроизведения объемных изображений не требует механических перемещений и включает системы с многослойными экранами. Последние системы достаточно сложны с точки зрения технической реализации.

Ко второй группе систем относятся также системы, основанные на принципе интегральной фотографии. Традиционная система включает линзовую матрицу, формирующую при записи совокупность изображений объекта в различных ракурсах на светочувствительном материале (фотопластинка). Идентичная матрица с обработанной фотопластинкой воспроизводит объемное изображение в виде оптической модели.

Использование вместо традиционного светочувствительного материала цифровой светочувствительной матрицы при записи и дисплея при воспроизведении /может, ссылка на что-то/ позволяет записывать и соответственно воспроизводить не только фотографические, но и видеоизображения. При этом между записью и воспроизведением изображения появляется промежуточный этап обработки и передачи цифровой информации. Такое отделение процесса записи и воспроизведения обеспечивает возможность воспроизводить в виде оптической модели не только оптическую информацию в видимом человеку спектральном диапазоне, но и в других спектральных диапазонах, а также синтезированную информацию. Расширение области применения интегрального метода требует сформировать требования к качеству информации, воспроизводимой с его помощью. Исходя из вышеизложенного, очевидно, что традиционное название метода «интегральная фотография» становится узким вследствие расширения его возможностей и области применения, поэтому в дальнейшем будет использоваться термин «интегральный метод», подразумевающий способ воспроизведения через оптические элементы множества плоских изображений объекта, в результате которого в пространстве формируется объемное изображение объекта. При этом воспроизводимые изображения могут быть получены при как при записи многомерной информации, так и синтезированных помощью компьютерных программ.

Задачей настоящего исследования явилось обоснование требований к количеству ракурсов воспроизводимого объекта при использовании интегрального метода на основании условия отсутствия искажений изображения при использовании линзовых элементов без ограничения их поля зрения и отсутствия прерывистости при изменении точки зрения в процессе рассматривания объемного изображения.

Рассмотрим условие отсутствия искажений изображения при использовании линзовых элементов без ограничения их поля зрения.

На рисунке 1 изображена схема построения изображения точки объекта A элементом O линзовой матрицы на плоскости BC светочувствительной матрицы, причем точка A расположена на перпендикуляре к плоскости матрицы, проходящем через точку пересечения осей симметрии матрицы. В дальнейшем эту точку будем для краткости называть центром матрицы. Необходимо иметь в виду, что это частный случай расположения точек объекта, в общем случае необходимо учитывать и две другие координаты расположения точек, лежащих на расстоянии z от линзовой матрицы.

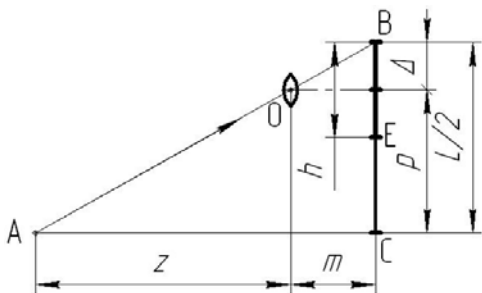


Рисунок 1 – Схема построения изображения точки объекта линзовым элементом матрицы

Линза O строит изображение объекта A в точке B , причем точка B на рисунке 1 совпадает с границей линейного размера стороны BE элементарного кадра. В дальнейшем под элементарным кадром будем понимать часть плоскости на светочувствительной матрице, внутри которой линза строит изображение. Этот размер при постоянном размере кадров совпадает с шагом кадров t , причем

$$t = \frac{\text{Ш}_{\text{матр}}}{n}, \quad (1)$$

где $\text{Ш}_{\text{матр}}$ – линейный размер светочувствительной матрицы в выбранном направлении; n – количество кадров, помещающихся на матрице в этом направлении.

Условие отсутствия искажений при использовании линзовых элементов без ограничения их поля зрения в соответствии с рисунком 1 означает, что изображение точки A элементом линзовой матрицы должно находиться в пределах границ линейного размера BE стороны элементарного кадра, то есть

$$\Delta \leq \frac{t}{2}, \quad (2)$$

где Δ – расстояние от пересечения светочувствительной матрицы оптической осью линзового элемента (центральная точка элементарного кадра) до изображения B точки A объекта на этом кадре.

Из подобия прямоугольных треугольников на рисунке 1 следует, что

$$\frac{\Delta}{m} = \frac{p + \Delta}{z + m}, \quad (3)$$

где m – расстояние от задней главной плоскости линзового элемента до светочувствительной матрицы; z – расстояние от точки A до плоскости линзовой матрицы; p – расстояние от центра матрицы до оси линзового элемента.

Из формулы (3) следует:

$$\Delta = \frac{m \cdot x}{z} \quad (4)$$

Очевидно, что Δ принимает максимальное значение для последнего кадра на матрице, соответствующего последнему ракурсу. Тогда с учетом формулы линзы

$$\frac{1}{|z|} + \frac{1}{|m|} = \frac{1}{F} \quad (5)$$

где F – фокусное расстояние линзы, выражений (1-4) получим формулу для расчета максимального количества ракурсов n_{max}

$$n_{\text{max}} = \frac{z - F}{F} + 1 \quad (6)$$

для четного числа кадров на матрице и

$$n_{\text{max}} = \frac{z - F}{F} \quad (7)$$

для нечетного числа кадров.

Из формул (6,7) следует, что для точек лежащих на оси, проходящей через центр матрицы, максимальное число возможных ракурсов растет с расстоянием между матрицей о объектом и падает с ростом фокусного расстояния линзовых элементов.

1. Emerging Technologies for 3D Video: Creation, Coding, Transmission and Rendering //Frederic Dufaux, Beatrice Pesquet-Popescu, Marco Cagnazzo. May 2013.- 518 p. – Mode of access: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118355113.html> - Date of access: 04.09.2016.
2. Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display Editors: Javidi, Bahram, Okano, Fumio, Son, Jung-Young (Eds.) – Mode of access: <https://www.springer.com/us/book/9780387793344> - Date of acces: 04.09.2016.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

Здоровцев С.В., Кушнеров Д.П., Паршков А.В., Сушко В.А.

Открытое акционерное общество «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

Модульный принцип построения аппаратно-программных информационно-измерительных комплексов и систем обеспечивает техническую и информационно-функциональную совместимость и взаимозаменяемость модулей, упрощает техническое обслуживание и повышает точность и надежность их функционирования [1]. Как правило, в одной системе объединяют технические средства для измерения, контроля различных характеристик: физических величин, технических параметров и т.п.

Модульное построение информационно-измерительных систем предусматривает следующий набор элементов: модуль центрального процессора, дополнительные модули памяти, модули интерфейса, модули расширения системы и рамы для размещения блоков элементов. [2] В этом случае каждой процедуре присваивается имя, и она оформляется в виде стандартного программного модуля, выполняющего четко определенную функцию. Модульное построение системы имеет и другое преимущество. Пользуясь одним и тем же общим набором модулей, можно в принципе построить из них различные структуры, соответствующие решению разных задач. При этом необходимо учитывать ряд особенностей при решении измерительных задач, основным из которых является необходимость учета динамики реализации модулей и вызова в оперативную память соответствующих массивов в целом или их частей. Время обмена с внешней памятью при модульном построении системы складывается из времени обмена при вызове модулями необходимых информационных массивов, а также времени записи и считывания промежуточных результатов работы системы модулей.

Структурная схема аппаратно-программного комплекса (АПК) с использованием модулей функциональных интеллектуальных датчиков (ФИД), представлена на рисунке 1.

Основными преимуществами такого АПК являются:

- возможность избирательного подключения датчиков системы в зависимости от решаемых задач;

- возможность реализации многоканального режима работы системы в реальном времени;

- возможность наращивания функциональных модулей и программно-аппаратных средств системы;

– возможность изменения конфигурации системы в зависимости от требований потребителя.



Рисунок 1 – Структурная схема АПК с использованием модулей ФИД

В работе представлены результаты разработки АПК на базе персонального компьютера (ПК), предназначенного для проведения измерений при выполнении физических и химических экспериментов (рисунок 2).



Рисунок 2 – АПК на базе ПК

В состав АПК входят:

- персональный компьютер Intel Pentium G 2.8 ГГц с характеристиками: объем ОЗУ не менее 2 Гбайт, разрешение экрана монитора не менее 10254x746 пикселей, наличие порта USB,

- комплект модулей ФИД (цифровые датчики) различного функционального назначения,
- специальное ПО "DIGITAL LABORATORY" на базе ОС Windows XP SP3, Windows Vista, Windows 7 SP1; платформа Microsoft .NET Framework 4;

- специальное ПО для цифровых датчиков «Digital Sensors».

Комплект модулей ФИД обеспечивает измерение ряда физических величин:

- температуры и влажности воздуха ($- 55^{\circ}\text{C} - + 125^{\circ}\text{C}$; $10\% - 100\%$);
- давления ($0 - 100$ кПа);
- ускорения ($- 4 - + 4$ g);
- индукции магнитного поля ($- 0,8 - + 0,8$ мТл);
- освещенности ($0 - 65535$ лк);
- расстояния ($0,04 - 4,0$ м);
- угловой скорости ($0 - 2000$ град/с);
- угла поворота ($0 - 360$ град);
- температуры ($- 40^{\circ}\text{C} - + 1100^{\circ}\text{C}$);
- электропроводности растворов ($0 - 10$ мСм/см)
- объема газа с контролем температуры ($0 - 30$ мл/мин; $- 20^{\circ}\text{C} - + 80^{\circ}\text{C}$);
- оптической плотности растворов в спектре:зеленый – 525 нм; желтый – 590 нм ($0 - 4,81$ ед. оптической плотности)

На рисунке 3 показана виртуальная панель выбора режимов работы АПК.



Рисунок 3 – Виртуальная панель выбора режимов работы АПК

На рисунке 4 представлены фрагменты образов сенсорных модулей при различных режимах работы АПК.

Разработанный АПК позволяет решать комплексные измерительные задачи при выполнении физических и химических экспериментов в научных и учебных лабораториях. Разработанное ПО дает возможность обеспечивать математическую обработку полученных данных и их отображение на экране ПК в виде гистограмм, графиков, таблиц. АПК позволяет реализовывать функции, необходимые для эффективного процесса обучения – обеспечение автоматизированного сбора и обработки данных, выполнение экспериментов с несколькими сериями замеров с использованием различных сенсорных модулей, позволяющих производить измерения различных параметров. Предложенное техническое решение повышает точность и наглядность выполнения естественнонаучных экспериментов, предоставляет дополнительные возможности по авто-

матической обработке данных и анализу полученных результатов.



а



б



в

Рисунок 4 – Фрагменты образов сенсорных модулей при различных режимах работы АПК: а) измерение температуры и влажности воздуха; б) измерение угловой скорости и угла поворота; в) измерение объема газа с контролем температуры с отображением динамики изменения параметров во времени

1. Кычкин, А.В. Модель синтеза структуры автоматизированной системы сбора и обработки данных на базе беспроводных датчиков // Автоматизация и современные технологии. – 2009. - № 7. – С.15 – 20.
2. Крюков, В.В. Информационно-измерительные системы / В.В. Крюков. Владивосток: ВГУЭС, 2000. – 102 с.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ

Ивлев Ю.П., Черневич О.В., Лущик А.П., Штых А.А.

Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь
Минск, Республика Беларусь

При проведении испытаний на огнестойкость по ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» при определении предельного состояния конструкции по потере несущей способности строительных конструкций используются прогибомеры «БПАО» и теодолиты «4Т30П» с линейкой.

Прогибомер «БПАО» представляет собой механическое аналоговое устройство с двумя стрелками и шкалами, показывающими отклонение от заданного уровня в миллиметрах, и позволяет определить скорость нарастания деформации и прогиб при испытании горизонтальных строительных конструкций. Во время проведения испытаний при определении прогибов стрелки прогибомеров вращаются по часовой стрелке. Помимо прогибов наблюдается побочное явление, называемое «выгиб», когда стрелка прибора вращается в обратном направлении, тем самым сбивая показания прогибомеров. Испытателю приходится постоянно наблюдать за прибором и точно фиксировать значения прогибов и «выгибов», а после испытаний по формулам определять значения контролируемых показателей.

При проведении испытаний на огнестойкость вертикальных строительных конструкций используются металлическая линейка, прикрепляемая к испытываемому образцу, и теодолит, с помощью которого фиксируется отклонение от заданного уровня.

Процесс подготовки к испытаниям строительной конструкции при оценке несущей способности достаточно трудоемкий и требует высокой точности установки измерительных приборов.

Для минимизации времени при подготовке к испытаниям, увеличения точности измерений, автоматизации процесса измерения при определении прогибов и скорости нарастания предельных деформаций создан аппаратно-программный комплекс определения прогибов строительных конструкций при их испытаниях на огнестойкость [1] (далее – АПК).

АПК включает комплект датчиков определе-

ния линейного перемещения (прогиба) до 300 мм, автоматизированную систему сбора данных с датчиков с 4-проводной линией в количестве 7 штук, компьютер с установленным программным обеспечением. АПК в автоматическом режиме обеспечивает опрос датчиков прогиба, сбор и хранение полученных данных на жестком диске компьютера, построение зависимостей прогиба от времени и скорости нарастания деформации от времени с дискретностью по оси ординат 5 секунд, по оси абсцисс 5 мм.

Для измерения угла наклона и получения форматированных электрических сигналов совместно с НИИ радиоматериалов разработан датчик угла наклона ДУН-01К. Датчик предназначен для определения положения поверхности строительной конструкции во время испытания и пересчета угла наклона в линейный прогиб, преобразования величины прогиба в цифровой код и передачи его по стандартному цифровому интерфейсу в компьютер.

В электрической схеме датчика ДУН-01 использованы микросхемы, обеспечивающие температурный диапазон работы от -40 до +125°C: чувствительный элемент – микромеханический акселерометр американской фирмы Analog Devices типа ADXL 213E и микропроцессор американской фирмы Microchip типа PIC18F2420 ISO. В качестве базового интерфейса обмена данными между ДУН и компьютером установлен интерфейс CAN. Тип материала корпуса выбран из нержавеющей стали 12НХ18Ю. Для вывода из высокотемпературной зоны разъемного соединения смонтирован стационарный кабель МГТФЭС 4x0,12 ТУ РБ 101149747.008-2004. Длина кабеля может составлять от 2 до 6 м. На таком расстоянии от печи располагается ответное разъемное резьбовое электрическое соединение типа РС-4 АВО.364.030, необходимое для подключения датчиков к системе сбора данных и передачи их на компьютер. Кроме того, кабель защищен металлорукавом диаметром 10 мм из оцинкованной стали, что существенно улучшает механические и температурные свойства электрического соединения датчика.

Разработанное совместно с БНТУ программное обеспечение ПО «Прогиб-300» предназначено для решения следующих задач:

– организации автоматизированного опроса с

комплекта датчиков прогиба;

- автоматизированного сбора данных на компьютер через адаптер связи;

- хранения собранных данных на жестком диске компьютера;

- визуализации полученных данных на экране монитора;

- организации ведения базы данных заявителей и строительных конструкций.

Для работы ПО необходим компьютер, совместимый с IBM PC, под управлением операционной системы Windows XP\7.

Нормальное отображение рабочих и информационных окон программ обеспечивается при минимальном разрешении экрана 1024×768 в режиме мелкого шрифта.

Для работы ПО суммарный объем оперативной и дисковой памяти должен быть достаточным для размещения удвоенного суммарного объема файлов базы данных, но не менее 256 МБ ОЗУ и не менее 500 МБ свободного места на жестком диске. Частота процессора – не менее 800 МГц для работы с Windows XP.

ПО «Прогиб-300» поставляется на оптическом диске CD-ROM.

Ввод идентификационных данных об испытываемой строительной конструкции осуществляется по следующим позициям:

- наименование заявителя на проведение испытаний;

- наименование испытываемой строительной конструкции;

- габариты строительной конструкции;

- время проведения испытаний, мин.

Обеспечивается автоматическое сохранение файлов с результатами испытаний в соответствующие каталоги.

Осуществлена калибровка АПК и поверка средств измерения, Свидетельство о калибровке №109 от 19.06.2012.

Натурные испытания с использованием разработанного АПК проводились на испытательно-исследовательском полигоне НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси на установке по экспериментальному определению огнестойкости горизонтальных строительных конструкций. Испытания проводились на железобетонной плите перекрытия 170 П8-Э1-1 размером 4570×2980×160 мм. Прогиб строительной конструкции определялся с помощью прогибомера 6ПАО, установленного в геометрическом центре измеряемой конструкции с необогреваемой стороны, и ДУН-01, установленных на исследуемой конструкции, согласно эксплуатационной документации. После включения горелок печи снимались показания прогиба строительной конструкции (плита перекрытия 170 П8-Э1-1) с интервалом 10 минут в течение

60 минут или до достижения конструкцией одного из предельных состояний. Результаты натурных испытаний представлены в таблице.

Таблица 1 – Результаты натурных испытаний

Минута испытаний	Показания, мм	
	прогибомер 6ПАО	АПК
2	1	0,9
10	27	27
20	65,5	64
30	91	94
40	109	111
45	Обрыв натяжного элемента прогибомера из-за образования продольной трещины на строительной конструкции	123

Максимальное отличие показаний прогибомера 6ПАО и значений, полученных на АПК в процессе проведения испытаний, зафиксировано на 30 и 40 мин и не превышало 3 мм.

АПК определения прогибов строительных конструкций при их испытаниях на огнестойкость внедрен на испытательно-исследовательском полигоне НИИ ПБиЧС МЧС Беларуси и используется при проведении натурных испытаний по определению предела огнестойкости.

Внедрение АПК позволило увеличить точность измерений при проведении испытаний, автоматизировать процесс измерения при определении прогибов и скорости нарастания предельных деформаций. Созданный АПК позволяет в автоматическом режиме измерять скорости нарастания деформаций и прогибы, строить графики отклонений контролируемых величин от заданных, анализировать соотношения прогибов и «выгибов», исключить человеческий фактор ошибки, повысить уровень точности измерений.

1. Ивлев Ю.П., Черневич О.В., Лущик А.П., Штых А.А. Аппаратно-программный комплекс определения прогибов строительных конструкций при их испытаниях на огнестойкость // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – №2(32). – С. 60-69.

ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ»

Исаев А.В., Кривицкий П.Г., Голубев А.А., Безлюдов А.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью современного образования является не только предоставление знаний, но и обучение навыкам их эффективного профессионального применения, включая, помощь в преодолении у будущих специалистов определенных страхов и предубеждений в освоении некоторых, достаточно сложных и специфических областей техники и технологий. Такой областью является, например, программируемая электроника, совмещающая в себе цифровую электронную технику и технологии ее программирования. Разрабатываемый электронный комплекс должен помочь в решении этих задач.

Для этого комплекс должен выполнять две, в какой-то мере противоположных, задачи. Первой и основной целью разработки является построение системы, имеющей максимально широкие возможности для создания законченных устройств при минимальных затратах времени и материальных ресурсов. Вторая цель - это формировать комплекс, работа с которым не требовала максимально глубоких знаний в электронике и программировании.

Конечно, в настоящее время на рынке присутствует большое количество отладочных плат для различных программируемых систем, но все они или очень простые – что-то вроде поморгай светодиодом, или очень узконаправленны в применении. А, следовательно, построить на таких

отладочных платах что-либо законченное очень затруднительно.

Оценив минимальные требования к будущему комплексу, была разработана его структура, которая представлена на рисунке 1.

В качестве управляющего программируемого устройства выбрана плата ARDUINO NANO [1], основанная на достаточно «укомплектованном» микроконтроллере семейства AVR – AtMega328PU [2]. Данный микроконтроллер имеет в своем составе 22 цифровых порта ввода-вывода, 8 линий встроенного, 10-разрядный АЦП, три аппаратных таймера с функцией 8-разрядного ШИМ, развитую систему приоритетных прерываний и полный набор встроенных последовательных интерфейсов. На самой плате находится преобразователь интерфейсом «USB to UART», который совместно с загрузчиком ARDUINO позволяет загружать программы и отслеживать работоспособность системы без применения дополнительных аппаратных средств. Кроме этого, такой подход решал вопрос и электропитания, т.к. система питается от USB-порта.

Дополнительно комплекс разбит на три блока: блок цифрового и аналогового ввода, блок индикации и блок датчиков.

В общем виде лабораторный комплекс получил вид, представленный на рисунке 2.

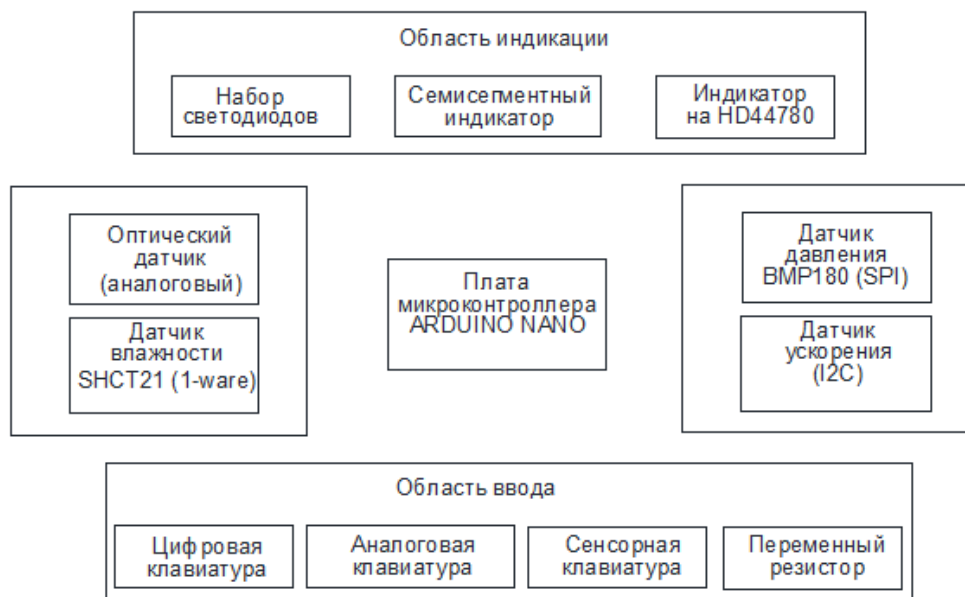


Рисунок 1 – Структура лабораторного комплекса

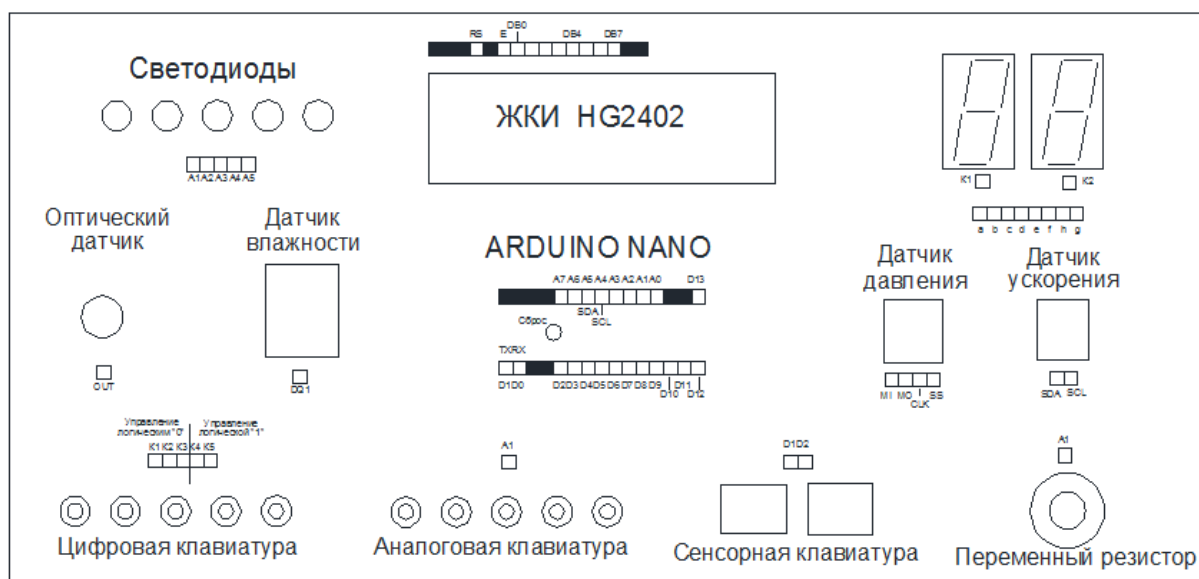


Рисунок 2 – Верхняя рабочая панель лабораторного комплекса

Блок ввода позволяет осуществлять ввод информации в микроконтроллер следующими способами:

- с помощью кнопок, коммутируя на выбранные цифровые порты логический «0» (цифровая клавиатура);
- с помощью кнопок, коммутируя на выбранные аналоговые порты определенные уровни напряжений - аналоговая клавиатура;
- посредством изменения внешней времязадающей цепи цифровых портов (сенсорная клавиатура);
- с помощью переменного резистора, выдавая на выбранные аналоговые порты определенные уровни напряжений.

Блок индикации позволяет формировать информацию о состоянии системы и включает в себя:

- набор светодиодов, для организации отслеживания работы портов в различных режимах – постоянно включенное состояние, мигающее состояние, вывод ШИМ;
- 2-строчный, 16-символьный ЖКИ на основе контроллера HD44780;
- набор из двух семисегментных светодиодных индикаторов с общим катодом.

Блок датчиков содержит набор цифровых схем различного назначения с различным типом представления информации – аналоговый вывод, посредством стандартных интерфейсов I2C, SPI,

1-Wire.

Для дополнительной защиты лабораторного комплекса здесь была реализована система независимого питания, т.е. питание на все элементы системы подается неявно, что не дает возможность учащимся по незнанию или не опытности вывести их из строя.

Следует отметить, что такое построение системы является «открытым» для подключения к микроконтроллеру любых других устройств (микросхем), а также допускает использование различных процессорных плат в зависимости от специфики конкретных решаемых задач. Это позволяет, кроме непосредственно выполнения комплекса лабораторных работ, реализовывать различного типа системы в рамках курсового проектирования путем добавления в систему дополнительных внешних управляющих устройств, таких как шаговых двигателей, TFT-экранов, различного типа беспроводных передатчиков и др.

1. Техническая документация // электронный ресурс <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>.
2. Техническая документация: ATmega328 // электронный ресурс http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_datasheet.pdf.

32-РАЗРЯДНЫЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕР STM32 И ARDUINO IDE**Исаев А.В., Кривицкий П.Г., Голубев А.А., Безлюдов А.А.***Белорусский национальный технический университет**Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время программируемая электроника все больше смещается из области 8-разрядных систем к 32-разрядным. Аппаратная часть устройств на основе микроконтроллеров (МК) развивается стремительными темпами. Однако сформировавшиеся навыки программирования существенно сдерживают процесс разработки программно-аппаратных устройств, в которых, как правило, затраты на разработку программной части многократно превышают стоимость проектирования и изготовления аппаратуры. Становятся востребованными средства, позволяющие упростить и ускорить разработку встроенных программ даже ценой неоптимального использования аппаратных средств МК. Один из примеров этому – платформа программирования Arduino IDE. Будучи по-настоящему уникальной, позволяющая создавать проекты буквально за минуты, эта платформа привлекает начинающих разработчиков всего мира.

Прогресс нельзя остановить, разработчики это понимают и начинают осваивать 16- и 32-разрядные микроконтроллеры, так как 8-битные микроконтроллеры, на которых основано немало «ардуино-плат», не всегда могут справиться с поставленными задачами. Это проявляется и в том, что на рынке все чаще появляются модули с 32-х разрядными микроконтроллерами семейства STM32, по всем внешним признакам адаптированным к платформе Arduino IDE.

Сравним основные параметры микроконтроллеров в двух изделиях, примерно равных по цене (в 2 бел.руб): STM32 плате (с МК STM32F103C8T6) и её аналоге – Arduino PRO Mini (с МК AtMega328PU).

Параметр	STM32F103C8T6	AtMega328PU
Рабочая частота, МГц	72	16
Flash память программ, Кбайт	64	32
Оперативная память, Кбайт	20	2
АЦП, разрядов	12	10
АЦП, скорость преобразования, выб./с	2 000 000	500 000
ШИМ	16-битный	8-битный
Напряжение питания, В	2 ... 3.6В	2.7 ... 5

Наряду с очевидным превосходством по основным параметрам ядра, первый МК имеет в разы больше встроенных периферийных

устройств: аппаратных интерфейсов I2C, SPI, UART, USB, DMA, часы реального времени.

Всё это в сумме делает данную первую плату крайне привлекательной во всём, кроме одного — STM32 для изучения с «нуля» является существенно более затратным по времени и объему информации [1,2]. А вот если подружить STM32 с Arduino IDE [3], то порог вхождения опускается до крайне низкого уровня. Но для этого необходимо провести несколько не сложных действий.

Приступим к подготовке платы, для работы с Arduino IDE. Первое что необходимо сделать — залить в микроконтроллер специальный загрузчик, который позволит прошивать плату через USB-порт. Для этого необходимо выполнить следующие действия.

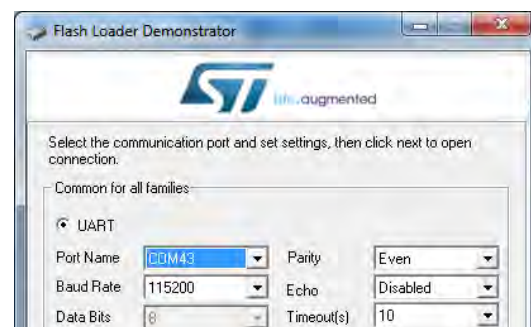
1. Перевести джампер BOOT0, в положение «1».
2. Подключить плату к USB\leftrightarrowUART переходнику (например на базе микросхемы CH340G) по следующей схеме.

Контакты CH340G	Контакты STM32
RXD	A9
TXD	A10
VC	5V
GND	G

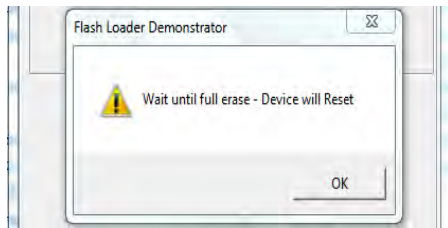
где A10/A9 выводы PA10/PA9 на плате STM32 – первый аппаратный USART.

3. Установить загрузчик памяти программ микроконтроллеров семейства STM32. Для этого:

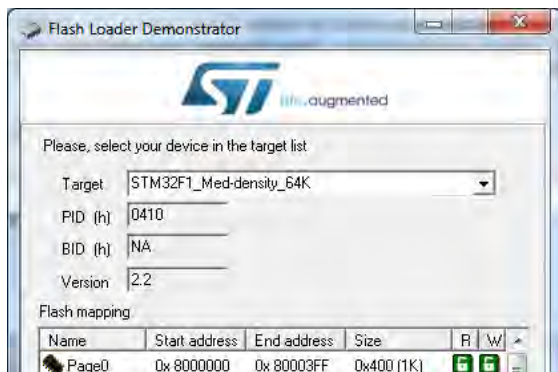
- Скачать с сайта производителя st.com, установить и запустить Windows-приложение Flash Loader Demonstrator [4];
- выбрать номер последовательного COM-порта переходника;



- разрешить аппаратную очистку памяти подключенного микроконтроллера;



- выбрать из представленного перечня подключенный микроконтроллер, в который будет запрограммирован загрузчик;



- по закладке «Download to device» из проекта STM32duino-bootloader выбрать загрузчик «generic_boot20_pc13.bin»;

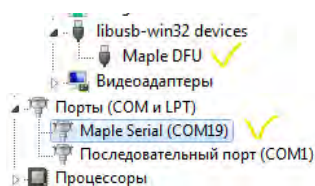


- по кнопке «Next» завершить загрузку загрузчика в микроконтроллер.

4. Скачать STM32 ядро для среды разработки Arduino IDE и распаковать содержимое архива в папку «Документы\Arduino\hardware»;

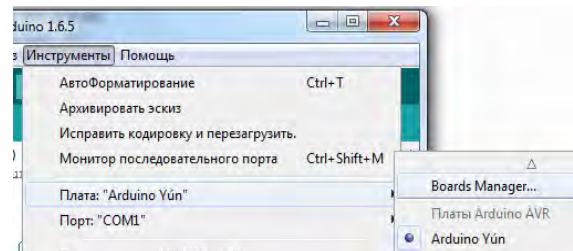
5. Из папки от имени администратора установить драйвера на плату (файл «install_drivers.bat»).

6. Перевести джампер «BOOT0», в положение «0» и подключить плату к компьютеру через USB-кабель. Плата должна определиться в диспетчере устройств как «Maple DFU» или «Maple Serial (COM*)»

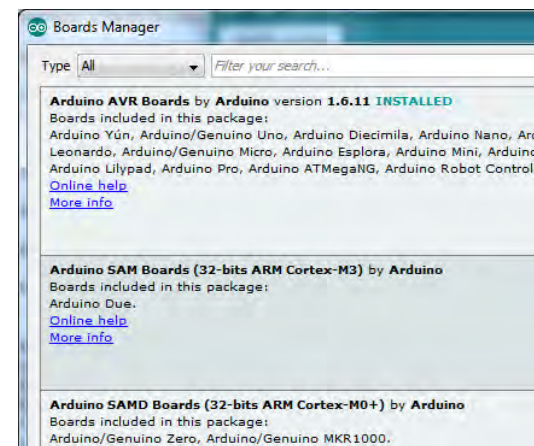


Теперь можно приступить непосредственно к настройке приложения Arduino IDE:

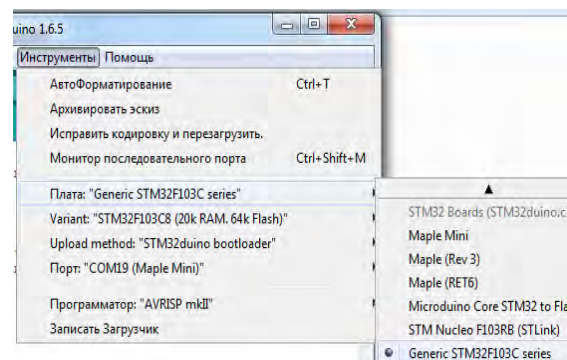
1. Запустить среду разработки Arduino, и перейти к выбору платы по вкладке Инструменты -> Плата -> Boards Manager.



2. Установить ядро для платы Arduino Due, для чего выбрать последнюю версию и нажать «Install».



3. Задать режимы загрузки программ по меню Инструменты -> Плата -> «Generic STM32F103C», дальше Variant: «STM32F103C8 (20k RAM. 64k Flash)», Upload Method: «STM32duino bootloader», Порт — номер COM-порта платы



После этого плата готова к работе (прошивке и программированию) в среде разработки Arduino IDE.

Выполненная адаптация МК STM32F103x8 к работе в Arduino IDE позволяет получить не сложное в программировании, но существенно более функциональное и быстродействующее целевое устройство.

1. Техническая документация: STM32F103x8 // электронный ресурс http://www.st.com/content/st_com/en/products/microcontrollers/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus/stm32f1-series/stm32f103/stm32f103c8.html.
2. Техническая документация: Справочное руководство STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx. ред. 16, ноябрь 2015, 1137 с. // электронный ресурс http://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00171190.pdf.
3. Техническая документация: STM32 ядро для среды разработки Arduino IDE Arduino_STM32 // электронный ресурс https://github.com/rogerclarkmelbourne/Arduino_STM32.
4. Техническая документация: Flash Loader Demonstrator // электронный ресурс http://www.st.com/resource/en/data_brief/flasher-stm32.pdf.

УДК 535.3+528.88

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «КАЛИБРОВКА» ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Катковский Л.В., Станчик В.В., Крот Ю.А., Беляев Ю.В., Доморацкий А.В., Силюк О.О., Литвинович Г.С.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь*

В ходе работ по программе «Мониторинг-СГ» (тема «Калибровка») был разработан и изготовлен аппаратно-программный комплекс (АПК), включающий серию спектральных приборов, предназначенных для оснащения наземных полигонов с целью калибровки авиакосмических средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), верификации и повышения надежности дешифрирования данных ДЗЗ путём интеграции данных космического, авиационного и наземного сегментов.

АПК «Калибровка» включает пять спектро-радиометров, покрывающих в совокупности спектральный диапазон 0,4 – 2,5 мкм и позволяющих измерять угловые зависимости спектров отражения подстилающих поверхностей, прямого и рассеянного атмосферой солнечного излучения.

АПК конструктивно состоит из следующих модулей:

1) Фотоспектрорадиометр ФСР высокого разрешения на диапазон 400 - 900 нм, снабженный цифровой покадровой видеосистемой и синтезом изображений и спектров и предназначенный для измерения спектральных отражательных характеристик всех типов природных поверхностей полигонов (тестовых площадок) в наземных условиях и с борта авиационных носителей.

2) Двухканальный модульный спектро-радиометр ДМС 400-900 нм, предназначенный для одновременного измерения яркости отраженного излучения от подстилающей поверхности и освещенности (потока) падающего излучения с верхней полусферы.

3) Портативный модульный спектро-радиометр на область 800-1500 нм ПСР-700 для измерения спектральных отражательных

характеристик поверхностей.

4) Портативный модульный спектро-радиометр на область 1200-2500 нм ПСР-1300 для измерения спектральных отражательных характеристик поверхностей.

Перечисленные четыре прибора предназначены для измерения в наземных стационарных условиях (а также с вышек и подвижных средств) спектральных характеристик отражения тестовых участков природных, искусственных и антропогенных объектов

5) Сканирующий солнечный спектро-поляри-метр на область 350-950 нм ССП-600 для измерения прямого солнечного и рассеянного атмосферой под различными углами излучения.

6) Комплект специальных насадок для обеспечения измерений:

- коэффициентов спектральной яркости,
- поляризационных характеристик,
- спектрального альбеда;

7) Специальное программное обеспечение (СПО) управления, хранения и обработки данных.

На протяжении последних двух лет проводятся натурные испытания приборов ФСР, ДМС, ПСР-700, ПСР-1300 и ССП-600. при измерениях спектральных характеристик объектов на наземном уровне. Полигонами для проведения натуральных испытаний являются Курский аэрокосмический полигон (2015-2016 гг.) (рис.1), острова Курильской гряды (2015 г., острова Итуруп, Уруп, Чирпой, Симушир, Ушишишир, Шиашконтан, Чиринкотан, Харимкотан, Онекотан, Атласова), территория полуострова Камчатка (2016 г., подножия вулканов Ильинский, Ходутка, Ксудач) Данные полигоны обладают объектами с приемлемыми характеристиками для

проведения спектральных измерений. А именно, на данных полигонах присутствуют протяженные, однородные объекты. Особенностью подстилающих поверхностей на островах Курильской гряды и полуострова Камчатка является отсутствие антропогенных факторов, влияющих на их оптические характеристики. В качестве объектов для проведения измерений на Курском аэрокосмическом полигоне в основном были выбраны участки с/х культур, а также естественной растительности в Центрально-черноземном заповеднике.



Рисунок 1 – ПСР-700, ПСР-1300, ДМС и управляющий компьютер, установленные на безтеновом полевом штативе (кронштейне), Предварительные натурные испытания АПК «Калибровка» (Курск, май 2016 г.)

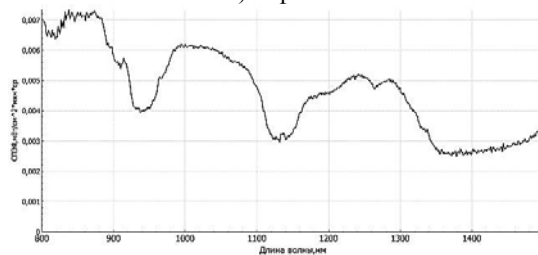
Натурные испытания АПК на тестовых полигонах и проведение измерений на наземном уровне позволили определить степень надежности и стабильности системы при проведении измерений. Основные измерения были проведены в режиме одиночного кадра.

Полигонные измерения позволяют создать базы сопряженных спектральных данных, фотоизображений объектов и их биогеофизических характеристик. Также полигонные исследования на трех уровнях позволяют решить важнейшую задачу пространственной интеграции элементов ландшафтов при различном пространственном разрешении систем ДЗЗ.

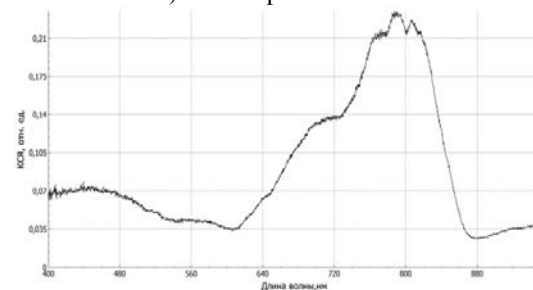
На рисунках 2-3 представлены некоторые результаты натурных испытаний.



а) – фото



б) – спектр ПСР-1300

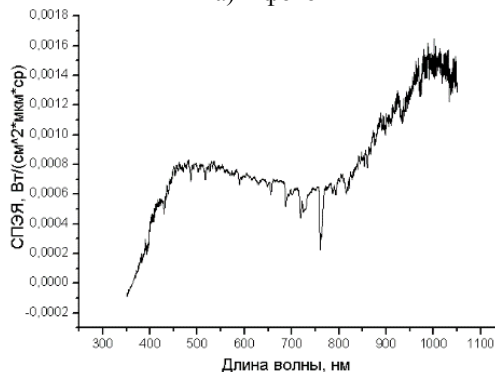


в) спектр ДМС

Рисунок 2 – Степь косиная выпасаемая, Курский аэрокосмический полигон, 2016 год



а) – фото



б) – Спектр, ФСР

Рисунок 3 – О. Атласова Курильской гряды, вулканические гравистые пески с редкой слабоокатанной галькой, 2015 год

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ЛАЗЕРНОГО ДЫМОВОГО-ГАЗОВОГО СО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Кицак А.И.¹, Лущик А.П.¹, Есипович Д.Л.¹, Волков С.А.¹, Конон В.Н.², Кавальчук И.В.²,
Протасевич О.А.², Третьяк И.Б.³

¹Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь

²Закрытое акционерное общество «Запспецтехсервис»

³Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Введение. В настоящее время широкое применение для обнаружения возгораний находят мультикритериальные пожарные извещатели [1]. Данный класс извещателей обеспечивает максимальную достоверность обнаружения пожара благодаря комплексному анализу состояния контролируемой среды по различным пожароопасным факторам. Непременным компонентом мультикритериального извещателя является детектор дыма - один из наиболее скоростных средств обнаружения возгорания. В качестве него используется, как правило, традиционный оптический дымовой извещатель на основе регистрации излучения, рассеянного частицами дыма.

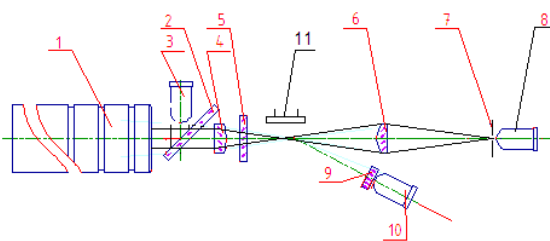
Недавно предложена оптическая схема точечного дымового извещателя [2], включающая два независимых канала обнаружения дыма: канал обнаружения дыма по уровню увеличения интенсивности излучения, рассеянного частицами дыма, и дополнительный канал - по уровню уменьшения интенсивности излучения, прошедшего через дым. Наличие в точечном извещателе «линейного» канала контроля состояния среды позволяет эффективно обнаруживать наряду со «светлыми» также «черные» дымы, состоящие в основном из частиц, поглощающих излучение. Предложенная схема позволяет также отказаться от традиционной для точечных оптических дымовых извещателей дымовой камеры, что улучшает заход дыма в извещатель и существенно уменьшает время обнаружения пожара.

Целью настоящей работы являлась разработка и изготовление опытного образца точечного двухканального дымового пожарного извещателя малой инерционности, повышенной чувствительности к черным дымам и высокой помехоустойчивости.

Оптическая схема опытного образца дымового пожарного извещателя. На рисунке 1 представлена структура оптической схемы изготовленного опытного образца дымового пожарного извещателя.

Принцип работы опытного образца дымового пожарного извещателя. Принцип работы опытного образца двухканального дымового пожарного извещателя согласно представленной

на рисунке 1 оптической схеме состоит в следующем.



1 – полупроводниковый лазер; 2 – прозрачная пластинка; 3,8,9 – приемники излучения; 4,6 – линзы; 5,9 – светофильтры; 7 – диафрагма; 11 – датчик СО газа

Рисунок 1 – Структура оптической схемы опытного образца дымового пожарного извещателя

В отсутствие дыма излучение лазерного источника попадает только на опорный приемник 3 и сигнальный приемник 8. Диаметр отверстия диафрагмы 7 подбирается примерно равным или меньше диаметра пятна фокусировки, сформированного линзой 6 в отсутствие дыма. По сигналам, формируемым опорным и сигнальным приемниками, осуществляются контроль интенсивности излучения источника и корректировка чувствительности приемной схемы электронного блока регистрации проходящего излучения при уменьшении интенсивности излучения лазера.

При появлении дыма часть излучения источника из области фокусировки рассеивается частицами дыма в сторону линзы 6 и приемника излучения 10. Линза 6 формирует в плоскости входного отверстия диафрагмы 7 изображение пятна фокусировки как в проходящих, так и рассеянных лучах. Основная часть рассеянного излучения дыма распространяется под большими углами к оси источника излучения и не попадает в отверстие диафрагмы. Через отверстие проходит и регистрируется приемником 8 в основном не рассеянное дымом излучение.

Интенсивность этого излучения уменьшается с увеличением плотности дыма. При достижении определенной скорости падения сигнала на выходе приемника 8 и постоянстве сигнала на выходе приемника 3 появляется сигнал «Тревога».

Приемник 10 регистрирует излучение только рассеянное частицами дыма. Его интенсивность растет с увеличением плотности дыма. При достижении определенной скорости роста сигнала на выходе приемника 10, а также постоянстве сигнала на выходе приемника 3 формируется также сигнал «Тревога».

Для повышения устойчивости работы извещателя при воздействии частиц не дымового происхождения в опытном образце установлен датчик СО газа. Как известно, данный газ выделяется при горении большинства веществ. С учетом работы детектора СО газа извещатель выдает сигнал «Пожар» только тогда, когда одновременно с сигналом «Тревога» по одному из дымовых каналов регистрируется появление СО газа в концентрации, превышающей заданный уровень 40 ppm.

Технические характеристики опытного образца дымового пожарного извещателя. Время реакции извещателя на появление дыма ~ 1 с. Минимальное пороговое значение оптической плотности дыма, обнаруживаемого в канале регистрации рассеянного излучения ~ 0,05 дБ/м. Минимальное пороговое значение оптической плотности дыма, обнаруживаемого в канале регистрации проходящего через дым излучения ~ 0,9 дБ/м. Основной причиной, ограничивающей чувствительность «линейного» канала обнаружения дыма, является нестабильность мощности излучения источника, которая составляла ~ 0,25%.

Испытания. Испытания опытного образца точечного дымового пожарного извещателя на обнаружение тестовых очагов пожара проводились одновременно с тестовыми испытаниями традиционного точечного дымового извещателя. В ходе испытаний получены следующие результаты

Тестовый очаг пожара ТП-1 (горение древесины) опытный образец извещателя обнаружил через 3 мин. 46 с после поджога очага. При этом наличие СО газа зарегистрировано датчиком СО газа на 3 мин. 25 с. горения очага. Обычный извещатель отреагировал на ТП-1 через 5 мин. 55 с.

Тестовый очаг пожара ТП-2 (тление древесины) первым обнаружил обычный дымовой извещатель на 18 мин 33 с тления древесины. Через 23 с опытный образец извещателя обнаружил наличие СО газа. Сигнал «Пожар» он подал на 19 мин. 16 с.

Тестовый очаг пожара ТП-3 (тление хлопчатых фитилей) опытный образец извещателя обнаружил через 1 мин. 10 с после поджога очага. Обычный извещатель сработал на 2 мин. 16 с.

Тестовый очаг пожара ТП-4 (горение пенополиуретана) обнаружен опытным образцом извещателя через 1 мин. 17с после поджога очага. Через 12 с сигнал «Пожар» подал обычный дымовой извещатель.

Тестовый очаг пожара ТП-5 (горение n-гептана) опытный образец извещателя обнаружил через 3 мин. 50 с после поджога n-гептана. При этом наличие дыма было обнаружено каналом регистрации проходящего излучения на 2 мин. 30 с горения n-гептана. Наличие СО газа было зарегистрировано на 3 мин. 40с. Обычный дымовой извещатель не среагировал на горение n-гептана до конца его выгорания.

Закключение. Проведенные испытания опытного образца лазерного дымового-газового СО пожарного извещателя подтвердили его малую инерционность и высокую чувствительность к различным видам дымов, в том числе к «черным» дымам.

Использование датчика СО газа и логической схемы «И» для формирования сигнала «ПОЖАР», когда одновременно регистрируются факторы возгорания по одному из дымовых каналов и каналу СО газа, исключает возможность ложного срабатывания извещателя при воздействии помеховых частиц в отсутствие дыма.

1. Антошин А.А., Василевский А.Г., Олифер Г.И. Принципы работы мультикритериальных технических средств обнаружения пожара . – Материалы 7-ой Международной научно-технической конеренции «Приборостроение» Минск – 2014. – С. 26-28.
2. Кицак, А.И., Лущик А.П., Есипович Д.Л., Гамезо А.М. Извещатель пожарный оптический дымовой – Патент ВУ №9045 на полезную модель– 2012.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА

Козлова Т.А., Шелухин К.А., Хатько В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Моделирование процессов теплообмена в газовых сенсорах на основе тонких диэлектрических мембран играет большую роль при оптимизации конструкции сенсора с целью достижения им минимальной потребляемой мощностью. Объектом исследования были выбраны тонкопленочные газовые сенсоры, изготовленные по технологии микрообработки кремниевых подложек с использованием диэлектрических мембран на основе оксида/нитрида кремния и/или оксида алюминия. В настоящей работе проведено моделирование тепловых характеристик данного сенсора. В качестве изменяемых параметров для моделирования выбраны геометрические размеры платинового нагревателя: его ширина и толщина.

Конструкция газового сенсора включает кремниевую подложку, содержащую диэлектрическую мембрану расположенную в центре подложки имеющую размеры $1350 \times 1350 \times 1$ мкм. Моделирование проводилось на трех типах мембран: анодированном оксиде алюминия (АОА); нитрид кремния (Si_3N_4) – анодированный оксид алюминия; оксид кремния – нитрид кремния – анодированный оксид алюминия. Платиновый нагреватель представлял собой меандр с толщиной изменяемой от 0,1 до 0,5 мкм и шириной дорожки 10, 15, 20 мкм (рисунок 1). На нагреватель сенсора подавалось напряжение от 0,1 до 0,6 В.

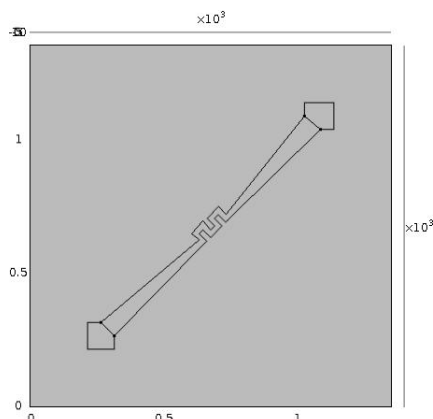


Рисунок 1 – Вид полупроводникового газового сенсора сверху

Расчет потребляемой мощности нагревателя газового сенсора выполнен на основе конечно-элементное моделирование процесса распространения тепла по конструкции сенсора. Сетка конечных элементов состояла из 28708 элементов домена, 28792 граничных элементов и 874

краевых элементов. Свободные треугольные элементы использовались для разбиения подложки и металлизации. Для нагревателя и мембраны использовались структурированные трёхслойная и пятислойная сетки, соответственно.

На рисунке 2 и 3 представлены результаты расчета максимальной температуры нагрева однослойной мембраны из анодного оксида алюминия в зависимости от толщины нагревателя (при напряжении 0,5 В) и напряжения приложенного к нему (толщина нагревателя $d = 0,4$ мкм).

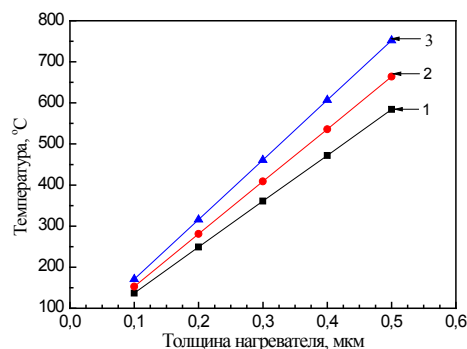


Рисунок 2 – Зависимость максимальной температуры нагрева однослойной мембраны от толщины нагревателя при напряжении 0,5 В (1, 2 и 3 соответствуют ширине нагревателя 10, 15 и 20 мкм)

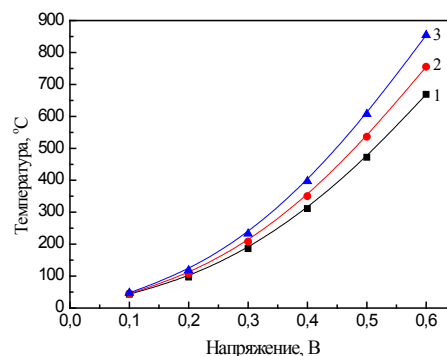


Рисунок 3 – Зависимости максимальной температуры нагрева однослойной мембраны от напряжения при толщине нагревателя 0,4 мкм (1, 2 и 3 соответствуют ширине нагревателя 10, 15 и 20 мкм)

На рисунке 4 показаны результаты моделирования распределения температуры нагрева в однослойной мембране при ее толщине 0,4 мкм

и напряжении на нагревателе в 0,5 В в зависимости от разной ширины шагревателя.

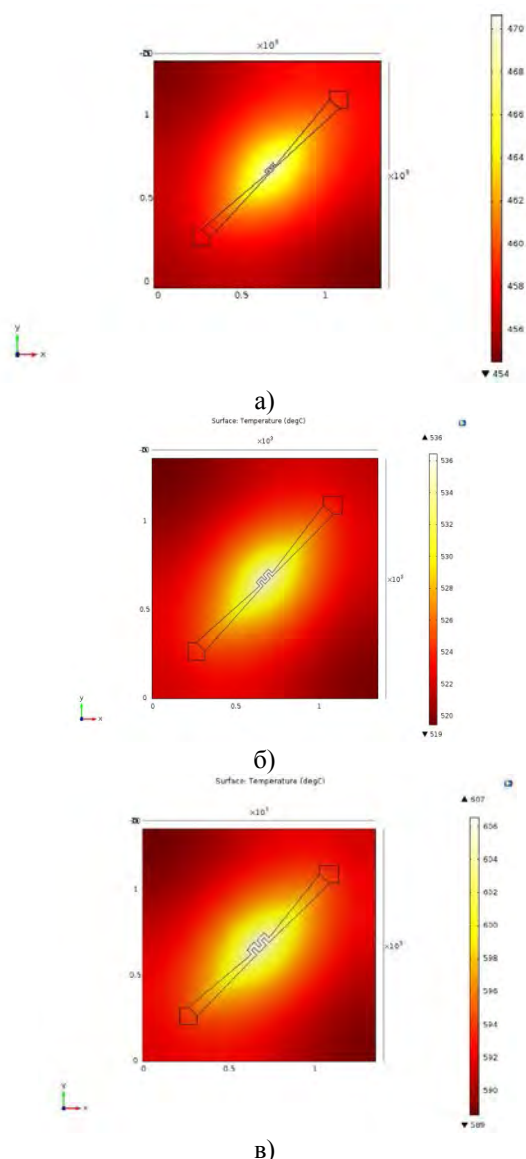


Рисунок 4 – Распределения температуры нагрева в однослойной мембране при ширине нагревателя 10(а), 15(б) и 20(в) мкм

Анализ представленных на рисунках 2-4 результатов моделирования показывает, что оптимизация геометрии платинового нагревателя позволяет получить сенсоры с потребляемой мощностью в диапазоне 20-26 мВт при постоянном нагреве с рабочей температурой 540-560 °С. Мощность, подаваемая на нагреватели, составляет 19,8; 22,7; 25,9 мВт соответственно при их ширине в 10, 15 и 20 мкм и при напряжении питания в 0,5 В.

Не менее важным в нашем моделировании характеристик однослойной мембраны с платиновым нагревателем различной геометрии является оценка напряжений по Мизесу, позволяющие судить о том, что пластичный материал

начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению (рисунок 5).

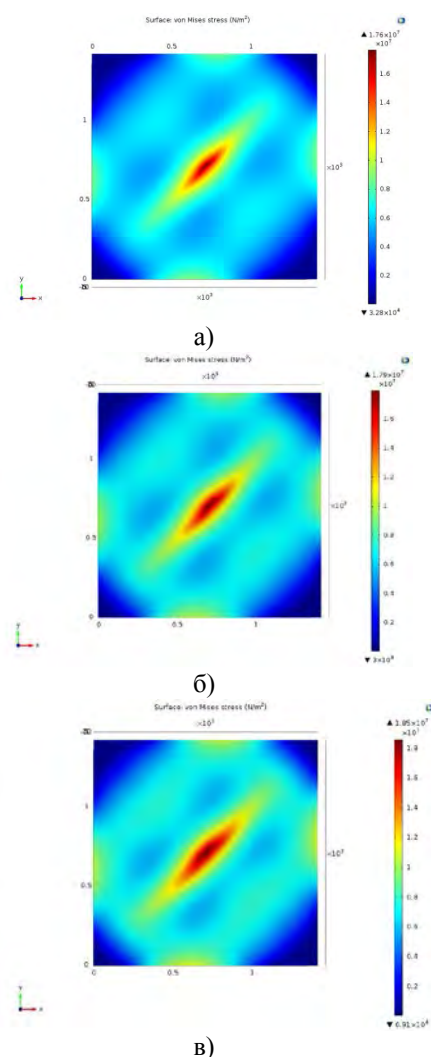


Рисунок 5 – Распределения напряжений Мизеса в однослойной мембране при ширине нагревателя 10(а), 15(б) и 20(в) мкм

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- увеличение ширины дорожки, при одинаковой толщине и поданном напряжении, увеличивает максимальную температуру нагрева газового сенсора;
- температура нагрева сенсора в диапазоне приложенных напряжений от 0,1 до 0,4 В изменяется нелинейно, что, по-видимому, связано с тем, что часть энергии идет на прогрев мембраны;
- разработанная в данной работе модель является полезным инструментом для проектирования полупроводниковых газовых сенсоров различного назначения с энергопотреблением менее 1мВт.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Кожевников Д.А., Нупрейчик А.О., Фёдорцев Р.В., Старосотников Н.О.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Современные тенденции развития областей науки посвященных изучению далеких космических объектов вызывает необходимость своевременной реакции технических средств, которые будут обеспечивать точность анализа. В связи с далеким расположением всех вызывающих интерес объектов, важными становятся не только возможности пространственного разрешения оптического изображения, но и поиск методов, способствующих более детальному изучению объектов космоса. Подавляющая часть исследуемых объектов имеют малые угловые размеры, менее сотых и тысячных долей угловых секунд, так что определение формы далеких объектов не представляется возможным – нельзя отличить звезду от галактики или туманности. Главным методом анализа такого рода объектов стал спектральный анализ. Анализом спектральных линий излучения и поглощения звезд и других небесных тел можно установить химический состав, температуру, наличие магнитного поля и другие важные параметры. Для разных небесных тел характерно особое распределение энергии по спектру, которое принято называть спектром звезды. Максимум спектрального распределения зависит от температуры звезды – чем она горячее, тем на меньшие длины волн приходится максимум. Из этого следует зависимость: горячие звезды по цвету являются голубыми, а холодные – желтые и красные. Современные достижения спектроскопии позволяют вести исследование по всему электромагнитному диапазону спектра, однако в условиях наблюдения с поверхности Земли накладываются ограничения в виде непрозрачности земной атмосферы для разных участков спектра. Таким образом, земные наблюдения ограничены диапазоном спектра в 300-1000 нм и некоторыми областями после 1000 нм для которых атмосфера прозрачна. С учетом этого в настоящее время практикуется использование некоторых областей спектра для получения полной и точной информации о состоянии исследуемых объектов.

При детальном изучении непрерывных спектров звезд заметны многочисленные темные линии поглощения. Они образуются при переходах между энергетическими уровнями различных атомов и ионов вещества на поверхности звезд. Каждый переход характеризуется определенной длиной волны. Однако в наблюдаемых спектрах значения длин волн не совпадает с данными,

полученными в лабораторных наблюдениях. Это несовпадение вызвано относительным движением звезд и Земли. Смещение достаточно строго определяется и описывается эффектом Доплера. Согласно эффекту Доплера, при приближении регистрируемой звезды к Земле, линии в её спектре смещаются в синюю область спектра, в обратных условиях смещение происходит в красную область спектра. Величина смещения z зависит от скорости звезды вдоль линии визирования ϑ :

$$z = \frac{\vartheta}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Так, изучая смещение линий в спектрах звезд и других небесных тел относительно их лабораторных положений, можно получить качественную информацию о лучевых скоростях звезд, о скоростях расширения их звездных оболочек (звездный ветер, взрывы Новых и Сверхновых звезд). Также существует зависимость возраста звезд от их размера и температуры. Зависимость проста и может быть объяснена тем, что в более горячих звездах химическая реакция протекает более интенсивно и звездный материал используется с большей скоростью.

Спектральными классами называется классификация звёзд по спектру излучения. Первая классификация звёздных спектров была предложена в конце 20-го столетия. После уточнения и дополнения она получила название Гарвардской спектральной классификации звёзд [1]. В данной классификации выстраивается зависимость нескольких показателей от температуры объектов (таблица 1). При движении по этому ряду слева направо кроме изменения цвета звезды также уменьшается её температура.

Современные методики анализа главным образом основаны на фильтрации шумов получаемых сигналов.

Изучением объектов ближнего и дальнего космоса занимаются все крупные исследовательские станции под руководством космических агентств: NASA, ESA, Роскосмос. Используются разные технические средства фиксации излучения включая наземные установки и выведенные на орбиту аппараты. В NASA в настоящий момент активна миссия «ASCENDS» по фиксации CO_2 и O_2 с использованием лазерной установки для дистанционного зондирования. В качестве обработки используется метод на основе

КИХ-фильтра [2]. Роскосмос готовится к запуску орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр-РГ» на которой установлены спектроскопы «eRosita» (Германия) и «ART-XC» (Россия), которые совместно охватывают диапазон от 0,3 кэВ до 30 кэВ [3].

Как указано ранее, во многом чистота и качество обработанного сигнала зависит от программной фильтрации шумов. Однако в связи с отдельной вторичной обработкой сигналов исключается возможность высокоточного соотношения их между собой.

Таблица 1. Гарвардская спектральная классификация звёзд

Класс	Температура, К	Истинный цвет	Видимый цвет	Масса, (масс Солнца) М	Радиус, (радиусов Солнца) R	Светимость, (светимостей Солнца) L	Линии водорода
О	$3 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4$	голубой	голубой	60	15	1 400 000	слабые
В	$1 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4$	бело-голубой	бело-голубой	18	7,0	20 000	средние
А	$75 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4$	белый	белый	3,1	2,1	80	сильные
F	$6 \cdot 10^3 - 75 \cdot 10^2$	жёлто-белый	белый	1,7	1,3	6,0	средние
G	$5 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^3$	жёлтый	жёлтый	1,1	1,1	1,2	слабые
K	$35 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^3$	оранжевый	жёлто-оранжевый	0,8	0,9	0,4	очень слабые
M	$2 \cdot 10^3 - 35 \cdot 10^2$	красный	оранжево-красный	0,3	0,4	0,04	очень слабые

ИК-спектроскопия позволяет добиваться высоких показателей определения спектральных линий длинноволнового излучения. В инфракрасном диапазоне можно получить данные об объектах, скрытых от нас в видимом диапазоне за толщей пыли и газа. Кроме того, изучение галактик с большими z может производиться только в ИК-диапазоне из-за сдвига в него основных характерных спектральных линий. Также для анализа межзвездного пространства и атмосферы земли используется терагерцовое излучение [4], которое представляет собой участок спектра между инфракрасным и сверхвысокочастотным диапазонами. Терагерцовое излучение можно использовать для исследования и детектирования объектов с колебательными и вращательными переходами в молекулах, свободных носителях в полупроводниках и т.д.

Авторы данной работы предлагают использовать программное и техническое объединение отдельных обсерваторий (наземных и орбитальных) в связанные комплексы. Через систему коммуникационных спутников получаемые данные предполагается посылать на Землю для обработки информации высокопроизводительным компьютером. Отличие от существующих схем заключается в том, что обработка данных с наземных и орбитальных станций будет производиться одним компьютером с одновременной синхронизацией двух полученных спектров. При взаимной юстировке используемых спектральных приборов с оцененной погрешностью можно

добиться малых отклонений между измеряемыми данными. При использовании постепенного ослабления сигнала через поглощение однородной средой можно получать градуировочные зависимости с последующим вычитанием шумов. Подобные комплексы могут представлять собой уже готовые обсерватории для которых экспериментально будет оценена погрешность измерения и передачи данных. Так, совместная обработка данных полученных вне атмосферы Земли, из нескольких слоев атмосферы и поверхности Земли может выделять более «чистые» данные для последующей программной корреляции. В качестве модели обработки может использоваться метод Савицкого-Голея или вейвлет-преобразование.

1. Chui C. An Introduction to Wavelets / C. Chui. New York: Academic Press, 1992. – 412 p.
2. Campbell, Joel F. Pseudorandom Noise Code-Based Technique for Cloud and Aerosol Discrimination Applications / Campbell, Joel F. – Orlando: SPIE Defense, Security, and Sensing, 2011. – 5 p.
3. Комаров И.А. Фундаментальные космические исследования / Федеральная космическая программа России на 2016 – 2025 годы / И.А. Комаров. М.: ТАСС, 2016. – 6 с.
4. Щеглов П.В. Проблемы оптической астрономии / П.В. Щеглов. – М.: Наука, 1980.–272 с.

ПРОГРАММНО-АПАРАТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС TIME CATCHER

Кольчевская М.Н., Кольчевская И.Н.

Государственное учреждение образования «Гимназия № 38»
Минск, Республика Беларусь

Обычная цифровая камера может применяться как регистрирующий или измерительный прибор. Достоинства применения цифровых камер: использование обычного компьютера, лёгкая адаптация к условиям измерений и исследований, совместимость с любыми измерительными устройствами, т.е. низкой стоимости создания новых измерительных устройств и комплексов.

Любая измерительная система, построенная на базе персонального компьютера, состоит из трёх основных элементов: источник сигнала, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), программное обеспечение. Единственным ограничением на пути использования компьютера в области измерений и регистрации аналоговых сигналов является то, что компьютер не способен принимать аналоговые данные, так как является полностью цифровым устройством. Научная идея состоит в применении в качестве АЦП цифровой камеры, которая преобразует аналоговый сигнал от измерительного или регистрирующего прибора в цифровой вид, пригодный для приёма его компьютером. Преимущества компьютеризированной системы перед аналоговыми измерительными приборами существенны: огромная вычислительная мощность; неограниченные возможности обработки и анализа данных; широкие возможности по представлению данных удаленным пользователям; удобство и универсальность хранения данных; настраиваемый пользовательский интерфейс; возможность обновления и модернизации.

Цель работы состоит в применении цифровых камер совместно с компьютером в качестве компьютеризированного измерительного программно-аппаратного комплекса для применения в качестве бесконтактного визуализатора долговременных физических процессов.

Разработано программное обеспечение на языке программирования Delphi для считывания, обработки изображений, полученных цифровой Web-камерой «Time Catcher», для распознавания измерительной информации. Программа «Time Catcher», предназначена для получения изображений в заданном промежутке времени с заданным интервалом. Базовый алгоритм работы программы и внешний вид рабочего окна показан на рисунке 1. Общий принцип работы системы заключается в следующем: при работе таймера программа формирует файл изображения в bmp и jpg форматах и файл формата JSON, содержа-

щий описание файла изображения. Далее файлы передаются по ftp соединению на обработчик JSON формата сайта xOptics.by, который разбивает данный запрос и составляет динамическую страницу. Взаимодействие между базой данных MySQL и файловой системой сервера формирует итоговый объект в формате JSON, в котором будут находиться переданные данные после выполнения модулей и происходит сжатие данных с помощью gzip – утилита сжатия и восстановления файлов, использующая алгоритм DEFLATE. После сжатия объект поступает в браузер, где отображаются результаты эксперимента.



а



б

Рисунок 1 – Алгоритм (а) и внешний вид (б) программы «Time Catcher»

Основные характеристики программы:

- период съёмки: от 1 с.
- разрешение получаемого кадра: 640x480
- счётчик снятых кадров
- возможность выбора папки или интернет ресурса для сохранения
- прекращение работы: по истечению заданного интервала времени
- отображение информации в сетях интернет

Очень часто требуется долгое и рутинное наблюдение за объектом исследования, в связи с медленно изменяющимися его характеристиками. Для наблюдения и регистрации параметров долговременных процессов, установления их закономерностей была использована программа Time Catcher. Собраны установки и проведены наблюдения за несколькими долговременными процессами. и для установления законов и закономерностей. Изменение разрешения и светового диапазона наблюдения может осуществляться добавлением в стандартным web-камерам оптических объективов, люминофоров и др.

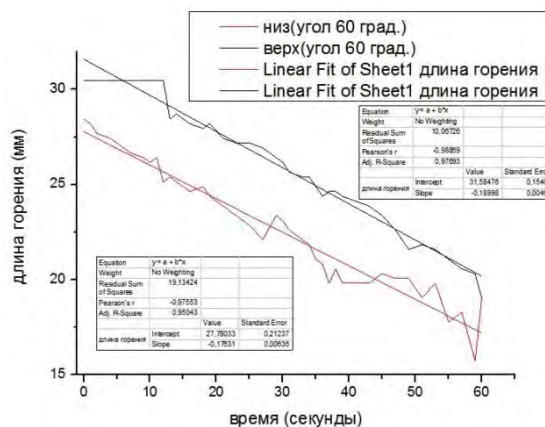
Собраны установки, проведены экспериментальные исследования и оцифрованы данные долговременных процессов роста луковицы, плавления льда, горения (рисунок 2), дневной освещенности и др.

В ходе работы программно-аппаратного комплекса выявились некоторые технические особенности: при длительной работе программы, и большой частоте получения кадров, мы получаем большое количество снимков, соответственно жёсткий диск компьютера должен иметь необходимое количество свободного пространства. Полученные снимки в процессе обработки необходимо сортировать, например, отсеять кадры с плохой освещённостью. Причин этому несколько: солнце, дополнительный источник освещения и т.д. Не всегда возможно снимать объект в помещении с постоянной освещённостью, значит требуется коррекция освещенности. Для этого необходим алгоритм сортировки снимков. Для этой цели применялся простейший алгоритм, анализирующий интегральную освещенность снимка и выполняющий удаление снимков с низкой освещенностью. Кроме этого, алгоритм сортировки применялся для отбора каждого N кадра с целью монтирования видео ряда. Вследствие плавного изменения дневной освещенности яркость получаемого изображения изменяется от кадру к кадру. Если полученные кадры использовать для монтажа в видео ряд, то

на итоговом видео получится негативный эффект “мерцания” картинки. Чтобы избежать этого необходимо снимать объект в помещении с постоянной освещённостью, что к сожалению не всегда возможно, или применять алгоритмы выравнивания снимков по яркости.



а



б

Рисунок 2 – Фотография экспериментальной установки по исследованию процесса горения (а) и графики зависимости положения фронта пламени от времени и расчет скорости горения методом наименьших квадратов (б)

В этой работе презентуются разработанный программно-аппаратный комплекс «Time Catcher», демонстрируются результаты экспериментального применения комплекса и обсуждаются результаты его развития.

1. Шарыгин М. “Сканеры и цифровые камеры”. – БХВ-Петербург, 2001.

МИКРОСКОПИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЛОМЛЯЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛИНЗ

Кольчевский Н.Н.¹, Петров П.В.¹, Хилько Г.И.², Дудчик Ю.И.²

¹Белорусский государственный университет

²Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

Минск, Республика Беларусь

Микроскоп – прибор для получения сильно увеличенных изображений объектов (или деталей их структуры). Структуру любого объекта (препарата) можно различить, если разные его частицы по-разному поглощают и отражают свет либо отличаются одна от другой (либо от среды) показателями преломления. Эти различия обуславливают разницу амплитуд или фаз световых волн, прошедших через разные участки препарата от чего, в свою очередь, зависит контрастность изображения. В зависимости от свойств изучаемого объекта и задач исследования существуют различные методы наблюдения, дающие несколько отличающиеся изображения объекта. Благодаря малой длине волны рентгеновского излучения рентгеновский микроскоп может достигать дифракционного разрешения порядка нескольких десятков нм и по теоретической величине разрешения занимает промежуточное значение между оптическим и электронным микроскопами.

Типы микроскопов определяются либо областью применения, либо методом исследования. В зависимости от метода исследования микроскопы можно разделить на биологические (люминесцентные, инвертированные) и металлографические (поляризационные).

Измерительные микроскопы используют для точных измерений линейных размеров объекта. При этом возможны два способа измерений:

1) измеряется величина изображения объекта в фокальной плоскости окуляра с помощью шкалы или винтового окулярного микрометра, а затем по известному значению увеличения микроскопа вычисляется измеряемое расстояние на объекте;

2) микроскоп используется для наводки на объект, а расстояния измеряются по относительному перемещению микроскопа и объекта.

По способу формирования изображений различают проекционный, контактный, отражательный и дифракционный рентгеновские микроскопы; по принципу регистрации рентгеновский микроскоп может быть изображающим, образующим действительное или теневое изображение объекта, или сканирующим (растровым). Сканирующий микроскоп регистрирует излучение от одного элемента объекта, находящегося на оптической оси микроскопа, а полное изображение (растр) создаётся при последовательном

перемещении объекта относительно оси микроскопа с помощью прецизионного механизма (пьезотрубки). Преимущества последнего способа регистрации – независимость разрешения от полевых аберраций оптической системы и, следовательно, отсутствие ограничений на величину поля зрения, а также меньшая радиационная нагрузка на объект исследования.



Рисунок 1 – Основные методы наблюдения и способы формирования изображений в микроскопии

Обычно микроскоп имеет двухступенчатую систему увеличения, образованную объективом и окуляром. В оптическую схему микроскопа входят также элементы, необходимые для освещения объекта.

Важным являются параметры, характерные для определенных устройств, например для фокусирующих устройств существенными оказываются фокусное расстояние, величины аберрации и др. Для целей микроскопии необходимо использовать источники с минимальным размером излучающего пятна и низкой расходимости.

Для расчетов оптических систем на основе преломляющих линз будут взяты параболическая Be CRL (compound refractive lens) и эпоксидная микрокапиллярная линзы.

Параболические линзы изготавливают методом прессования либо фотоанодного травления. Два выпуклых параболоида, направленные точно друг на друга, продавливают лист (например алюминия, бериллия), формируя, таким образом, одну линзу. Большое число таких линз, расположенных в контейнере, представляло собой преломляющую рентгеновскую линзу. В методе

фотоанодного травления (пластины кремния), регулируют фотоанодный ток, управляя профилем образующегося канала. Идея микрокапиллярной линзы основана на том, что капля жидкости в капилляре под действием естественных сил поверхностного натяжения принимает двояковогнутую сферическую форму и может быть использована как фокусирующая рентгеновское излучение преломляющая линза.

Геометрические и рентгенооптические характеристики Be параболической и микрокапиллярной линз показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры эпоксидной микрокапиллярной и Be CRL линзовой системы

Параметр	Микрокапиллярная линза	Be CRL
Энергия фотонов E_b , КэВ	9,25	9,25
Коэффициент поглощения μ , см ⁻¹	3,8	1,5
Энергия плазменных колебания E_p , эВ	23.6	26.1
Декремент показателя преломления δ	3,11E-06	3,98E-06
Радиус кривизны R, мкм	50	50
Число микролинз N	161	29
Толщина микролинзы d , мкм	50	1000
Длина линзы, мм	27	60
Апертура R_A , мкм	50	225
Фокусное расстояние $F_{теория}$, см	4,8	21.7
Пропускание центральной части линзы T, %	4.7	1.4

Рассмотрим оптическую систему из двух преломляющих линз – Be CRL и микрокапиллярной преломляющей линзы. Преломляющие линзы характеризуются конечным числом преломляющих элементов (микролинз) определенным фокусным расстоянием и расстоянием между её главными плоскостями. Отдельную преломляющую линзу будем считать однокомпонентной. В однокомпонентной системе толщины линз и воздушные промежутки между ними могут считаться коррекционными параметрами. В первом приближении однокомпонентную систему будем считать тонкой фокусирующей линзой, расстояние между главными плоскостями которой равно нулю.

Оптическая система, состоящая из двух фокусирующих линз, может быть рассчитана последовательным построением изображения предмета первой линзой. Полученное изображение объекта является предметом для второй линзы.

Результаты расчета изображения в прибли-

жении геометрической оптики для однолинзовой системы показаны на рисунке 2, 3.

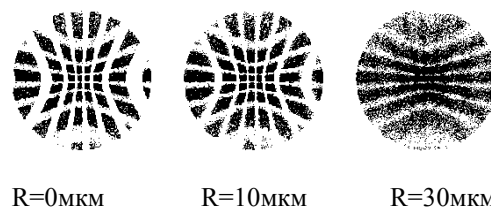


Рисунок 2 – Изображения медной сетки с периодом 10 мкм и толщиной 50 мкм, полученное с помощью микрокапиллярной линзы в зависимости от размера источника

Разрешение оптической системы рассчитывается численным методом с использованием двух точечных источников излучения и расчётом распределения интенсивности в фокальной плоскости.

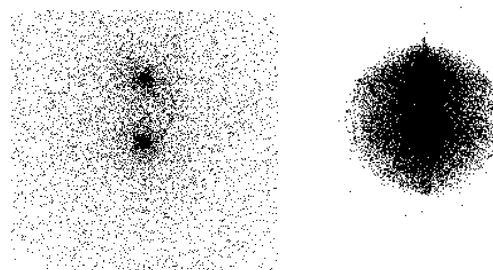


Рисунок 5 – Распределение интенсивности в фокальной плоскости при освещении микрокапиллярной линзы двумя точечными источниками, разнесенных на 9 и 1 мм

В работе будут представлены результаты численного моделирования рентгенооптических свойств двухлинзовых систем, позволяющих формировать изображения объектов и направленные микропучки. Обсуждаются основные методы наблюдения и способы формирования изображений в рентгеновской микроскопии с использованием многоэлементных преломляющих линз.

1. Yu. I. Dudchik, N.N. Kolchevsky, F.F. Komarov. Microcapillary X-ray lens as a novel design of the refractive lens // SPIE Proceedings. - Vol.4766. - 2002.
2. Asadchikov V.E., Kolchevsky N.N., «X-ray microscopy for analysis tracking membrane and biologic objects», High technology and membrane, №3(27), 2005.
3. Kolchevsky N.N. « Optical system of the two refractive X-ray lenses »\ symposium «Nanophysics and nanoelectronics» Niznii Novgorod- 2006.

ЦИФРОВОЙ МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ГИРОСКОП

Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М., Оксенчук И.Д.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Цифровой малогабаритный лазерный гироскоп (далее ЦМЛГ) разрабатывается для навигационных систем космического применения в соответствии договором на создание научно-технической продукции программы Союзного государства «Мониторинг-СГ».

ЦМЛГ предназначен для использования в системах стабилизации и управления средствами дистанционного зондирования Земли и программно-моделирующих комплексов лабораторной отработки обеспечивающих систем космических средств в качестве датчика угловых перемещений.

В процессе выполнения проекта ОАО «Серпуховский завод Металлист» разработает конструкцию и технологию производства малогабаритного кольцевого лазера (МКЛ), аналоги которого на территории Союзного государства в настоящее время не выпускаются.

БНТУ имеет значительный опыт создания электроники обеспечения кольцевых лазеров, лазерных гироскопов и навигационных систем на их основе [1-3]. На базе МКЛ разрабатывается лазерный гироскоп нового поколения. ЦМЛГ (рисунки 1-2) имеет функционально законченную, моноблочную конструкцию, включающую в себя все необходимые системы обеспечения и вторичные источники питания.

Как видно на рисунке 2, электроника ЦМЛГ включает две небольшие размещенные «этажеркой» печатные платы. Верхняя плата – цифровой блок контроллера на базе 32-разрядного микроконтроллера (МК) семейства STM32, нижняя – аналоговые системы обеспечения МКЛ. В корпусе под платами размещается МКЛ блоками питания и поджига разряда.



Рисунок 1 – Внешний вид ЦМЛГ



Рисунок 2 – ЦМЛГ без верхней крышки

Блок контроллера включает МК, ПЛИС, внешний интерфейс RS-422, вспомогательные подсистемы питания.

Системы обеспечения предназначены для выработки питающих МКЛ напряжений, токов и сигналов, обеспечивающих его функционирование.

Для стимуляции разряда в активных промежутках МКЛ и поддержания разрядного тока используется система поджига и накачки. Она содержит блок поджига разряда (БПР), стабилизаторы тока разряда (СТР) (по одному на анод) и высоковольтный источник анодного питания.

БПР обеспечивает напряжение зажигания газоразрядных промежутков МКЛ с малым давлением рабочей смеси, которое в 2...5 раз превышает напряжение горения.

СТР предназначен для автоматического задания выбранных анодных токов МКЛ и их стабилизации, а также для выдачи в МК информации о токах разряда в газоразрядных промежутках МКЛ. для задания и поддержания необходимого тока разряда в анодном промежутке.

Использование СТР не снимает необходимости стабилизировать напряжение источника питания разряда, но в этом случае стабилизатор высокого напряжения будет играть дополнительную роль ограничителя напряжения на регулирующем элементе СТР.

Схемы питания разрядных промежутков создают на катоде МКЛ высокое отрицательное напряжение, затрудняющее включение стабилизатора тока в катодную цепь. Это приводит к необходимости применения стабилизаторов для каждого анода в отдельности. Другой причиной использования анодных СТР является то, что при изготовлении не могут быть сформированы два абсолютно одинаковых анодных канала, что

приведет к различию анодных токов если задавать только суммарный катодный ток. В СТР предусмотрен цифровой выход наличия разряда в стабилизируемом канале. Он используется для автоматизации процесса поджига, повышения надежности и сокращения времени готовности ЦМЛГ к работе. При пропадании разряда в любом из каналов МК включает БПР и восстанавливает разряд.

Система регулировки периметра (СРП) предназначена для вывода рабочей моды на центр контура усиления и поддержания с постоянства длины периметра МКЛ при изменениях его температуры и давления окружающей среды. СРП обеспечивает нестабильность длины периметра не хуже 10^{-9} .

Выходной каскад ДПК представляет собой высоковольтный дифференциальный усилитель с ограниченной полосой пропускания, что повышает его устойчивость и позволяет снизить потребляемый ток.

Система частотной "подставки" предназначена для возбуждения и поддержания требуемой амплитуды механических угловых автоколебаний МКЛ. Она состоит из вибропривода и драйвера вибропривода (ДВП).

ДВП предназначен для создания угловых колебаний виброподвеса МКЛ на его резонансной частоте и управления по заданному алгоритму этими колебаниями со стабилизацией их амплитуды.

Вибропривод является составной частью МКЛ и предназначен для преобразования периодического электрического напряжения в крутильные колебания моноблока. Вибропривод МКЛ представляет собой деталь, вырезанную из единого куска металла электроэрозионным методом. Его форма оптимизируется так, чтобы, имея высокую жесткость по отношению к линейным ускорениям, он допускал упругие изгибные колебания. Роль движителя выполняют пьезокерамические пластины, наклеенные на плоские стойки, одни концы которых зафиксированы на основании, а вторые образуют крестовину. С ней связана другая крестовина, предназначенная для крепления моноблока.

Пары пьезокерамических пластин на стойках электрически соединены так, что при расширении одной из них вторая сжимается и наоборот. При этом стойки изгибаются, а крестовина и, следовательно, моноблок закручиваются по отношению к основанию.

Система съема информации предназначена для преобразования сигналов биений с информационных фотодиодов МКЛ в электрические сигналы, согласованные по уровню и форме с ин-

формационным каналом контроллера ЦМЛГ, а также формирования дополнительных информационных сигналов об интенсивности генерации, прохождении МКЛ нулевого положения и температуре моноблока в характерных точках.

Усилитель-формирователь сигнала биений (УФБ) предназначен для усиления преобразования двух токовых сигналов с двухплощадочного фотоприемника канала биений, усиления их до необходимого уровня и формирования цифровых сигналов для дальнейшей обработки контроллером ЦМЛГ.

Датчик нулевого положения (Д0) предназначен для формирования сигнала стробирования момента съема информации с МКЛ. Стробующий импульс должен вырабатываться при прохождении кольцевым лазером определенного (фиксированного) углового положения, при этом интеграл по угловому перемещению, связанному с колебательным движением вибропривода, за такт съема информации с высокой степенью точности равен нулю.

Усилитель-формирователь канала интенсивности (УФИ) предназначен для получения информации с МКЛ о положении моды относительно центра контура усиления активной среды. Данная информация используется МК для выбора оптимальной моды и выдачи информации на ЦАПы драйверов пьезокорректоров (ДПК) для поддержания длины периметра МКЛ и стабилизации его на оптимальной моде.

Проведены испытания макета ЦМЛГ с КЛ-3 т.к. МКЛ находится в процессе разработки. Испытания показали успешное функционирование электронных блоков и подтвердили правильность реализованных в разработке технических решений.

1. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Цифровой лазерный гироскоп. – Материалы 3-й МНТК «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов». – Могилев, 2009, – С.246-248.
2. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г., Оксенчук И.Д. Адаптивная бесплатформенная инерциальная навигационная система. – Пятый белорусский космический конгресс 25–27 октября 2011 года. Материалы конгресса. Том 1. – ОИПИ НАН Беларуси, Минск – С.247-251.
3. Зуйков И.Е., Кривицкий П.Г. Блок обеспечения кольцевого лазера на основе микроконтроллера STM32F407. – Материалы 5-й МНТК Приборостроение-2012, – Мн.: БНТУ, 2012 – С. 72-74.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

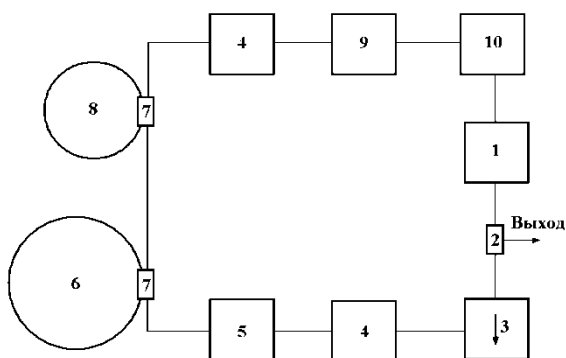
Ксенофонтов М.А.¹, Поляков А.В.²

¹Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета

²Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Для создания квазираспределенных волоконно-оптических датчиков с использованием WDM-технологии на основе таких систем как, например, рециркуляционные измерительные системы [1,2], необходимо разрабатывать специальные перестраиваемые высокостабильные источники излучения. В данной работе в качестве такого источника описан перестраиваемый волоконный кольцевой лазер. В измерительных системах данный источник может заменить большое число отдельных полупроводниковых лазеров.

В качестве источника излучения используется двухволновой перестраиваемый кольцевой волоконный лазер, подобный [3]. Лазер имеет однонаправленную кольцевую архитектуру, включающую в себя оптический изолятор, направленный ответвитель, легированное эрбиевое волокно, полупроводниковый оптический усилитель, резонансный волоконный фильтр Фабри – Перо, оптический полосовой перестраиваемый фильтр и два волоконных резонатора (рисунок 1).



- 1 – волоконный эрбиевый оптический усилитель,
2 – Y-образный оптический разветвитель,
3 – оптический изолятор, 4 – два контроллера поляризации, 5 – резонансный волоконный фильтр Фабри-Перо, 6 – первый волоконный резонатор, 7 – два X-образных разветвителя, 8 – второй волоконный резонатор, 9 – полупроводниковый оптический усилитель, 10 – оптический полосовой перестраиваемый фильтр

Рисунок 1 – Функциональная схема перестраиваемого волоконного кольцевого лазера

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Излучение со сплошным спектром, пройдя через оптический изолятор и контроллер поляризации, на выходе резонансного волоконного фильтра Фабри – Перо преобразуется в излучение только на резонансных частотах резонатора Фабри – Перо. Генерация каждой длины волны в одномодовом режиме в виде продольной моды обеспечивается двумя волоконными резонаторами, связанных с основным кольцом X-образными разветвителями. Далее после установления линейной поляризации контроллером поляризации происходит предварительное усиление излучения полупроводниковым оптическим усилителем. Селекция двух длин волн и перестройка в заданном спектральном диапазоне осуществляется перестраиваемым оптическим полосовым фильтром. Излучение на двух выделенных длинах волн усиливается волоконным эрбиевым оптическим усилителем и с помощью Y-образного разветвителя выводится из лазера.

Основным элементом резонансного волоконного фильтра Фабри – Перо является отрезок одномодового оптического волокна с торцами, имеющими форму линзы, на которые напылено полупрозрачное зеркальное покрытие с высоким коэффициентом отражения. Свободная область спектра f_r рассчитывается по формуле

$$f_r = c / (2n_0l), \quad (1)$$

где l – длина резонатора; c – скорость света в вакууме; a выражение для ширины резонансной кривой по уровню -3 дБ имеет вид

$$\Delta f_r = \frac{c}{2nl} \frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}, \quad (2)$$

где R – коэффициент отражения полупрозрачного зеркала по интенсивности света.

При длине фильтра Фабри – Перо $l = 1$ мм и $R = 0,7$ согласно (1) и (2) $f_r = 100$ ГГц и $\Delta f_r = 11,4$ ГГц.

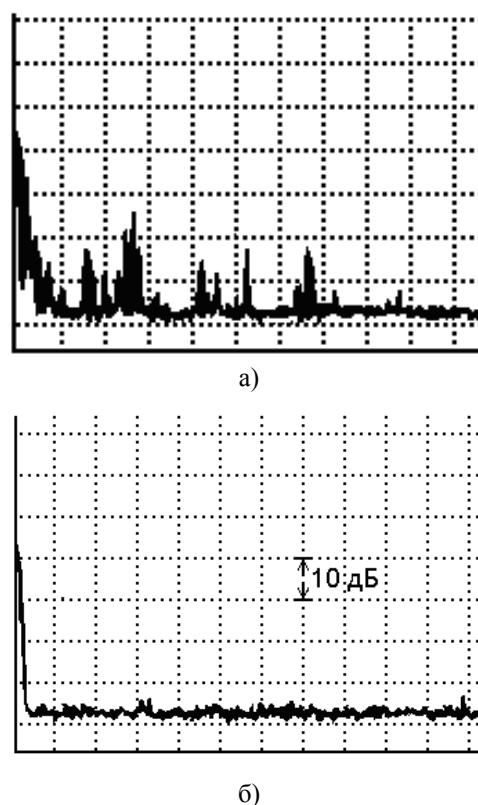
В качестве перестраиваемого полосового фильтра используется волоконный интерференционный фильтр, в котором выбор длины волны осуществляется при изменении угла наклона плоскости фильтра, его линейного перемещения или вращения автоматически с помощью элек-

тронного привода со скоростью установки параметров фильтра не более нескольких миллисекунд. Перестраиваемый оптический фильтр компании DiCon имеет следующие параметры: диапазон перестройки 1525–1565 нм, ширина полосы пропускания 200 ГГц (1,6 нм), разрешение по длине волны 0,05 нм, типовые вносимые потери 1,5 дБ, максимальный уровень обратного отражения –50 дБ. Ширины полосы пропускания перестраиваемого фильтра достаточно, чтобы пропустить выделенный с помощью резонансного фильтра Фабри – Перо диапазон, содержащий две длины волны. Таким образом, в волоконном кольцевом лазере генерируются две длины волны, разнесенные на 100 ГГц (0,8 нм). Путем перестройки полосового фильтра выбирается та пара мод резонатора Фабри – Перо, которая и будет генерироваться. Перестройка является ступенчатой с шагом 200 ГГц в рамках спектрального диапазона, равного 40 нм.

Генерация двухволновых сигналов при наличии только волоконного эрбиевого оптического усилителя является нестабильной, поскольку одна длина волны может монополюсно захватить всю инверсию населенности при усилении слабых (порядка –30 дБм) сигналов. Чтобы этого избежать, необходимо осуществлять предварительное усиление, что достигается использованием полупроводникового оптического усилителя. Применение одного только полупроводникового усилителя не обеспечивает достаточного усиления для достижения приемлемого отношения сигнал/шум. Использовалась квантоворазмерная гетероэпитаксиальная структура полупроводникового усилителя на основе InGaAsP-InP, излучающая на длине волны 1530–1565 нм. Ширина мезаполоски составляла 3 мкм, длина резонатора 1000–1600 мкм. На переднюю и заднюю грани активного элемента нанесены многослойные просветляющие покрытия. Активный элемент оптического усилителя смонтирован на медном теплоотводе, который в свою очередь помещен на термоэлектрический холодильник, управляемый схемой термостабилизации. Излучение с задней и передней граней активного элемента усилителя вводится в одномодовый световод с микролинзой на торце, на поверхность которой нанесено просветляющее покрытие с коэффициентом отражения < 0,05 %. Максимальное отношение сигнал/шум наблюдалось при токе накачки 150 мА, при этом коэффициент усиления равнялся 17 дБ при мощности входного сигнала –15 дБм и коэффициент усиления уменьшался до 8 дБ при возрастании входной мощности до –3 дБм. Волоконный эрбиевый оптический усилитель состоит из отрезка волоконного световода длиной 10 м, легированного эрбием, двух оптических изоляторов, расположенных на входе и выходе усилителя,

полупроводникового лазера накачки с мощностью излучения 100 мВт на длине волны 980 нм, модулятора тока накачки лазера, устройства температурного контроля лазера и 980/1550 WDM-разветвителя. Основные характеристики эрбиевого усилителя: коэффициент усиления 11 дБ, выходная мощность излучения 12 дБм, спектральная полоса усиления 35 нм в диапазоне длин волн 1535–1570 нм, коэффициент шума 4–6 дБ.

Период обращения сигналов по основному кольцу составляет 325 нс. К этому кольцу с помощью X-образных оптических разветвителей с коэффициентом деления 10 : 90 присоединены два волоконных резонатора длиной 6 м и 0,85 м. Длины резонаторов подобраны таким образом, чтобы предотвратить биения, возникающие среди многих продольных мод основного кольца и увеличить отношение сигнал/шум. В результате при отводе 10 % мощности излучения в эти резонаторы регистрируемое отношение сигнал/шум составляет более 30 дБ (рисунок 2).



а – ВР₁ и ВР₂ отключены; б – включены оба резонатора–ВР₁ и ВР₂

Рисунок 2 – Влияние дополнительных волоконных резонаторов ВР₁ и ВР₂ на спектр генерации кольцевого волоконного лазера

В качестве контроллера поляризации используется поляризатор полированного типа, в котором часть оболочки, почти до самого сердечника,

удалена полировкой и на обработанную поверхность напылен металл – алюминий или серебро. Среди мод, электрические составляющие которых перпендикулярны или параллельны металлической поверхности, на моды с перпендикулярной составляющей приходится основная доля потерь поглощения. Для снижения потерь мод с параллельной составляющей между отполированной поверхностью волокна и металлом сформирован буферный слой (CaF_2), обладающий более низким коэффициентом преломления, чем оболочка. В результате коэффициент затухания поляризатора для перпендикулярных компонентов составляет 45 дБ и вносимые потери для параллельных составляющих не превышают 1 дБ.

Работа оптического изолятора основана на эффекте Фарадея. В качестве материала для элемента Фарадея используется монокристалл YIG железо-иттриевого граната с большой постоянной Верде, прозрачный на длине волны более 1,2 мкм. Кроме того, в конструкцию изолятора входят поляризатор, магнит для создания магнитного поля, оптический анализатор. Изолятор имеет следующие параметры: центральная длина волны 1550 ± 50 нм, прямые потери 0,6 дБ, коэффициент развязки 28 дБ. Вывод излучения из кольцевого лазер обеспечивается Y-образным разветвителем с коэффициентом деления мощности 50 : 50.

Таким образом, в волоконном кольцевом лазере генерируются две длины волны, разнесенные на 100 ГГц (0,8 нм) с шириной линии генерации 11,4 ГГц по уровню –3 дБ. В результате длину волны излучения лазера можно перестраивать в диапазоне 40 нм в пределах длин волн от 1525 до 1565 нм с шагом 1,6 нм, при этом колебания мощности во всем диапазоне не превышает 2,5 дБм. Волоконный лазер соединяется с измерительной частью посредством LiNbO_3 направленного ответвителя с потерями переключения 3 дБ, принцип действия которого поясняется на рисунок 3.

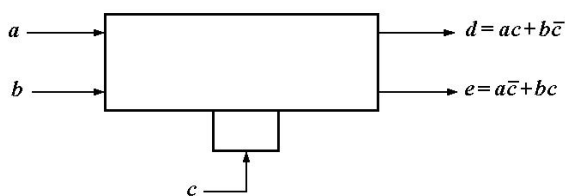


Рисунок 3 – Принцип функционирования LiNbO_3 направленного ответвителя

Излучение лазера поступает в волоконный

световод, являющийся измерительным чувствительным элементом датчика, в тот промежуток времени, когда на управляющем входе с присутствует импульс от блока регенерации. Выходная мощность излучения кольцевого волоконного лазера составляет 4,5 мВт. Преимуществом такого источника излучения является существенно более высокая мощность излучения по сравнению с широкополосными светодиодами.

В квазираспределенных оптоволоконных измерительных системах в качестве спектрально-селективных элементов предлагается использовать волоконные решетки Брэгга (ВРБ), представляющие собой сформированные в волокне участки с периодическим изменением показателя преломления. Особенностью таких решеток является то, что в зависимости от величины периода происходит отражение на одной определенной длине волны, а для других длин волн решетка будет прозрачной. Так, для длины волны излучения $\lambda_{BG} = 1550$ нм; длины решетки 5 мм; амплитуды модуляции наведенного показателя преломления для ВРБ $7,5 \cdot 10^{-4}$; диаметра сердцевинки волокна 9 мкм; среднего показателя преломления сердцевинки 1,468; показателя преломления оболочки оптического волокна 1,4638; ширина спектра отражения ВРБ составляла 0,6 нм по основанию, а коэффициент отражения на резонансной длине волны равнялся 0,97. При этом затухание соседних с центральным лепестков составляет около 10 дБ. В результате, комбинация перестраиваемого кольцевого лазера и волоконного световода, в котором сформированы волоконные решетки Брэгга с различными периодами, позволяет получать информацию от более чем 20 точек измерения вдоль одного волоконно-оптического тракта.

1. Ксенофонтов М.А., Поляков А.В. Устройство измерения концентрации кислорода // Фотоника. – 2010. – №4. – С. 44–48.
2. Поляков А.В. Волоконно-оптическая система скважинной термометрии рециркуляционного типа // Известия Вузов. Приборостроение. – 2012. – Т.55, №9. – С.84–90.
3. Shilong Pan, Xiaofan Zhao, and Caiyun Lou Switchable single-longitudinal-mode dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser incorporating a semiconductor optical amplifier // Optics Letters. – 2008. – Vol. 33, № 8. – 764–766.

УДК 621.317.681.2:621.317.799

НОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, СОЗДАННЫЕ ОАО «МНИПИ»

Кухаренко Н.А., Фирман М.Г.

Открытое акционерное общество «МНИПИ»,

Минск, Республика, Беларусь

Государственная научно-техническая программа «Радиоэлектроника-2» выполнялась в период 2011 – 2015 гг. ОАО «МНИПИ» являлось головным исполнителем 2 подпрограмм этой ГНТП: «Радиоэлектронная аппаратура общепромышленного применения» и «Радиоэлектронная и оптоэлектронная аппаратура специального и двойного применения».

Всего в рамках двух подпрограмм создано 85 объектов новой техники.

Разработка приборов и средств измерений – одно из основных направлений работ в рамках указанных подпрограмм. ОАО «МНИПИ» – основной разработчик и один из основных изготовителей средств измерений в рамках указанной программы.

В 2011 – 2015 годах предприятием были разработаны 26 типов средств измерений различных величин.

Разработаны и в 2016 году освоены в производстве четыре типа универсальных цифровых вольтметров:

настольного сервисного вольтметра В7-77/1 класса 0,04%;

системного вольтметра класса 0,01% В7-89 с расширенными функциональными возможностями;

системных вольтметров В9-91, В7-91/1 класса 0,03 %.

Эти вольтметры от ранее освоенных в производстве приборов аналогичного класса отличаются более жесткими условиями эксплуатации, меньшей стоимостью, более широкими функциональными возможностями.

Разработан и освоен в производстве универсальный калибратор Н4-201, обеспечивающий калибровку и поверку электроизмерительных приборов среднего и повышенного класса точности в диапазоне напряжений до 1000 В и силы тока до 50 А. Калибратор по сравнению с выпускающимся в настоящее время прибором Н4-101 обладает большей точностью воспроизведения (0,015% на постоянном напряжении), более широким диапазоном частот воспроизводимого переменного напряжения (до 100 кГц). Как и прибор Н4-101, этот калибратор обеспечивает свои характеристики в сравнительно широком диапазоне рабочих температур, что позволяет применять его непосредственно в местах эксплуатации поверяемой техники. По сравнению с

калибраторами зарубежного производства Н4-201 отличается существенно более низкой стоимостью при оптимальном наборе функциональных возможностей и метрологических характеристик.

В период 2011 – 2015 гг. разработаны и освоены в производстве три типа новых анализаторов иммитанса: Е7-28 (диапазон частот от 25 Гц до 10 МГц, класс точности 0,1%), Е7-29 (диапазон частот от 50 Гц до 15 МГц, класс точности 0,2%, жесткие условия эксплуатации), Е7-30 (диапазон частот от 25 Гц до 3 МГц, класс точности 0,1%).

Для метрологического обеспечения производства и эксплуатации измерителей иммитанса и других средств измерений параметров цепей на переменном токе создан и освоен в производстве набор мер электрического сопротивления Н2-2. Набор состоит из 10 мер (0 Ом, 1, 10 Ом, ... 1 МОм, ∞) и обеспечивает передачу размера единицы сопротивления на переменном токе при частотах до 10 МГц с погрешностью (0,03...0,3)%.

Созданы четыре типа цифровых двухканальных осциллографов:

С8-52 – диапазон частот до 120 МГц, жесткие условия эксплуатации, цветной графический дисплей со светодиодной подсветкой;

С8-53, С8-53/1 – диапазон частот до 100 МГц, малые габариты и масса (3,5 кг);

С8-54 – диапазон частот до 200 МГц, 400 Мвыб/с в каждом канале, жесткие условия эксплуатации, цветной TFT ЖК дисплей.

Все перечисленные осциллографы обеспечивают более 20 видов автоматических цифровых измерений, работоспособны при питании от сети и от аккумулятора.

Перечень разработанных и выпускаемых предприятием электронно-счетных частотомеров в 2015 году дополнился новым прибором ЧЗ-96. Этот частотомер также предназначен для применения в сравнительно жестких условиях эксплуатации. Диапазон частот от 0,01 Гц до 3,2 ГГц. По сравнению с ранее разработанными в ОАО «МНИПИ» частотомерами он имеет более широкие функциональные возможности, более совершенное программное обеспечение для внутри-приборной обработки сигналов и результатов измерений.

Разработаны и освоены в производстве че-

тыре типа измерительных преобразователя температуры и влажности, обеспечивающие преобразование измеряемых величин в нормированное значение постоянного напряжения или силы тока – ПИТ01, ПОВТ01, ПОВТ01А, ПОВТ2. Эти преобразователи применяются в настоящее время в ряде метеорологических комплексов, а также при испытаниях технических средств.

В 2011 – 2016 гг. предприятием был создан и освоен в производстве также ряд приборов, предназначенных для использования для организации учебного процесса и оборудования лабораторий в высших и средних учебных заведениях, в том числе:

– комплекс учебный лабораторный КУЛ-1, совмещающий в одном конструктиве 4,5-разрядный мультиметр, генератор-частотомер и четырехканальный источник питания;

– комплект приборов для демонстрации опытов и проведения лабораторных работ, состоящий из демонстрационного мультиметра-тес-

тера, демонстрационного осциллографа-генератора, демонстрационного СВЧ приемника-передатчика и высоковольтного источника напряжения;

– программно-аппаратный комплекс с комплектом датчиков для кабинетов физики;

– программно-аппаратный комплекс с комплектом датчиков для кабинетов химии.

В выполнении заданий ГНТП «Радиоэлектроника-2» приняли участие более 20 организаций промышленности, отраслевой, академической и вузовской науки.

Начиная с 2016 года, выполняется новая ГНТП «Радиоэлектроника-3», цели и задачи которой аналогичны целям и задачам завершенной программы. Участие в выполнении этой программы учреждений образования и науки будет способствовать решению одной из основных задач программы – повышению конкурентоспособности и научно-технического уровня продукции отечественного приборостроения.

УДК 620.179.14

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ

Куц Ю.В., Лысенко Ю.Ю., Дугин А.Л.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина*

Вихретоковый неразрушающий контроль (ВТНК) широко применяется в различных областях науки и техники благодаря высокой эффективности и надежности получаемых решений задач дефектоскопии, контроля качества материалов и изделий, определения параметров и характеристик объектов контроля (ОК) различного назначения и в различных предметных областях. С целью улучшения и усовершенствования методов и средств ВТНК исследуют и применяют новые вихретоковые преобразователи (ВТП), имеющие более сложную конструкцию, совершенствуют способы возбуждения вихревых токов, применяют новые методы обработки информационных сигналов ВТП и т.д.

Сегодня наибольшее развитие получили методы ВСНК, ориентированные на использование гармонических сигналов для возбуждения вихревых токов в ОК. В этом случае электрофизические характеристики материалов и геометрические параметры ОК определяются через такие параметры информационных сигналов ВТП как амплитуда и фазовый сдвиг. Анализ информационных сигналов ВТП и интерпретация результатов контроля усложняется за счет действия ряда мешающих факторов, среди которых наиболее опасными являются зазор между ВТП и ОК, вариация электромагнитных свойств металла, кривизна и шероховатость поверхности ОК, внешние и аппа-

ратурные шумы и помехи различной природы [1].

Чаще всего ВТНК реализуется за счет возбуждения вихревых токов гармоническими сигналами одной частоты, что теоретически допускает определение двух параметров системы ВТП-ОК. Параметры и характеристики ОК определяют через их воздействие на амплитуду и фазовый сдвиг сигнала ВТП относительно сигналов возбуждения вихревых токов. Для расширения функциональных возможностей ВТНК рассматривают применение других режимов возбуждения вихревых токов и осуществляют поиск и анализ других информативных параметров (ИП). Один из таких направлений исследования связан с использованием импульсного режима возбуждения в ОК вихревых токов. Совершенствование методов обработки сигналов импульсного ВТНК связано с поиском новых ИП сигналов ВТП, повышением достоверности контроля, поиском способов уменьшения влияния различных мешающих факторов, действующих в системе ВТП – ОК, реализацией многопараметрового контроля, и расширением функциональных возможностей ВТНК. Таким образом, развитие методов и средств импульсного ВТНК является важным направлением развития этого вида контроля.

Анализ современных исследований импульсного ВТНК показывает, что в качестве ИП наибо-

лее часто используют пиковое значение амплитуды сигнала – в дефектоскопии однослойных конструкций с целью увеличения глубины проникновения вихревых токов [2], дефектоскопии многослойных конструкций [3], дефектоскопии отверстий клепочных соединений в авиационной [4]. Известны системы с комбинированным использованием гармонического и импульсного режимов возбуждения электромагнитного поля [5]. В таком случае при обработке информационного сигнала ВТП используют дополнительные ИП сигналов ВТП - затухание и положения во времени точки пересечения нулевого уровня этим сигналом.

В докладе рассмотрены экспериментальные результаты решения задачи дефектоскопии и дефектометрии алюминиевых листов. Было выполнено сканирование ОК с моделями трещин разной глубины и реализацией в режиме импульсного возбуждения ВТП. В качестве ОК была использована алюминиевая пластина с трещинами разной глубины (от 0.1 мм до 3мм) и шириной раскрытия 1мм (рисунок 1).

Разработанная система ВТНК включала накладной трансформаторный мульти дифференциальный ВТП, цифровой осциллограф (вертикальное разрешение 12 бит, частота выборки 500 МГц, динамический диапазон 60 МГц), цифровой интерфейс, персональный компьютер с необходимым программным обеспечением (Matlab). На первичную катушку ВТП поступал возбуждающий импульсный сигнал от генератора, встроенного в цифровой осциллограф, амплитуды $U = 5 \text{ В}$, периодом повторения $T_n = 50 \text{ мкс}$, продолжительностью $\tau = 175 \text{ нс}$. Сигнал со вторичной обмотки ВТП представлял собой затухающие гармонические колебания. Колебания вызывались индуктивностью катушек ВТП и их межвитковой емкостью (рисунок 2). Информационный сигнал поступал на цифровой осциллограф для аналого-цифрового преобразования и передавался в персональный компьютер для дальнейшей обработки.



Рисунок 1 – Исследуемый образец

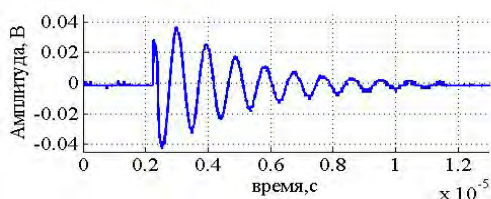


Рисунок 2 – График участка сигнала ВТП

Используемое ПО реализует методику обработки сигналов ВТП с анализом сигнала во временной области на основе использования преобразования Гильберта [6]. Такая методика дает возможность использовать в качестве ИП затухание сигнала ВТП и его частоту. В работах [7, 8] показано, что эти параметры можно использовать для оценки удельной электропроводности материала ОК, его диаметр, толщину диэлектрического покрытия.

В данной работе совместно с используемыми ранее ИП рассматривалось и пиковое значение амплитуды информационного сигнала. По результатам сканирования ОК (рисунок 3а) с шагом 0.1мм было получено набор сигналов ВТП, и которых были выделены максимальные пиковые значения амплитуды. Распределение пиковых значений напряжения на поверхности ОК представлено на рисунке 3б. Из анализа этого распределения видно, что появление трещины в ОК приводит к существенному увеличению амплитуды напряжения непосредственно возле нее, но уменьшению над самой трещиной.

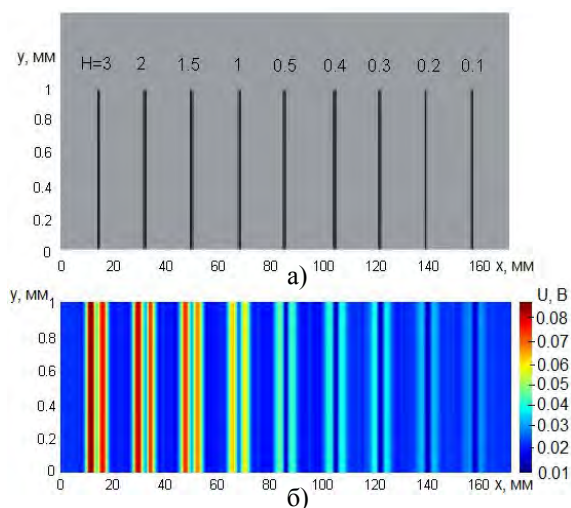


Рисунок 3 – Исследуемый образец (а) и распределение пиковых значений напряжения ВТП (б)

Используя зависимость амплитуды от глубины трещины можно в некоторых случаях расширить задачу дефектоскопии – оцениванием глубины трещин. Таким образом, ВТНК с импульсным возбуждением в сочетании с цифровой обработкой информационных сигналов на основе дискретного преобразования Гильберта может существенно дополнить известные методы за счет возможности анализа таких параметров сигналов как частота собственных колебаний, пиковое значение амплитуды, декремент сигнала и временное положение характерных точек сигнала. В докладе приведены методика и показана ее реализация на примере обработки сигналов импульсного ВТНК для задачи контроля алюминиевой пластины с

трещинами различной глубины.

1. Тетерко А.Я. Селективна вихрострумова дефектоскопія / А.Я. Тетерко, З.Т. Назарчук; НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. – Л., 2004. – 247 с.
2. Cadeau T. Pulsed eddy current probe desing based on transient circuit analysis / T.J. Cadeau, T.W. Krause // Review of Quantitative NDE. – 2009. – vol. 28. – pp. 327-334.
3. Неразрушающий контроль. Кн. 3. Электромагнитный НК / Под ред. В.В. Сухорукова – М.: Высшая школа, 1992, – 320с.
4. Yang G. Pulsed Eddy-Current Based Giant Magnetoresistive System for the Inspection of Aircraft Structures / G. Yang, A. Tamburrino, L. Udpa, S. Udpa // IEEE Trans. Magn. – 2010. – vol. 46, no. 3. – pp. 910-917.
5. Vasic D. Pulsed Eddy-Current Nondestructive Testing of Ferromagnetic Tubes / D. Vasic, V. Bilas, D. Ambrus // IEEE Trans. Instrum.

Meas. – 2004. – vol. 53, no. 4. – pp. 1289-1294.

6. Методика обработки сигналов в системах импульсной вихретоковой дефектоскопии: материалы VIII Междунар. научн.-техн. конф. «Приборостроение - 2015», 25 - 27 ноября 2015 г., Минск, Республика Беларусь / БНТУ ПБФ — Минск, 2015. — Т. 1, 322 с.
7. Lysenko I. Improvement of the Eddy Current Method of Non-Destructive Testing with Pulsed Mode Excitation [Electronic resource] / I. Lysenko, Y. Kuts, O. Dugin, A. Protasov // The e-Journal of Nondestructive Testing. – 2016. – № 7, Vol. 21. – Access mode: <http://www.ndt.net>.
8. Лисенко Ю. Ю. Застосування накладних перетворювачів в імпульсному вихрострумовому контролі / Лисенко Ю. Ю., Куц Ю. В., Протасов А.Г., Дугін О.Л. // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування : збірник наукових праць. – 2016. – Вип. 52. – С. 58–63.

УДК 621.317.799:621.382

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ КОММУТАТОРОМ

Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.

Открытое акционерное общество «МНИПИ», Минск, Республика Беларусь

Матричные коммутаторы широко применяются в автоматизированных системах измерения и контроля параметров полупроводниковых приборов (ПП). Они используются для выбора тестируемого ПП и подключения к нему источников и измерителей электрических сигналов.

Основу матричного коммутатора составляют ключи, расположенные в перекрестиях строк (А, В, С, D, ...) и колонок (1, 2, 3, 4,...) коммутатора. Замыкание определенных ключей обеспечивает подключение измерительных приборов, каждый из которых присоединен к определенной строке, к интересующему электроду ПП, присоединенному к одной из колонок.

В простейшем случае, при тестировании двухполюсника (диода), присоединенного к колонкам 2 и 4 коммутатора, с помощью источника тока, присоединенного к его строкам А и В, и измерителя напряжения, присоединенного к его строкам С и D, блок управления замыкает ключи А2, В4 и С2, D4, которые выбирает оператор на основании измерительной схемы, представленной на рис. 1, при формировании теста.

При контроле трех- и четырехполюсников подготовка программы тестирования в части управления матричным коммутатором существенно усложняется. Это связано с тем, что для каждого теста составляется измерительная схема, отображающая связи множества (до 8ми) измерительных приборов с электродами тестируемого

ПП. На основании такой схемы определяют, в каких узлах матрицы должны быть замкнуты ключи при выполнении данного теста

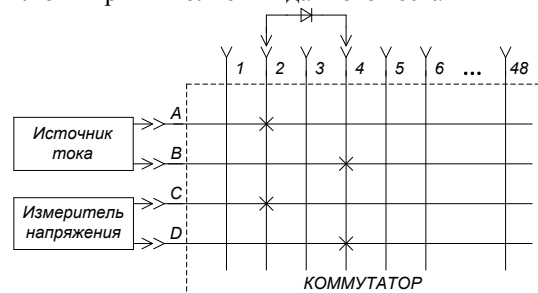


Рисунок 1 – Измерительная схема для матричного коммутатора при тестировании диода: × – замкнутые узлы

С целью исключения возможных ошибок при определении узлов матричного коммутатора, которые должны быть замкнуты в выбранном тесте, сложные измерительные схемы необходимо определенным образом визуализировать и документировать. Современные матричные коммутаторы снабжены устройствами индикации, которые отображают все узлы матричного коммутатора и позволяют выделить, светом или цветом, узлы с замкнутыми ключами. При этом, известные устройства индикации состояния матричного коммутатора весьма сложны и громоздки с точки зрения решаемой задачи.

Их выполняют либо на светодиодах, расположенных в узлах матрицы, изображенной на передней панели коммутатора, причём количество светодиодов соответствует числу узлов коммутатора, либо на базе графического дисплея, занимающего большую часть площади передней панели [1].

Устройство отображения состояния матричного коммутатора позволяет повысить достоверность тестирования ПП, но практически не влияет на оперативность управления, так как основное время в этом процессе занимает составление и анализ измерительных схем для множества тестов.

При тестировании ПП с помощью программируемых измерителей параметров полупроводниковых приборов (ИППП), или анализаторов вольтамперных характеристик (ВАХ), построенных на основе источников-измерителей (ИИ) уже не требуется подключения к электроду ПП одновременно нескольких измерительных приборов. Каждый ИИ формирует тестирующий сигнал (ток или напряжение) подаваемый на электрод ПП и одновременно измеряет сигнал-отклик (напряжение или ток), возникающий на этом электроде [2].

Благодаря возможности выбора типа формируемого и измеряемого сигналов, ИИ может рассматриваться как самостоятельная ступень коммутации, которая обеспечивает подключение к электроду ПП источника и измерителя электрических сигналов и выбор типа каждого из них (тока или напряжения). Поэтому в системе измерения, включающей программируемый ИППП или анализатор ВАХ и матричный коммутатор, требования к функциональным возможностям матричного коммутатора существенно снижаются и метод задания состояния коммутатора в формируемом тесте, может быть упрощен.

Программируемые ИППП и анализаторы ВАХ, обеспечивают отображение измерительной схемы выбранного теста. Это позволяет упростить конструкцию, используемого вместе с такими приборами, матричного коммутатора, за счет исключения громоздкого индикатора его состояния, который, в этом случае, будет избыточным.

Например, в ИППП-1 измерительная схема представлена в виде таблицы, где указаны вид и параметры тестирующего и измеряемого сигналов для каждого электрода ПП вместе с наименованием этого электрода [2]. В ИППП-3 измерительная схема представлена в виде условного обозначения (диод, биполярный или полевой транзистор, тиристор) с указанием каналов прибора, подключенных к каждому электроду. При этом, вид тестирующего и измеряемого сигналов уже определен согласно выбранному условному обозначению ПП [3].

Метод управления разработан для матричного коммутатора входящего в состав автоматизированного измерительного комплекса (АИК), структурная схема которого приведена на рис. 2. АИК предназначен для измерения и контроля параметров группы ПП, которая представлена в виде обобщенного объекта тестирования с множеством выводов (рис. 2). В качестве такого объекта можно рассматривать либо тестовый модуль на полупроводниковой пластине, либо группу ПП в отдельных корпусах, либо группу ПП в одном многовыводном корпусе.

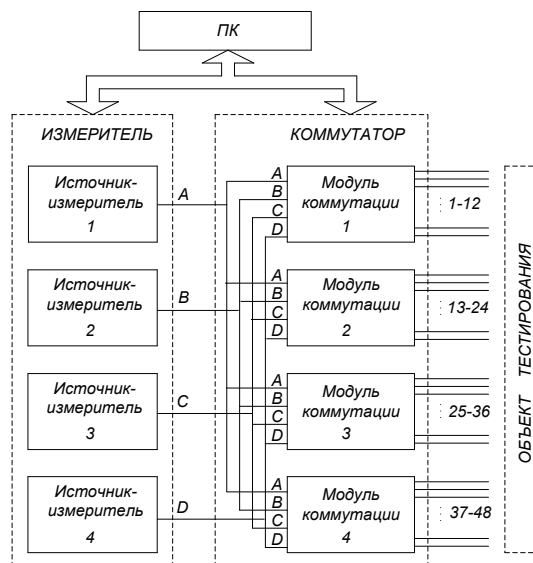


Рисунок 2 – Структурная схема АИК

АИК содержит компьютер, управляющий с помощью матричного коммутатора выбором объекта тестирования из множества ПП, подключенных к колонкам коммутатора, и работой измерителя в процессе тестирования выбранного ПП. Измеритель включает четыре ИИ, которые подключены к строкам А, В, С, D матричного коммутатора.

Матричный коммутатор состоит из четырех модулей коммутации, каждый из которых содержит по четыре строки А, В, С, D и двенадцать колонок. Соответствующие строки модулей, как показано на рисунке 2, соединены между собой. В результате образуется матричный коммутатор $12 \times 4 = 48$, в котором количество колонок определяется суммой колонок всех модулей.

Предлагаемый метод управления матричным коммутатором в составе АИК включает следующие операции:

- выбор типа ПП (диод, транзистор, и др.), в соответствии с которым на дисплее АИК отображается измерительная схема формируемого теста;
- установку типа тестирующего и измеряемого сигналов по каждому электроду ПП;

- установку в произвольном порядке существенных параметров формируемого теста и номеров колонок матричного коммутатора, соответствующих каждому из электродов выбранного ПП, согласно измерительной схеме на дисплее АИК;

- переход к формированию следующего теста.

Метод не предполагает выполнения таких операций, как составление и анализ измерительной схемы формируемого теста для определения узлов коммутатора которые должны быть замкнуты в этом тесте. Это способствует повышению оперативности формирования последовательно тестов при программировании АИК и существенно упрощает конструкцию коммутатора.

УДК 531.385

ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОРСКИХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С САМОНАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА

Малютин Д.М.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Известно [1], что в случае гармонической качки среднее за период значение погрешности гравиметра из-за ускорений и наклонов гиростабилизатора (ГС) может быть выражено через амплитудную и фазовую частотные характеристики передаточной функции ГС и определяется зависимостью:

$$\langle \delta g_1 \rangle = \frac{1}{2} (W_\xi^0)^2 A(\omega) \cos(Y(\omega)), \quad (1)$$

где W_ξ^0 – амплитуда горизонтального ускорения качки; $A(\omega)$ – значение амплитудно-частотной характеристики ГС на частоте качки; $Y(\omega)$ – значение фазовой частотной характеристики ГС на частоте качки.

Среднее значение погрешности гравиметра, обусловленной наклонами ГС, определяется зависимостью:

$$\langle \delta g_2 \rangle = -\frac{1}{4} g (\alpha^0)^2, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения; α^0 – амплитуда наклонов ГС.

Из приведенных зависимостей (1), (2) следует, что при установке гравиметра на ГС для уменьшения погрешностей гравитационных измерений необходимо обеспечить высокую точность стабилизации платформы относительно горизонта и добиться близости к нулю значения косинуса сдвига фазы между горизонтальными ускорениями качки и наклонами платформы. Эффективность выполнения этих требований в свою очередь обусловлена структурой построения ГС.

Структурная схема контура коррекции индикаторного ГС с контуром самонастройки параметров корректирующего устройства представ-

1. Каталог Keithley – Tektronix 2014. издание 2 [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tektronix.ru/>. – Дата доступа 24.06.2016.

2. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-1. Руководство по эксплуатации. УШЯИ.411251.003 РЭ. часть первая. – 47 с.

3. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-3. Руководство по эксплуатации. УШЯИ.411251.005 РЭ. часть первая. – 41 с.

лена на рисунке 1.

Сигнал с выхода акселерометра поступает на вход устройства измерения спектра, в котором определяется преобладающая частота качки ω_K [2].

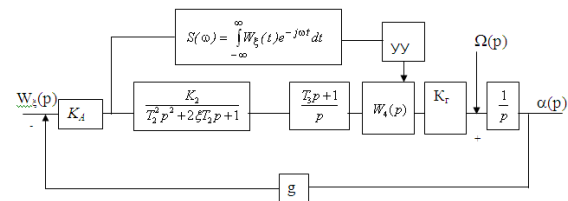


Рисунок 1 – Структурная схема контура коррекции индикаторного ГС с контуром самонастройки параметров: K_A – коэффициент передачи акселерометра, T_2, T_3, K_ξ, ξ – параметры корректирующего устройства контура коррекции, K_Γ – коэффициент передачи гироскопа по управляющему воздействию

В соответствии со значением преобладающей частоты качки управляющее устройство (УУ) изменяет постоянную времени T_4 апериодического звена с передаточной функцией $W_4(p) = \frac{1}{T_4 p + 1}$ таким образом, чтобы фазовый сдвиг между горизонтальными ускорениями и отклонением платформы был точно равен -270 град. Постоянная времени T_4 определяется исходя из условия самонастройки:

$$T_4 = \frac{tg \left[-90^\circ + \arctg(T_3 \omega_K) + \arctg \left(\frac{2\xi \omega_K T_2}{(\omega_K T_2)^2 - 1} \right) \right]}{\omega_K} \quad (3)$$

Например, при настройке системы на частоту качки $\omega_K = 0,785 \text{ c}^{-1}$ постоянная времени

$T_4 = 0,123$ с; при $\omega_K = 0,658 \text{ с}^{-1}$, $T_4 = 0,176$ с; при $\omega_K = 0,5188 \text{ с}^{-1}$, $T_4 = 0,284$ с. Определение постоянной времени T_4 дополнительного аperiodического звена с точностью 3% при $W_\xi^o = 1 \text{ м/с}^2$ приводит к появлению значений погрешности $\langle \delta g_1 \rangle$, указанных в таблице 1. Погрешность $\langle \delta g_2 \rangle$ пренебрежимо мала.

Таблица 1 – Погрешности гравиметра из-за ускорений и наклонов гиросtabilизатора (ГС)

$\omega_K, \text{с}^{-1}$	$A(\omega_K)$	$Y(\omega_K), \text{град}$	$\langle \delta g_1 \rangle, \text{мГал}$
0,785	$1,4 \cdot 10^{-5}$	-269,75	0,00224
0,658	$2,38 \cdot 10^{-6}$	-269,79	0,0041
0,5188	$4,87 \cdot 10^{-5}$	-269,815	0,01

Применим для обеспечения фазового сдвига -270 град между горизонтальными ускорениями качки и ошибкой стабилизации на частоте качки основания вместо аperiodического звена с постоянной времени T_4 звено с передаточной функцией:

$$W_4(p) = \frac{T_4 \cdot p / l + 1}{T_4 \cdot p + 1}, \quad (4)$$

где T_4 - переменная постоянная времени звена (4), l – переменный параметр звена (4).

Управляющее устройство (УУ) изменяет постоянную времени T_4 и параметр l звена (4) таким образом, чтобы фазовый сдвиг между горизонтальными ускорениями и отклонением платформы был точно равен -270 град. Условие самонастройки в этом случае запишется в виде

$$\begin{cases} \Delta Q = -90^\circ + \arctg(T_3 \omega_K) - \arctg\left(\frac{2\xi T_2 \omega_K}{1 - (T_2 \omega_K)^2}\right) & (5) \\ l = \frac{1 + \sin \Delta Q}{1 - \sin \Delta Q} \\ T_4 = \frac{1}{\omega_K} \sqrt{l} \end{cases}$$

Передаточная функция ГС морского гравиметра с такой системой коррекции имеет вид

$$W_\xi(p) = \frac{\frac{1}{g}(T_3 p + 1)\left(\frac{T_4}{l} p + 1\right)}{\frac{T_2^2 T_4}{k_0 g} p^5 + \frac{T_2^2 + 2\xi T_2 T_4}{k_0 g} p^4 + \frac{T_4 + 2\xi T_2}{k_0 g} p^3 + \frac{p^2}{k_0 g} \left(1 + \frac{k_0 g T_2 T_4}{l}\right) + (T_3 + \frac{T_4}{l}) p + 1} \quad (6)$$

Использование для создания небольшого отрицательного фазового сдвига звена с передаточной функцией (4), позволяет обеспечить на соответствующих частотах в окрестности преобладающей частоты качки меньшие значения амплитудно – частотной характеристики передаточной функции ГС (6) и значения фазовой частотной характеристики передаточной функции

ГС (6) в окрестности преобладающей частоты качки на соответствующих частотах ближе к -270 град по сравнению со случаем применения дополнительного аperiodического звена с передаточной функцией $W_4(p) = 1 / (T_4 + 1)$, а следовательно уменьшить систематическую составляющую измерения ускорения силы тяжести гиросtabilизированным гравиметром из-за совместного влияния горизонтальных ускорений и наклонов ГС.

Высокую эффективность применения гиросtabilизированного гравиметра с самонастройкой параметров ГС, имеющего передаточную функцию ГС (6), по сравнению с гиросtabilизированным гравиметром без самонастройки параметров ГС с передаточной функцией ГС (7)

$$\frac{\alpha(p)}{W_\xi(p)} = \frac{T_3 p + 1}{g \left[\frac{T_2^2}{K_0 g} p^4 + \frac{2\xi T_2}{K_0 g} p^3 + \frac{1}{K_0 g} p^2 + T_3 p + 1 \right]}, \quad (7)$$

где $K_0 = K_A K_2 K_A$ иллюстрируют графики ошибок гиросtabilизированного гравиметра (рисунок 2).

$\langle \delta g_1 \rangle$ (м/с²)

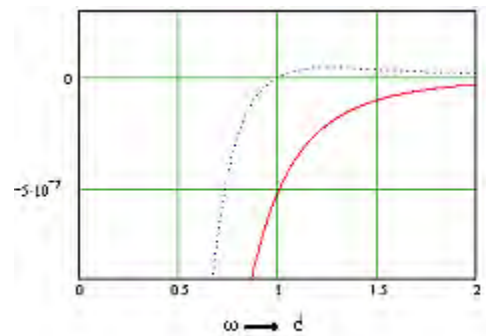


Рисунок 2 – Графики ошибок гиросtabilизированного гравиметра с передаточной функцией (6) и передаточной функцией (7)

Кривая, выполненная штриховой линией, соответствует гиросtabilизированному гравиметру с самонастройкой параметров ГС (парметры системы выбраны в соответствии с преобладающей частотой качки 1 с^{-1}), а кривая, выполненная сплошной линией, соответствует гиросtabilизированному гравиметру без самонастройки параметров ГС.

1. Ривкин С. С., Береза А. Д. Гироскопическая стабилизация морских гравиметров. – М.: Наука, 1985. – 176 с.
2. Малютин Д.М. Гиросtabilизатор морского гравиметра с самонастройкой параметров / Изв. вузов. Приборостроение. 2003.Т46., №9, с.18-23.

МЕТОД И СРЕДСТВО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ И КВАНТОВЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Медведев Н.В., Чичварин Н.В.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация

Введение. Материалы публикации содержат основные результаты исследований пространственной стабилизации в атмосферных (FSO) и квантовых линиях связи. Известны эксперименты по обмену секретным ключом по квантовому каналу между наземной станцией и самолетом. Результаты испытания были представлены в докладе на конференции QCrypt в Сингапуре, кратко о них пишет New Scientist. Обмен осуществлялся между передатчиком, установленным на движущемся самолете и приемником, который находился на крыше исследовательского центра. Сообщается, что стабилизация луча лазера осуществлялась системой зеркал. В предлагаемых материалах предлагается более простое и надежное решение на основе системы, во многом аналогичной тепловой головке самонаведения.

1. Аналитический обзор доступной литературы. Цель и задачи исследований. Целью исследований явился поиск технического решения для простой и надежной системы стабилизации приемной станции лазерных линий связи. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- Разработка (выбор) оптической системы.
- Разработка математической модели системы стабилизации оптической оси.

2. Основные результаты исследований. Аналитический обзор доступной литературы [1 - 11] позволил заключить следующее:

- Любая FSO содержит в своем составе ту или иную подсистему стабилизации лазерного луча. В случае стационарных систем ее наличие обусловлено колебаниями тех или иных опор для установки приемопередающих станций.

- Квантовые линии связи нуждаются в подсистеме стабилизации в еще большей степени.

- Подавляющее большинство подсистем пространственной стабилизации выполняются в виде стабилизированных зеркал.

- Точное отслеживание луча осуществляется с помощью устройств, содержащих ПЗС. Собственно устройства реализуют алгоритм трейкинга. В этих устройствах не предусмотрено слежение за источником излучения.

Во многих случаях (и, в частности в мобильных линиях FSO) именно слежение за подвижными источниками излучения является настоятельно необходимым. В настоящей работе пред-

лагается применить гиросtabilизированную оптическую систему для решения задач стабилизации оптической оси и слежения за источником излучения. Попутно предлагается применить известные способы пространственной фильтрации для повышения помехозащищенности. По результатам аналитического обзора выбрана вращающаяся оптическая система, являющаяся одновременно трехступенным гироскопом с внутренним кардановым подвесом. Пусть положение главной оси трехступенного гироскопа z относительно корпуса (система координат x_k, y_k, z_k определяется углами α и β). Уравнения движения гироскопа имеют вид [12]:

$$J_1 \ddot{\alpha} + H \dot{\beta} \cos \beta_0 = M_1; \quad (1)$$

$$J_2 \ddot{\beta} - H \dot{\alpha} \cos \beta_0 = M_2, \quad (2)$$

где $H = C\Omega$ - кинетический момент (C - осевой момент инерции ротора, Ω - угловая скорость ротора); J_1 - приведенный момент инерции гироскопа к оси вращения наружной рамки; J_2 - приведенный момент инерции гироскопа к оси вращения внутренней рамки; β_0 - начальное фиксированное значение угла поворота наружной рамки.

b_1, b_2 , - коэффициенты демпфирования (трения в подшипниках карданового подвеса). Левую и правую части уравнения (4) умножим на $i = \sqrt{-1}$ и сложим уравнения (1) и (2) почленно, пренебрегая демпфированием:

$$J \frac{d^2 \bar{\varepsilon}}{dt^2} + H \frac{d \bar{\varepsilon}}{dt} \cos \beta_0 = M, \quad (3)$$

где $\bar{\varepsilon}$ - комплексный угол Эйлера.

Такая запись уравнений (1) и (2) позволяет называть управление системой стабилизации одноканальным. Если пренебречь нутационным движением гироскопа (коническими колебаниями оси гироскопа), т.е. положить вторую производную от углов Эйлера, равной нулю, то уравнения гироскопа приобретает простой вид:

$$H \dot{\beta} \cos \beta_0 = M_1;$$

$$H \dot{\alpha} \cos \beta_0 = M_2.$$

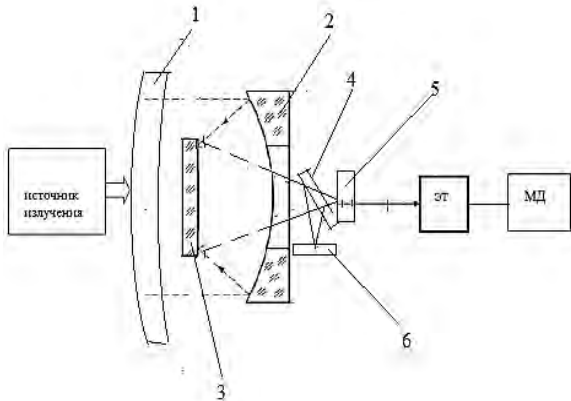
Уравнение (3) принимает вид

$$H \frac{d \bar{\varepsilon}}{dt} \cos \beta_0 = M. \quad (4)$$

То есть, скорость прецессии пропорциональна приложенному моменту. Таким образом, если обеспечить автоматическое наведение оси гирос-

скопа, совпадающей с оптической осью ОС на неподвижный источник излучения наземной станции и возможно измерение угловой скорости линии визирования, и следовательно, слежение за источником излучения передающей станции.. Для этого необходимо обеспечить обратную связь, т.е. $M = M(\bar{\varepsilon})$.

Объектив оптической системы (т.е. трехступенного гироскопа) формирует «точечное» изображение источника, который находится в практической бесконечности, т.е. на расстоянии, большем 100 фокусных (до 50 мм). Следовательно, на расстоянии, большим, чем 1000 м. изображение источника рассматривается, как пятно (т.н. пятно рассеяния). Структурная схема ОС приведена на рисунке 1. Следует отметить, что для уменьшения демпфирования и амплитуды нутаций карданов подвес выполнен внутри оптической системы.



1 – защитный мениск; 2 – главное зеркало, 3 – контрзеркало, 4 – блок светоделения; 5 – фотоприемник; 6 – лавинный фотодиод; эт – электронный тракт; мд – моментные датчики управления движением гироскопа (то есть оптической системы)

Рисунок 1 – Схема приемной части, устанавливаемой на мобильном объекте

Модулятор – анализатор изображения (МАИ) (рисунке 2) решает следующие задачи:

- Селектирует изображение цели от фонов (задача анализа).
- Модулирует излучение во времени – осуществляет амплитудно – фазовую модуляцию.
- Кодировывает положение изображения источника в полярной системе координат. Амплитуда кодирует величину рассогласования между линией визирования и оптической осью ОС. фаза – направление рассогласования.

Диск вращается с угловой скоростью вращения оптической системы (гироскопа). Происходит пространственно – временная модуляция потока от цели и фона (сектора и полудиск последовательно «наезжают» и «съезжают» с изображений цели и фона).

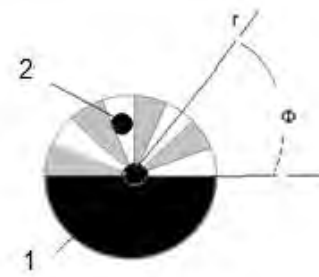


Рисунок 2 – Модулятор системы стабилизации (МАИ). 1-вращающийся диск, 2-изображение источника излучения

Если изображение 2 находится в центре, осциллограмма сигнала на выходе МАИ имеет вид (рисунке 3). В отсутствие фона, когда изображение цели находится в положении 2, сигнал на выходе МАИ имеет вид (рисунке 4).

Таким образом происходит и пространственная селекция изображений в плоскости анализа. Амплитуда сигнала от протяженного фона намного меньше амплитуды сигнала от источника передающей станции.

Модуляция излучения и кодирование значений координат излучателя. В отсутствие фона, когда изображение источника находится в положении 1, сигнал на выходе МАИ имеет вид (рисунке 3). Переменная составляющая сигнала равна нулю и управляющее воздействие на гироскоп отсутствует.

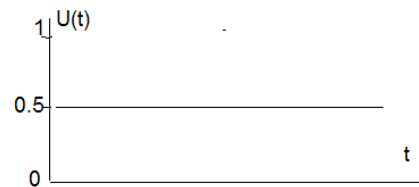


Рисунок 3 – Сигнал на выходе МАИ в отсутствие рассогласования

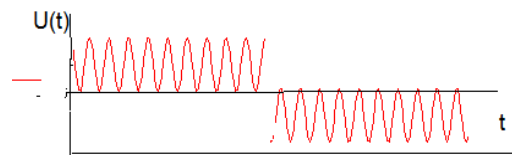


Рисунок 4 – Сигнал на выходе МАИ при рассогласовании, соответствующем случаю 2 на рисунке 2

При смещении изображения цели возникает переменный сигнал (Рис.4.). Очевидно, что при произвольном смещении изображения цели происходит соответствующий фазовый сдвиг. Идеализированная зависимость амплитуды сигнала от величины рассогласования (пеленгационная характеристика имеет вид (рисунке 5)). Условно показан резкий переход от линейного участка до насыщения. В случае, когда диаметр пятна рас-

сеяния настолько мал, что пятно допустимо считать точечным, мгновенному рассогласованию соответствует формирование максимальной амплитуды сигнала $U(\Phi)$.

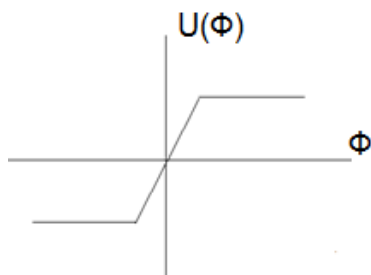


Рисунок 5 – Пеленгационная характеристика. $U(\Phi)$ – амплитуда сигнала – величина рассогласования, Φ – угол рассогласования

При «точечном» изображении источника излучения передающей станции пеленгационная характеристика является строго нелинейной и оптическая ось ОС находится в автоколебательном режиме, что по принципу Понтрягина обеспечивает максимальную скорость слежения за источником.

Уравнение управляющего сигнала $U(r, \Phi)$ на выходе МАИ имеет вид:

$$U(r, \Phi) = A(r)F(2\pi v_t t + u(\Phi)), \quad (6)$$

где g – величина рассогласования, Φ – направление рассогласования (фаза сигнала). Формула для вычисления потока на выходе МАИ имеет вид

$$F(r, \Phi) = \int_0^R \int_0^{\Phi_{max}} E(r-l, \alpha) H(l, \Phi) dl d\Phi, \quad (7)$$

где r – величина расстояния от центра МАИ до условного центра изображения, Φ – угол рассогласования, $E(r, \Phi)$ – распределение облученности в плоскости изображения ОС. Так одновременно производится стабилизация положения оптической оси при колебаниях носителя, пространственная фильтрация и измерение угловой скорости линии визирования для последующего слежения за положением источника излучения передающей станции в поле зрения ОС приемной станции.

Вторым аспектом настоящей публикации является вопрос о передаче сообщений с помощью FSO с применением методов квантовой криптографии. При использовании рассматриваемой оптической системы (Рис.1) возможны по меньшей мере три способа реализации квантовой линии:

- С применением лазерного излучения одновременно и для традиционной линии связи и для передачи ключа с применением квантовой криптографии. При этом при шифровке используются классические криптографические алгоритмы.

- С применением двухлучевой схемы приемопередающих станций. Излучение двух лазеров распространяется коаксиально. Излучение первого лазера используется для решения задачи пространственной стабилизации, а второго – для реализации квантовой линии связи.

- Путем применения одноканального излучателя и для обеспечения пространственной стабилизации и для передачи данных по квантовому протоколу.

Реализация каждого из трех способов возможна за счет снабжения оптической системы блоком светоделителя (рисунок 1, позиция 4).

Заключение. Описанное техническое предложение позволяет достаточно просто и надежно решить задачу стабилизации линий атмосферной и квантовой линий связи, построенных как раздельно, так и коаксиально.

1. Милинкис Б., Петров В. Атмосферная лазерная связь. Информост - Радиоэлектроника и Телекоммуникации №5(18), 2001.
2. Серопегин В.И. Беспроводные системы передачи данных локального, городского и регионального масштабов. Технология и средства связи, 1999, № 4, с. 72-77.
3. Гиносян Ю.А. Новые технологии беспроводного доступа. Технология и средства связи, 1999, № 4, с. 38-39.
4. Клоков А.В. Беспроводные ИК-технологии, истинное качество "последней мили". Технология и средства связи, 1999, № 5, с. 40-44.
5. Кулик Т. К., Прохоров Д.В. Методика сравнительной оценки работоспособности лазерных линий связи. Технология и средства связи, 2000, № 6, с. 8-18.
6. Кулик Т.К., Прохоров Д.В., Сумерин В.В., Хюппенен А.П. Особенности применения оптических линий связи. Лазер информ, 2001, вып. 9-10 (216-217), с. 1-6.
7. Феер К. Беспроводная цифровая связь: методы модуляции. — Пер. с англ. // Под. ред. В. И. Журавлёва. — М.: Радио и связь, 2000.
8. Официальный сайт: <http://www.iec.ch>, International Electrotechnical Commission (IEC), "Amendment 2 (2001)," *Safety of Laser Products—Part 1: Equipment Classification, Requirements, and User's Guide*, IEC 60825-1 (IEC, 2001). New classification standard adopted as of 1 March 2001. (последний доступ – 10.08.2016.).
9. Официальный сайт: <http://www.photonicsdirectory.com>, *The Photonics Directory* (Laurin Publishing, Pittsfield, Mass., 2002), (последний доступ – 10.08.2016.).
10. D. Sliney and M.Wolbarsht, *Safety with Lasers and Other Optical Sources* (Plenum, New York, 1980).
11. U.S. Center for Devices and Radiological Health

- (CDRH), Laser Product Performance Standard, *Code of Federal Regulations*, Vol. 21, Section 1040 (21 CFR 1040) (CDRH, Washington, D.C., 2002).
12. Бесекерский В.А., Фабрикант Е.А. Динамический синтез систем гироскопической стабилизации. – Л.: Судостроение, 1968. – 348 с.
13. Официальный сайт: www.krdu-mvd.ru/_files/kafedra_ib/17.pdf, «Технические средства и методы защиты информации», (последний доступ – 10.08.2016.).
14. Charles H. Bennett, Francois Bessette, Gilles Brassard, Louis Salvail, and John Smolin, «Experimental Quantum Cryptography», *J. of Cryptography* 5, 1992.

УДК 681.2.08

МАЛОГАБАРИТНЫЙ АНАЛОГОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

Микитевич В.А., Пантелеев К.В., Жарин А.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Измеритель контактной разности потенциалов (КРП) представляет собой электрометр с динамическим конденсатором, отличительной особенностью которого являются существенно уменьшенные размеры и емкость динамического конденсатора. Если в обычных электрометрах с динамическим конденсатором площадь пластин составляет величину порядка нескольких квадратных сантиметров, то в случае измерителей КРП практический интерес представляют размеры не более 1 мм. Измерители уменьшенных размеров представляют особый интерес для сканирующих систем, например, для сканирующего зонда Кельвина, а также для систем контроля различных технологических процессов, например, при трении. При этом измерительный сигнал с динамического конденсатора чрезвычайно мал, порядка минимально разрешимых с точки зрения современной аналоговой электроники. Кроме того, динамический конденсатор для электрометров представляет собой закрытую, полностью экранированную систему, что в случае измерений КРП сделать практически невозможно. Поэтому к измерителям КРП предъявляются повышенные требования как с точки зрения собственных шумов и защиты от внешних наводок, так и с точки зрения тщательной проработки механического и схемотехнического дизайна.

Целью работы являлась разработка функциональных структур и схемотехнического дизайна аналоговых измерителей КРП с использованием современной электронной базы, отличающихся от аналогов малыми габаритами, высокой чувствительностью и помехозащищенностью.

Структурная схема разработанного измерителя КРП приведена на рисунке 1. Входной каскад состоит из конденсатора, образованного поверхностями измерительного электрода M_1 и заземленного измеряемого образца M_2 , и входного высокоомного предусилителя. Под действием электромеханического модулятора одна из пластин конденсатора вибрирует на частоте соб-

ственного механического резонанса относительно измеряемой поверхности M_2 .

Электрическая емкость при периодическом изменении расстояния между обкладками динамического конденсатора также периодически изменяется со временем. При достаточно большом сопротивлении резистора R_{Π} заряд не будет успевать полностью стекать с обкладок конденсатора за период изменения емкости, что вызовет появление на инвертирующем входе предусилителя 4 переменного потенциала. Усиленный сигнал с предусилителя поступает на вход фазочувствительного детектора 6. Далее выпрямленное напряжение через интегратор 7 подается на неинвертирующий вход предусилителя 4 для компенсации КРП, тем самым обеспечивается отрицательная обратная связь автокомпенсации измеряемой величины.

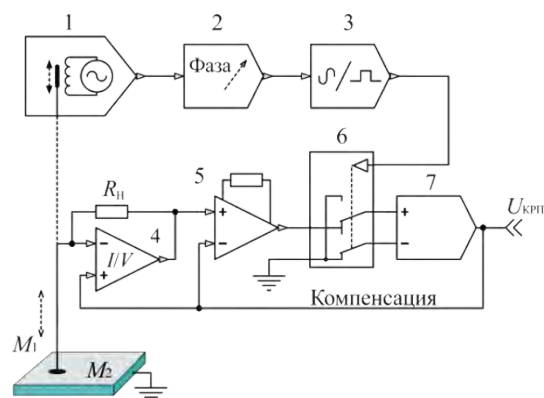


Рисунок 1 – Структурная схема аналогового измерителя контактной разности потенциалов: M_1 , M_2 – поверхности зонда и измеряемого образца, соответственно; 1 – модулятор вибрации; 2 – фазосдвигатель; 3 – формирователь сигнала; 4 – преобразователь ток-напряжение; 5 – инструментальный усилитель; 6 – фазочувствительный детектор с коммутируемыми ключами; 7 – интегратор; $U_{\text{КРП}}$ – выходной сигнал контактной разности потенциалов.

При переходе потенциала компенсации $U_{\text{комп}}$ через значение, равное КРП, фаза переменного сигнала с частотой ω вследствие изменения полярности пластин конденсатора изменяется на 180 градусов. Фазочувствительный детектор настроен таким образом, чтобы его выходное напряжение понижалось при фазе переменного сигнала, соответствующей превышению потенциалом компенсации значения КРП, и возрастало в обратном случае. При равенстве потенциала компенсации $U_{\text{комп}}$ величине КРП заряд на измерительном динамическом конденсаторе будет скомпенсирован. В этом случае сигнал на выходе инструментального усилителя отсутствует, а значение потенциала компенсации поддерживается интегратором. При нарушении равенства $U_{\text{комп}} = U_{\text{КРП}}$ конденсатор зарядится и на нем появится переменный потенциал, в зависимости от фазы которого, фазочувствительный детектор формирует потенциал компенсации таким образом, чтобы равенство $U_{\text{комп}} = U_{\text{КРП}}$ восстановилось. Таким образом, измеритель непрерывно отслеживает изменение КРП между эталонным и измеряемым образцами по фазе, значение КРП может быть измерено или записано с помощью соответствующего внешнего регистратора.

Для возбуждения механических колебаний эталонного образца возможно использование механических, электромагнитных, электростатических и пьезоэлектрических модуляторов. Электростатические и пьезоэлектрические модуляторы не получили широкого распространения при измерениях КРП. Их недостатком является высокое переменное напряжение, требующееся для их работы, что создает значительный уровень помех, а также низкая механическая прочность, что затрудняет их использование в условиях повышенных вибраций. При построении измерителя КРП использован электромеханический модулятор. Для обеспечения высокой амплитудно-фазовой стабильности используется модернизированный генератор с мостом Вина. Захват и поддержание частоты механического резонансного колебания осуществляется без традиционно используемого датчика колебаний.

Учитывая предельно малые сигналы с измерительного динамического конденсатора, предварительный усилитель выполнен по схеме преобразователя ток-напряжение на базе современных инструментальных усилителей с фемтоамперными входными токами. Применение во входном каскаде измерителя второго операционного усилителя позволяет отказаться от традиционного разделительного конденсатора и позволяет уменьшить постоянную времени цепи автокомпенсации, тем самым повысить скорость одного измерения КРП.

Питание предусилителя выполнено с «плавающей землей», что позволяет сохранить соот-

ношения потенциалов компонентов зонда неизменными при изменении напряжения компенсации в широком диапазоне.

Фазовый детектор-интегратор выполнен на основе противофазно коммутируемых с частотой модуляции КРП электронных ключей и интегратора. Двухполупериодное фазовое детектирование позволяет в значительной степени повысить чувствительность. Фазовое детектирование также позволяет подавлять помехи и наводки с частотами, отличными от частоты модуляции.

Для уменьшения влияния электромагнитных наводок и шумов, а также устранения микрофонного эффекта (детектирования паразитной КРП между исследуемой поверхностью и подводящими проводами, вибрирующими вместе с эталонным образцом), предварительный усилитель вместе с эталонным образцом смонтирован на гибкой печатной плате (материал платы – фторопласт армированный керамикой AR350 фирмы *ARLON*). Конец платы механически соединен с вибратором. Внешний вид платы предусилителя КРП вместе с зондом приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид платы предусилителя контактной разности потенциалов

Модулятор и фазовый детектор-интегратор размещены на отдельной плате (рисунок 3), на которой также смонтирована развязка по питанию. Питание генератора осуществляется непосредственно от внешнего двуполярного источника $\pm 12\text{В}$, а остальная схема питается напряжением $\pm 8\text{В}$ от встроенных микромощных стабилизаторов напряжения.



Рисунок 3 – Плата модулятора и фазового детектора-интегратора (совместно с платой предусилителя образует законченный электронный блок измерителя КРП)

Остальные электронные узлы, также размещены в непосредственной близости к предварительному усилителю на общем заземленном основании. При этом соблюдено следующее правило: блоки генератора, вырабатывающие сигналы возбуждения для колебательной сис-

темы динамического конденсатора размещены на верхней части основания. Заземленное основание играет также роль электромагнитного экрана. При этом основное подавление помех обеспечивается за счет фазового детектирования сигнала, а экранирование играет вспомогательную роль.

Основными преимуществами разработанного измерителя КРП по сравнению с аналогами явля-

ется существенно уменьшенные размеры, относительная простота и не высокая себестоимость, улучшенное соотношение сигнал/шум. В совокупности это имеет высокое значение для применения разработанных измерителей в системах сканирования потенциала поверхности, а также при контроле различных технологических процессов.

УДК 614.842

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Мисюкевич Н.С.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Логика зонирования объекта следует из необходимости реализации планов эвакуации. План эвакуации является документом, который невозможно грамотно составить вне логики управления процессом эвакуации. Получается, что план эвакуации является составной частью документации системы пожарной сигнализации, оповещения о пожаре и управления эвакуацией (СПС-СОУЭ). Определив понятия и логические связи можно достичь понимания, что СПС-СОУЭ предназначена для обеспечения своевременной эвакуации путем реализации планов эвакуации.

Основным условием для выделения зон звукового и речевого оповещения является акустическая изоляция от других зон этого назначения. Соблюдение требований по максимально допустимой неравномерности звукового поля (10 дБ) диктует необходимость размещения оповещателей на определенном расстоянии. Существенное влияние на распространение звука оказывают акустические характеристики строительных конструкций. В виду этого реальное расстояние и характер изменения звукового давления существенно отличается от данных, представленных в технических нормативных правовых актах (ТНПА). Целесообразно определять условия распространения звука используя соответствующее измерительное оборудование (шумомеры). Учитывая, что конструкция дверей и перегородок, как правило, снижает звуковое давление более 10 дБ, оповещатели следует устанавливать во всех помещениях возможного пребывания людей.

Критерием безопасности эвакуации является соблюдения соотношения

$$t_p \leq t_n - t_c, \quad (1)$$

где t_p – расчетное время эвакуации; t_n – необходимое время эвакуации; t_c – время свободного развития пожара до начала эвакуации.

Возможность объединения нескольких помещений в одну зону управления эвакуацией определяется вышеприведенным соотношением. Об-

щими мотивами выделения помещения или группы помещений в отдельную зону может служить сочетание следующих факторов:

– в зоне требуется оповещение отличное от соседних зон;

– время начала оповещения для зоны является индивидуальной величиной, зависящей от места возникновения пожара;

– зона оповещения выделена в здании архитектурно-строительными элементами.

С учетом изложенного, дадим определение зоны оповещения. Зона оповещения – часть пространства в помещении, помещение или группа помещений в здании, для которых характерно выделение архитектурно-строительными элементами, необходимость индивидуальных видов сигналов (текстов) оповещения и (или) отличное от соседних зон время начала оповещения.

Если этаж имеет два и более эвакуационных выхода, то с учетом необходимости движения в сторону, противоположную очагу горения и возможности блокирования одного из них ОФП, этаж следует разделять на две и более зоны оповещения.

При совпадении пространственного расположения зон функционирование СПС-СОУЭ упрощается, к этому стоит стремиться. Несколько зон контроля опасных факторов пожара могут объединяться в одну зону эвакуации при соблюдении условия (1). Они являются зависимыми от результатов расчета безопасных условий (1) эвакуации. Зоны оповещения и управления эвакуацией могут соответствовать зонам контроля ОФП, а могут и объединяться.

Проектирование путей эвакуации или проверка их соответствия при реконструкции зданий прямо связана с проектированием и функционированием СОУЭ. Выделение зон оповещения и грамотная разработка алгоритмов оповещения позволяют организовать безопасную вынужденную эвакуацию путем управления процессом эвакуации, в отличие от увеличения ширины эвакуационных путей, кото-

рое обычно требуется при одновременном оповещении и эвакуации всех находящихся в здании людей. Чем больше объем здания, тем более актуальна эта задача.

Возможность ограничивать концентрацию людских потоков на общих путях эвакуации: в коридорах, холлах, фойе, лестничных клетках и вестибюлях, достигается управлением людскими потоками с использованием принципа их разделения на зоны оповещения и неодновременностью оповещения о пожаре.

При слиянии людских потоков увеличивается интенсивность движения, плотность потока и уменьшается скорость движения. Для обеспечения беспрепятственности движения необходимо чтобы интенсивность движения оставалась ниже максимальной. Если при расчете будет получено значение интенсивности движения за пределами начальных участков выше максимальной, необходимо ее уменьшить для обеспечения беспрепятственного движения. Задача снижения интенсивности движения может быть решена увеличением ширины путей эвакуации или за счет разделения здания на зоны оповещения и задержки начала оповещения определенных зон в зависимости от места возникновения пожара.

Использование результатов расчета необходимого и расчетного времени эвакуации позволяет прогнозируемо регулировать плотность людского потока на путях эвакуации и грамотно управлять процессом эвакуации, регулируя время задержки оповещения. Задержка оповещения, сформированная таким образом, что часть людского потока из зоны управления эвакуацией попадает на общий путь эвакуации после его освобождения другими людьми, позволяет организовать движение без слияния потоков, увеличения плотности и обеспечить формирование непрерывного людского потока при его докритической плотности, избегая задержек процесса эвакуации (при превышении критической плотности потока). Превышение критической плотности потока на горизонтальных участках, даже при наличии пространства для накопления людей, приведет к резкому снижению скорости эвакуации.

Управление эвакуацией должно осуществляться одновременно:

- включением эвакуационного освещения и световых указателей направления эвакуации;
- обеспечением открывания всех дверей эвакуационных выходов;
- передачей по системе оповещения специально разработанных текстов, направленных на предотвращение паники и других явлений, усложняющих процесс эвакуации (скопление людей в проходах и т.п.);
- трансляцией текстов, содержащих информа-

цию о необходимом направлении движения.

Важным фактором, который следует учитывать, являются психологические особенности людей. Человек, оставив вещи в гардеробе, будет стремиться их получить на выходе из здания. Целесообразно проектировать маршрут движения эвакуирующихся с учетом пропускной способности гардероба и путей эвакуации в зоне его расположения. Кроме того, следует учитывать сложившуюся привычку использовать определенные пути эвакуации. Во время вынужденной экстренной эвакуации следует увеличивать численность обслуживающего персонала для исключения задержек потока людей. С учетом этих особенностей возможна задержка оповещения отдельных зон для обеспечения безопасной эвакуации людей из здания. Запасные пути эвакуации можно задействовать при невозможности использования основных или для обеспечения необходимого времени эвакуации. При этом следует предусматривать дополнительные сигналы оповещения для обращения внимания людей на необходимость использования запасных путей эвакуации.

При формировании речевых сообщений целесообразно акцентировать внимание на месте обнаружения ОФП для более быстрого получения оперативным персоналом ответной реакции. Для этого в зоне пожара для эвакуации включать соответствующую фонограмму, например: «Пожар в зоне расположения помещения. Покиньте зону, используя основной путь эвакуации. Свяжитесь с оперативным персоналом по вызывному устройству». В отличие от этой ситуации для других зон формировать фонограмму типа: «Пожар на объекте. Покиньте здание, руководствуясь планом эвакуации и световыми сигналами направления движения».

Фонограммы включаются на расчетное время движения в конкретной зоне, затем фонограмма в этой зоне отключается и включается фонограмма следующей зоны. С одной стороны, это позволяет оценивать людям степень опасности ситуации (успевают ли они двигаться с заданной скоростью), место возникновения пожара (в данной зоне или другой) и необходимость связаться с оперативным персоналом. С другой стороны, более эффективно действовать оперативному персоналу в случае ложного сигнала о пожаре, уменьшая нарушения привычной жизнедеятельности (образа деятельности) людей путем отмены эвакуации, и объективно оценивать учебные тренировки по эвакуации, как службе безопасности, так и эвакуирующимся. Полученная информация позволяет оперативно проводить корректирующие мероприятия.

Оценка безопасности эвакуации людей путем анализа соответствия расчетного и необходимого времени эвакуации из помещений показывает, что возможность предварительного уведомления

о необходимости эвакуации обслуживающего персонала объекта, а затем людей, находящихся в зоне оповещения, в одном из помещений которой произошел пожар, существует, как правило, в течение не более 1 мин. В виду этого, подтверждение достоверности факта пожара с использо-

ванием обслуживающего персонала возможно лишь для включения системы оповещения других (соседних с зоной пожара) зон. Наиболее неблагоприятная ситуация для эвакуации людей складывается при появлении ОФП в коридоре.

УДК 614.842

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛЛОННЫХ УСТАНОВОК ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Мисюкевич Н.С., Мисюченко И.Р.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Проектирование установок газового пожаротушения в Республике Беларусь осуществляется по ТКП 45-2.02-190-2010 [1], который несет в себе справочную информацию параметров газовых огнетушащих веществ. Данный технический нормативный правовой акт (ТНПА) дает только методику расчетов массы газовых огнетушащих веществ (ОВВ) для газовых установок пожаротушения при тушении объемным способом. Для проектирования газовых установок пожаротушения с хранением огнетушащих составов в модулях при переменной температуре окружающей среды справочной информации ТНПА и методики расчета установок с изотермическими емкостями недостаточно.

Для проектирования требуется разработка параметров и методики расчета установок на основе газовых огнетушащих веществ (в том числе использующих галлоны 114В2, 13В1, диоксид углерода и углекислотно-хладонный состав). Для расчетов в зависимости от поставленной цели могут приниматься различные варианты гидравлического расчета распределительной сети установок. Для проектирования баллонных установок газового пожаротушения требуется расширить методику расчета. В ТНПА не описаны принципы формирования проточной части трубопроводной разводки. Важную роль при проектировании имеет гидравлический расчет. Данный расчет в практике других стран включает в себя два этапа. На первом этапе проводится предварительный расчет в целях формирования проточной части распределительной сети. На втором этапе расчетным путем оценивается соответствие спроектированной разводки требованиям ТНПА по продолжительности подачи огнетушащего вещества. Необходимо разработать методику расчета параметров, отсутствующих в настоящее время в ТНПА.

Определена цель, позволяющая ликвидировать пробелы нормативного регулирования вопросов проектирования установок газового пожаротушения: разработать методику расчета баллонных установок газового пожаротушения.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- определить параметры гидравлического расчета;
 - исследовать однофазное и двухфазное течение газовых составов в проточной части трубопроводной разводки;
 - составить перечень параметров, необходимых и достаточных для расчета установок на основе газовых огнетушащих веществ (в том числе на основе галонов);
 - определить критерий оптимизации расчета клапана сброса избыточного давления.
- Исходя из технической и экономической эффективности [2] определены объекты целесообразного применения газового пожаротушения. К ним относятся:
- помещения, оснащенные компьютерной и другой дорогостоящей оргтехникой;
 - помещения, морские суда, самолеты и т.п. (с установленным чувствительным или уникальным дорогостоящим технологическим оборудованием);
 - помещения, оснащенные коммутационным, телевизионным и другим оборудованием критически важных объектов информационной сферы;
 - места значительного хранения информационных, культурных и денежных средств, архивы, библиотеки и т.п. объекты;
 - помещения с взрывопожароопасной средой, такие как газоперекачивающие станции, дизель-генераторы, нефтеналивные комплексы и т.п.;
 - объекты, имеющие высокое насыщение электрической проводкой, дорогостоящей электронной техникой, культурно-историческими ценностями;
 - другие объекты, содержащие уничтожаемое пожаром имущество по стоимости существенно превышающей установку и содержание автоматизированной системы пожаротушения, когда применение других огнетушащих веществ несовместимо с задачей их защиты.

Принцип действия установки газового пожа-

ротушения основан на снижении концентрации кислорода за счет вытеснения его в зоне реакции негорючим газом, который выпускается системой, снижении температуры, химическом ингибировании реакции горения. Тушение данной системой возможно на самой ранней стадии возгорания, что фактически гарантирует защиту имущества охраняемого объекта от порчи (уничтожения) огнем.

В результате обобщения зарубежного опыта сформулированы принципы и определена последовательность расчета параметров баллонных установок газового пожаротушения. При проектировании установки осуществляется проектный расчет. В этом случае на основании известной массы газового состава, геометрических длин трубопроводов, взаимного расположения защищаемых помещений и модулей (станции пожаротушения) рассчитывают диаметры трубопроводов и время подачи газового состава в помещение. Проводят расчеты при различных значениях этих параметров, в результате чего определяют оптимальный вариант проточной части распределительной сети, при котором время подачи ОТВ в защищаемое помещение соответствует требованиям ТНПА.

Поверочный расчет проводят в том случае, когда проточная часть установки пожаротушения (длины и диаметры трубопроводов) не может быть изменена. Для этого по известным данным о количестве ОТВ, длинам и диаметрам трубопроводов определяется расчетное время выхода ОТВ в защищаемое помещение. Изменение времени подачи ОТВ в защищаемое помещение в этом случае достигается только изменением давления в модулях и коэффициентов их заполнения.

Кроме того, поверочный расчет используется в качестве второй части при проведении проектного расчета.

Определены необходимые исходные данные для проектного и проверочного расчетов.

Для проектного расчета необходима:

– схема разводки трубопроводов с указа-

нием направлений, длин отдельных участков трубопроводов, модулей (батарей), распределительных устройств и насадков;

– масса огнетушащего вещества, необходимая для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемых помещениях с учетом вида пожарной нагрузки, негерметичности и других параметров, характеризующих помещение;

– нормативное время подачи огнетушащего вещества;

– коэффициенты загрузки модулей (баллонов);

– рабочее давление в модулях (баллонах);

– температура эксплуатации модулей (батарей) в защищаемых помещениях.

Исходными данными для поверочного расчета являются:

– схема разводки трубопроводов с указанием длин отдельных участков, их площадей поперечных сечений, модулей (батарей), распределительных устройств и насадков (в том числе площадей поперечных сечений);

– масса ОТВ, необходимая для создания нормативной огнетушащей концентрации в защищаемом помещении;

– коэффициенты загрузки модулей (баллонов);

– давление в модулях (баллонах);

– средняя температура эксплуатации модулей (батарей).

1. Пожарная автоматика зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования. ТКП 45-2.02-190-2010 (02250). Введ. 01.01.2011. [Электронный ресурс] / Нац. фонд ТНПА. – Минск, 2015. Режим доступа: <http://tnpa.by>. – Дата доступа: 10.09.2016.
- а. Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91. Введ. 01.07.1992. [Электронный ресурс] / Нац. фонд ТНПА. – Минск, 2015. Режим доступа: <http://tnpa.by>. – Дата доступа: 10.09.2016.

УДК 628.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ С РАЗНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Невдах В.В., Антошин А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Выбор пожарных извещателей для проектируемых систем пожарной сигнализации обычно осуществляется на основе нормируемых значений параметров, характеризующих их чувствительность к тому или иному обнаруживаемому ими фактору пожара, который обеспечивает выполнение критериев достижения целей проектируемых систем [1]. Известно, что пожарные извещатели имеют разную чувствительность к одному и тому же фактору пожара (например, к дыму) при пожарах разных классов. Поэтому, для построения эффективной системы противопожарной защиты объекта необходимо иметь классификацию пожаров по степени их пожарной опасности и способам обнаружения таких пожаров.

В качестве признака классификации пожаров по степени их опасности можно использовать критическую продолжительность пожара, в течение которой достигается предельно допустимое значение опасного фактора пожара в установленном режиме его изменения, величину пространства, на которое распространяется пламенное горение, либо скорость роста тепловыделения. Все эти признаки присутствуют при пожарах в помещениях с естественной вентиляцией [2].

В настоящей работе проведено компьютерное моделирование развития пожара в помещении с разными условиями естественной вентиляции. Моделирование пожара осуществлялось с помощью программы FDS, в которой численно решаются модифицированные уравнения Навье-Стокса для тепломассопереноса при горении в выбранные моменты времени для каждой ячейки пространства в прямоугольной системе координат [3, 4]. Результаты моделирования отображались программой визуализации Smokeview и представлялись в виде таблиц с численными значениями контролируемых параметров пожара. С помощью специального графического интерфейса PyroSim в расчетной сетке, состоящей из кубических ячеек с ребром 0.1 м, была создана модель помещения – комнаты с внутренними размерами 5×4.6×2.4 м, имеющая выходную дверь размерами 0.9×2 м, ведущую в коридор (см. рисунок 1). В комнате располагалась мебель из горючего материала – диван, три кресла разных размеров, коврик. В качестве горючего материала был выбран полиуретан, динамика горения которого и изучалась при различных условиях вентиляции. Поджигающим источником (burner) служила плоская

поверхность площадью 0,01 м² с тепловыделением 10 кВт, которая помещалась на поверхности дивана. Дверь была разделена по высоте на 4 одинаковые части, которые могли открываться независимо и создавать различные условия по высоте расположения вентиляционного отверстия и по его площади. Для этой же цели использовалась и часть стены над дверью.

На рисунке 1 представлены зависимости тепловыделения пожара в комнате с различными условиями вентиляции через выходную дверь. Видно, что пожар в помещении с открытой дверью развивается с наибольшей скоростью тепловыделения и после 800-й секунды выходит на квазистационарный режим с тепловыделением ~ 4000 кВт.

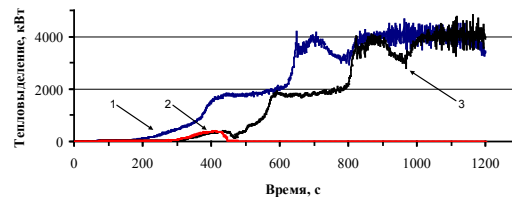


Рисунок 1 - Зависимости тепловыделения пожара в комнате от времени при открытой двери (1), закрытой двери (2) и при открытой двери начиная с 470 с (3)

В отсутствие естественной вентиляции – дверь в помещении закрыта – развитие пожара начинается более чем на 100 с позже, и распространение пламенного горения полностью прекращается примерно на 475-й секунде из-за недостатка кислорода. Если на этапе затухания пожара (на 470-й секунде) дверь открывается, то приток свежего кислорода через дверной проем обеспечивает развитие пожара сначала с большей скоростью тепловыделения, чем при открытой двери, а затем пожар выходит на тот же квазистационарный режим тепловыделения ~ 4000 кВт, что и пожар в помещении с открытой дверью.

Рисунок 2 иллюстрирует различия в динамике тепловыделения пожаров в комнате с вентиляционными отверстиями, площадь которых меньше площади двери и которые располагались на разной высоте над уровнем пола. Видно, что величина тепловыделения при пожаре и скорость его нарастания определяется, в основном, площадью вентиляционного отверстия.

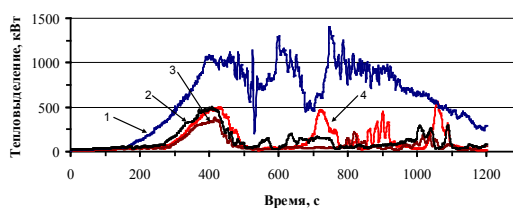


Рисунок 2 – Зависимости тепловыделения пожара от времени в комнате с вентиляцией через: верхнюю половину двери (1), отверстие над дверью (2), отверстие на высоте 1 м (3), отверстие от уровня пола (4)

Из рисунков 1 и 2 видно, что во всех случаях реализуется сценарий пожара, контролируемого окислителем. При площади вентиляционных отверстий, меньших, чем площадь дверного проема, режим пожара с квазистационарным тепловыделением не реализуется на временах моделирования – 20 минут.

На рисунках 3 и 4 показаны для сравнения картины распространения пламенного пожара в комнате с различными условиями вентиляции в разные моменты времени.

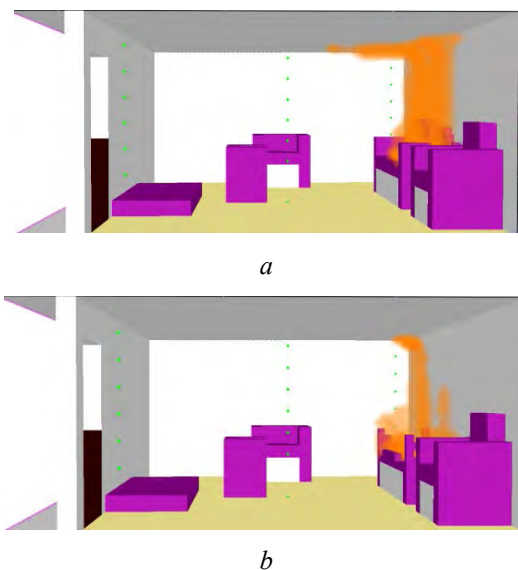


Рисунок 3 – Картины распространения пламенного пожара в комнате с вентиляцией через открытую верхнюю половину дверного проема на 700 с (a) и 1200 с (b)

Из рисунков 4 (b, c) видно, что даже этап пожара с максимальным тепловыделением, реализуемый в рассматриваемой модели помещения с максимальной естественной вентиляцией через открытую дверь, не является этапом полного охвата помещения пламенем.

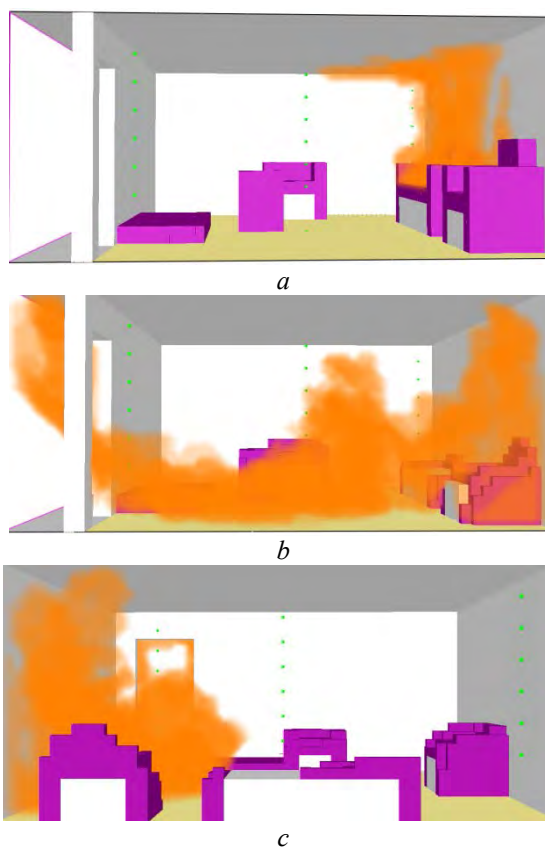


Рисунок 4 – Картины распространения пламенного пожара в комнате с вентиляцией через открытую дверь на 700 с (a) и 1200 с (b) и (c)

Таким образом, в работе проведено компьютерное моделирование пожара в помещении с разными условиями естественной вентиляции. Показано, что во всех случаях пожар протекает по сценарию пожара, контролируемого окислителем, степень опасности пожара определяется условиями вентиляции и при используемых параметрах помещения наиболее опасный этап пожара – этап полного охвата помещения пламенем – не достигается.

1. Антошин А.А. Актуальность изменения идеологии проектирования СПА. Эффективные технические средства обнаружения пожара в помещении. Технологии безопасности, №4(37) 2014, с. 13-15.
2. Drysdale D. An Introduction for Fire Dynamics. Third edition. Willey, 2011. – 551 p.
3. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model, NIST Special Publication 1018-5 / K. McGrattan [et al.]. –Gaithersburg, MA, 2009. – 94 p.
4. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide, NIST Special Publication 1019-5 / K. McGrattan [et al.]. Gaithersburg, MA, 2009.– 176 p.

УДК 535:621.375

ЛАЗЕРНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Nd:YAG С ПОПЕРЕЧНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ И ПАССИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Орехов К.А., Кулешов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Существующие на данный момент лазерные излучатели для дальнометрических систем, работающие без охлаждения, обладают рядом недостатком: низкая энергия выходного излучения, высокая расходимость, и значительные габаритные размеры. Все это накладывает ряд ограничений на дальность и точность измерения, а также возможность использования в приборах с габаритным ограничением.

В рамках исследования произведено теоретическое и экспериментальное моделирование лазерного излучателя с диодной накачкой, работающего без системы охлаждения как активного элемента, так и системы накачки, обеспечивающего расходимость на уровне дифракционной при энергии в импульсе 190 мДж и длительности импульса 4-8 нс. В системе задается лишь стартовая температура базовой поверхности излучателя, полный цикл работы 8 минут при частоте следования импульсов 2 Гц. Лазерный излучатель построен по схеме с перестраиваемым квазителескопическим резонатором. Резонатор образован плоским выходным зеркалом, вогнутым глухим зеркалом и отрицательной плоско-вогнутой линзой. Линза предназначена для перестройки резонатора на границу устойчивости, что обеспечивает минимальную расходимость на выходе резонатора (рисунок 1).

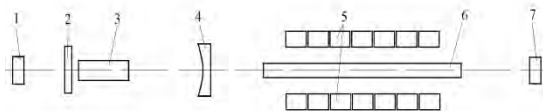


Рисунок 1 – Схема резонатора:

1 – глухое зеркало; 2 – четвертьволновая пластинка; 3 – электрооптический затвор; 4 – рассеивающая линза; 5 – матрицы лазерных диодов; 6 – активный элемент; 7 – выходное зеркало

На рисунке 2 приведена теоретическая зависимость размера перетяжки внутри резонатора в зависимости от радиуса глухого зеркала и фокусного расстояния внутрирезонаторной линзы. Кроме того продольное перемещение линзы обеспечивает согласование размера нулевой моды резонатора с диаметром активного элемента.

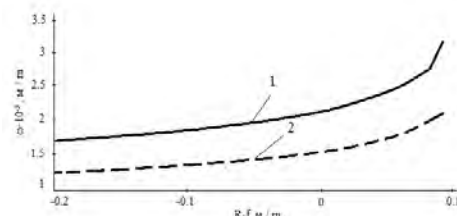


Рисунок 2 – Зависимость радиуса моды внутри резонатора от разности радиуса кривизны глухого зеркала и фокусного расстояния внутрирезонаторной линзы:

1 – $R = 10$ м; 2 – $R = 5$ м

В качестве глухого выбрано зеркало с радиусом кривизны 10 м и коэффициентом отражения 99.95 %, фокусное расстояние отрицательной линзы составляет 10 м, коэффициент отражения выходного зеркала 25 %. В качестве активного элемента использовался кристалл Nd:YAG диаметром 5 мм и длиной 100 мм.

Второй задачей при построении излучателя является разработка системы накачки (квантрон) с высоким кпд оптического преобразования, и равномерным распределением поглощения энергии накачки внутри активного элемента. Квантрон должен обладать высокой теплоемкостью, чтобы обеспечивать стабильную работу в течение всего рабочего цикла. С этой целью было проведено теоретическое моделирование одно-сторонней, двусторонней и трехсторонней систем накачки. В качестве оптимальной выбрана схема трехсторонней накачки с тремя клиновидными концентраторами с золотым напылением (рисунок 3).

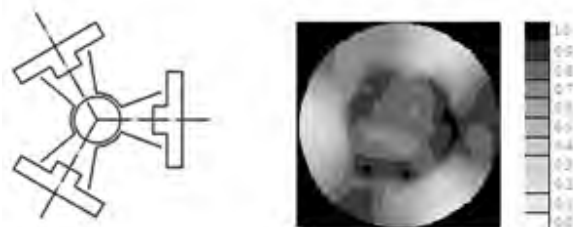


Рисунок 3 – Распределение поглощенной энергии накачки в активном элементе при трехсторонней системе накачки с клиновидными концентраторами

На основании модели, разработан квантрон. В качестве элементов накачки использовались матрицы лазерных диодов в количестве 21, каждая мощностью 500 Вт. Компоновка матриц по спектральным характеристикам производилась в случайном порядке, разброс центральной волны излучения матриц 806-809 нм. В качестве материала корпуса квантрона использовался дюраль. Крепление активного элемента в квантроне осуществляется посредством клея Эласил в центральной его части. Клей выполняет как функцию крепления активного элемента, так и функцию теплопереноса. Моделирование в программной среде ANSYS показало, что за полный рабочий цикл при таком типе крепления активного элемента, его нагрев не превысит 15⁰C [1].

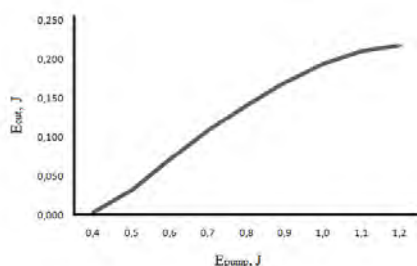


Рисунок 4 – Зависимости выходной энергии лазера от энергии накачки в режиме моноимпульса

На базе теоретической модели разработана экспериментальная модель лазерного излучателя. В качестве модулятора добротности использовался кристалл DKDP с пропусканием 92%. На

рисунке 4 приведена экспериментальная зависимость энергии на выходе лазерного излучателя от накачки в режиме активной модуляции добротности.

При энергии накачки в 0.93 Дж энергия на выходе излучателя составила 195 мДж при длительности импульса 6.6 нс. Расходимость на выходе излучателя не превысила 0.7 мрад. Дальнейший рост энергии накачки приводит к минимальному увеличению выходной энергии и росту расходимости излучения. При стартовой температуре 18⁰C за полный рабочий цикл в 8 минут изменение расходимости не наблюдается. При температуре запуска в 20⁰C наблюдается рост расходимости в пределах 0.08 мрад, при температуре запуска 23⁰C наблюдается значительный рост расходимости и изменения модового состава в течении цикла работы, что связано со смещением спектра излучения матриц и перераспределением поглощенной энергии накачки внутри активного элемента. Оптимальной с точки зрения стабильности параметров излучения является работа матриц накачки с пиком излучения в пределах 804-806 нм, так как, с учетом ширины спектра излучения 2.5 нм, эффективный коэффициент поглощения энергии накачки изменяется в пределах 10%.

1. Орехов К.А. Моделирование лазерного излучателя на основе Nd:YAG с пассивным охлаждением для измерения расстояний. – Приборы и методы измерений. 2016. – Т. 7, № 1. – С. 50-57

УДК 681.2.08

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА ОТ ПОТЕНЦИАЛА КОМПЕНСАЦИИ В МЕТОДЕ КЕЛЬВИНА–ЗИСМАНА

Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Динамический конденсатор Кельвина–Зисмана широко применяется в устройствах различного назначения: сканирующие зонды Кельвина (*Scanning Kelvin Probe*), устройства контроля поверхности при различных воздействиях (механическая обработка, трение, температура, адсорбция/десорбция и т.д.), датчики газов и жидкостей и др. Принципы их построения достаточно хорошо проработаны. Однако остаются и недостатки. К их числу относятся: высокая предельная погрешность, длительное время одного измерения и низкая чувствительность.

В методе Кельвина–Зисмана поверхности эталонного и измеряемого образца образуют конденсатор, между которыми измеряют контакт-

ную разность потенциалов (КРП). Одна из обкладок (как правило, эталонная) колеблется под действием электромеханического вибратора. Вследствие различия работ выхода электрона материалов обкладок конденсатора, он будет иметь заряд пропорциональный КРП:

$$Q = C \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{e} = CU_{\text{КРП}}, \quad (1)$$

где: C – электрическая емкость конденсатора, φ_1 и φ_2 – работа выхода электрона поверхностей эталонного и измеряемого образца, соответственно, e – заряд электрона, $U_{\text{КРП}}$ – КРП.

Периодические изменения емкости создают переменный ток в цепи динамического конденсатора:

$$i(t) = U_{\text{КРП}} \frac{dC(t)}{dt} \quad (2)$$

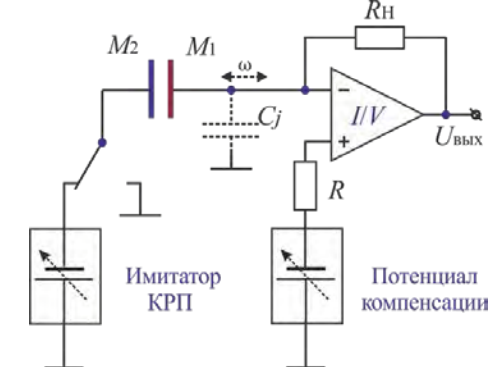
Измерительная процедура заключается в задаче на одну из пластин внешнего постоянного потенциала $U_{\text{комп}}$ для компенсации КРП.

В случае полной компенсации переменный ток уменьшается до нуля (3), а по значению внешнего компенсирующего потенциала определяют КРП.

$$i(t) = (U_{\text{КРП}} + U_{\text{комп}}) \frac{dC(t)}{dt} = 0 \quad (3)$$

В современных измерительных системах, потенциал компенсации вырабатывается автоматически с помощью специальных приборов (фазовые детекторы (*Lock-in*) и интеграторы). Как и в любой следящей системе, точность измерения КРП зависит от постоянной времени цепи обратной связи, которая включает интегратор. На практике время установления нулевого сигнала достигает несколько секунд. Скорость измерения имеет существенное значение в системах сканирования потенциала поверхности.

Кроме того определение нулевой амплитуды сигнала $i(t) = 0$, сопряжено с целым рядом погрешностей (собственные шумы, электромагнитные наводки, паразитные динамические конденсаторы, образованные зондом и конструктивными элементами), которые в совокупности определяют чувствительность зонда.



C_j – паразитные динамические конденсаторы, образованные вибрирующим зондом и элементами измерителя

Рисунок 1 – Функциональная схема установки для исследования параметров компенсационной зависимости измерительного сигнала от потенциала компенсации

Если рассматривать динамический конденсатор Кельвина-Зисмана, как идеальный, то уравнение (3), описывающее переменный ток в цепи, можно представить в виде линейной функции:

$$i(t) = a + bU_{\text{комп}}, \quad (4)$$

где $a = U_{\text{крп}} \frac{dC}{dt}$, $b = \frac{dC}{dt}$.

В этом случае, задача определения нулевой амплитуды сигнала сводится к решению простого линейного уравнения.

Исследования в рамках модели формирования зависимости выходного сигнала от потенциала компенсации проводили на специально разработанном макете, функциональная схема которого приведена на рисунке 1. Макет включает динамический конденсатор, источник постоянного потенциала компенсации и имитатор КРП. Подавая поочередно фиксированные значения потенциала компенсации ($B_1 \dots B_n$) на одну из обкладок измерительного динамического конденсатора, можно построить зависимость переменного сигнала на выходе от потенциала компенсации, т.е. $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{комп}})$ (рисунок 2).

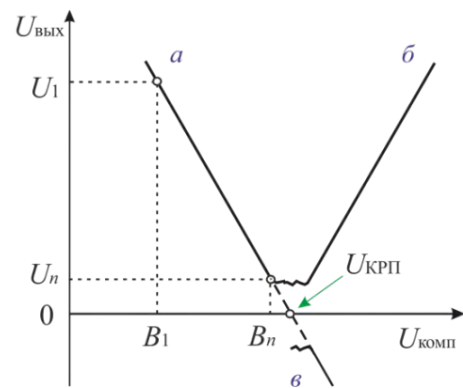


Рисунок 2 – Схематичное представление компенсационная зависимость выходного сигнала от потенциала компенсации (а) при фазовом (б) и амплитудном (в) детектировании

Исследования показали (рисунок 2), что при использовании фазового детектирования выходной сигнал линейно уменьшается с приближением напряжения компенсации $U_{\text{комп}}$ к КРП $U_{\text{крп}}$ (ветвь а). В идеальном случае, ветвь а пересекает ось абсцисс в точке $(U_{\text{комп}} + U_{\text{крп}} = 0)$. При дальнейшем повышении напряжения компенсации, полярность пластин конденсатора изменяется на противоположную, и, соответственно, фаза выходного сигнала изменяется на 180° (ветвь б).

В случае амплитудного детектирования (ветвь в) выходной сигнал после достижения нуля линейно возрастает, и компенсационная зависимость приобретает характерный V-образный вид. Таким образом, ветви б и в зависимости симметричны относительно оси абсцисс. Получить идеальную V-образную компенсационную зависимость практически невозможно (рисунок 2). В окрестности точки компенсации из-за влияния паразитных факторов соотношение сигнал/шум становится меньше единицы. Таким образом, существует область неопределенности и значительная погрешность.

Следует учитывать, что вклад в соотношение сигнал/шум будут вносить как постоянные погрешности (собственные шумы, различные электромагнитные наводки и др.), не зависящие от точки компенсации, так и зависящие от потенциала компенсации составляющие погрешность от паразитных КРП [1]. Тогда минимальное значение U_n (рисунок 2) до которого можно скомпенсировать выходной сигнал и, следовательно, погрешность измерения КРП будет являться функцией от потенциала компенсации.

Для экспериментального уточнения зависимости минимальной погрешности от потенциала компенсации необходимо построить функцию $U_n = f(U_{\text{комп}})$. Это удобно сделать с помощью дополнительного источника постоянного потенциала, имитирующего КРП (рисунок 1). При этом для исключения влияния паразитных электромагнитных наводок, измерение U_n необходимо осуществлять на частоте модуляции емкости динамического конденсатора.

Результаты моделирования для измерительной установки КРП с коэффициентом преобразования совместно с коэффициентом усиления ($KA = 200$) приведены на рисунке 3. Минимальная погрешность составила 1 мВ при потенциале компенсации 100 мВ.

Настоящая методика может быть использована непосредственно при построении измерительных установок КРП, когда требуется проработка схемотехнического дизайна и взаимного расположения элементов конструкции зонда. В частности, по известной зависимости $U_n = f(U_{\text{комп}})$ может быть уменьшено влияние

паразитных динамических емкостей и последовательное устранение электромагнитных наводок. Также можно зафиксировать потенциал компенсации в области минимальной погрешности и компенсировать выходной сигнал с помощью дополнительного источника постоянного потенциала.

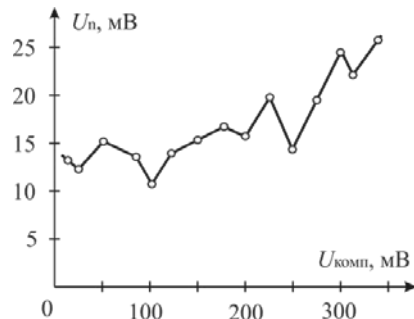


Рисунок 3 – Зависимость некомпенсированного сигнала от потенциала компенсации

С другой стороны, зная параметры линейной зависимости выходного сигнала от потенциала компенсации в режиме «большого», когда соотношение сигнал/шум высоко, можно методом линейной аппроксимации вычислить нулевую амплитуду сигнала. В этом случае погрешность от неполной компенсации может быть полностью исключена и, следовательно, исключена область неопределенности, имеющаяся в традиционных установках для измерения КРП по методу Кельвина-Зисмана.

1. Жарин, А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии. – Мн.: Бестпринт, 1996. – С. 235.

УДК 681.2.08

УПРАВЛЕНИЕ РАССТОЯНИЕМ МЕЖДУ ОБКЛАДКАМИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА В МЕТОДЕ КЕЛЬВИНА–ЗИСМАНА

Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Жарин А.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Динамический конденсатор Кельвина–Зисмана, является одним из наиболее чувствительных методов измерения контактной разности потенциалов (КРП) между поверхностями эталонного и измеряемого образца. Хорошо известно, что на КРП оказывают существенное влияние изменения химического и фазового состава, атомарные дефекты, деформационные процессы в материале поверхностного слоя, десорбция и адсорбция атомов и молекул из окружающей среды. Поэтому измерения пространственного распределения поверхностного потенциала находят широкое применение в практике фундаментальных и прикладных исследований.

Пространственное разрешение метода в основном ограничивается размером эталонной по-

верхности зонда. Как правило, ее поперечные размеры не превышают 1 мм. Емкость динамического конденсатора при этом мала и, соответственно, мал ток в цепи. Из-за влияния ряда паразитных факторов, уменьшается и чувствительность измерений. В тоже время, погрешность измерения КРП методом Кельвина-Зисмана сильно зависит от расстояния между поверхностями зонда и измеряемым образцом [1]. Это связано с перераспределением соотношения сигнал/шум. Для компенсации данного эффекта расстояние между обкладками динамического конденсатора должно быть минимально допустимым и неизменным во всем цикле сканирования поверхности.

Известны несколько способов управления расстоянием между обкладками измерительного динамического конденсатора [2]. Как правило, они предусматривают использование дополнительных контрольно-измерительных приборов. Это накладывает соответствующие ограничения на метод. В настоящей работе на основе метода цифрового измерения КРП [3], предложен новый способ управления расстоянием.

Ток в цепи динамического конденсатора описывается уравнением

$$i(t) = (U_{\text{КРП}} + U_{\text{комп}}) \frac{dC(t)}{dt}, \quad (1)$$

где $U_{\text{КРП}}$ – КРП между поверхностями зонда и измеряемого образца, $U_{\text{комп}}$ – потенциал компенсации, C – электрическая емкость конденсатора.

Модуляция расстояния между обкладками динамического конденсатора описывается гармоническим законом

$$d(t) = d_o + d_m \cos(\omega t), \quad (2)$$

где d_o – расстояние между обкладками динамического конденсатора; d_m – амплитуда вибрации; ω – циклическая частота вибрации,

Тогда временная зависимость электрической емкости динамического конденсатора будет описываться выражением

$$C(t) = \frac{\varepsilon S}{d(t)} = \frac{\varepsilon S}{d_o + d_m \cos(\omega t)}, \quad (3)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды, S – площадь эталонной поверхности динамического конденсатора.

С учетом (3) выражение (1) примет вид

$$i(t) = (U_{\text{КРП}} + U_{\text{комп}}) \frac{\varepsilon \omega S d_m \sin(\omega t)}{(d_o + d_m \cos(\omega t))^2}. \quad (4)$$

Как отмечалось ранее, динамический конденсатор подвержен влиянию ряда паразитных факторов. Наиболее существенно и практически не устранимо влияние паразитных динамических конденсаторов, образованных вибрирующим зондом и конструктивными элементами измерительной головки. В этом случае паразитный сигнал имеет ту же частоту ω и близкую по порядку величины амплитуду U_m , что и полезный сигнал. Тогда потенциал, приложенный к динамическому конденсатору для компенсации КРП, будет определяться выражением

$$U(t) = U_{\text{комп}} + U_m \sin(\omega t). \quad (5)$$

С учетом (5) выражение (4) примет вид

$$i(t) = (U_{\text{КРП}} + U_{\text{комп}}) \frac{\varepsilon \omega S \sin(\omega t)}{(d_o + d_m \cos(\omega t))^2} + \quad (6)$$

$$+ (U_{\text{комп}} + U_{mj}) \varepsilon \omega S \frac{\partial}{\partial(t)} \left(\frac{\varepsilon S \sin(\omega t)}{d_{oj} + d_m \cos(\omega t)} \right),$$

где индекс j относится к элементам конструкции измерительной головки, U_{mj} – паразитная КРП; d_{oj} – расстояние между эталонной поверхностью динамического конденсатора и j -им элементом.

Полагая, что d_o и $d_{oj} \gg d_m$, выражение (6) после дифференцирования может быть упрощено до вида

$$i(t) = (U_{\text{комп}} + U_{\text{КРП}}) \varepsilon \omega S \frac{d_m}{d_o^2} + (U_{\text{комп}} + U_{mj}) \varepsilon \omega S \frac{d_m}{d_{oj}^2}. \quad (7)$$

В выражении (7) первое и второе слагаемое описывают амплитуды полезного и суммарного паразитного сигнала с динамического конденсатора, соответственно. Можно показать, что возникающая при изменении расстояния между поверхностями зонда и измеряемого образца дополнительная погрешность связана с перераспределением соотношения полезного и суммарного паразитного сигналов.

В соответствии с выражением (7), изменение расстояния d_o приводит к соответствующему изменению амплитуды выходного сигнала. Эта зависимость положена в основу предлагаемого способа управления расстоянием между зондом и поверхностью измеряемого образца в методе цифрового измерения КРП.

Цифровой метод измерения КРП (рисунок 1) подробно описан в работе [3]. Он основан на математическом вычислении параметров компенсационной зависимости измерительного сигнала от потенциала компенсации при поочередном определении амплитуд сигнала A_1 и A_2 при заданных значениях потенциалов компенсации B_1 и B_2 , соответственно. Далее КРП рассчитывается из уравнения прямой, проходящей через две несовпадающие точки $A_1(B_1)$ и $A_2(B_2)$.

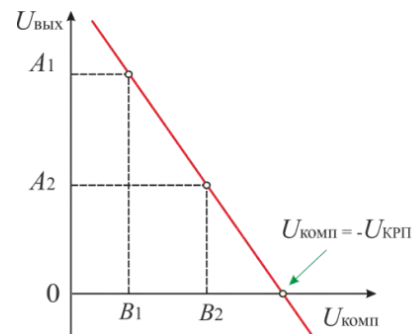


Рисунок 1 – Принцип цифрового измерения контактной разности потенциалов по методу Кельвина–Зисмана.

При изменении расстояния $\Delta d = d_{0\alpha} - d_{0\beta}$ (рисунок 2) между поверхностями эталонного и измеряемого образца (рисунок 2) изменяются амплитуды измерительного сигнала A_1 и A_2 . При этом КРП и, следовательно, потенциал компенсации остаются неизменными.

В этом случае разность между тангенсами углов наклона зависимости измерительного сигнала от потенциала компенсации находится в обратной зависимости от изменения расстояния Δd между обкладками динамического конденсатора:

$$tg\alpha - tg\beta = \varepsilon\omega S d_m \left(\frac{1}{d_{0\alpha}^2} - \frac{1}{d_{0\beta}^2} \right), \quad (8)$$

где α и β – углы наклона компенсационной зависимости от расстояния между обкладками конденсатора $d_{0\alpha}$ и $d_{0\beta}$, соответственно.

В цифровом методе измерения КРП изменение расстояния Δd рассчитывается одновременно со значением КРП в едином измерительном цикле.

Предложенный способ позволяет измерять геометрический профиль поверхности непосредственно в процессе сканирования потенциала поверхности, а также осуществлять автоподстройку расстояния d_0 и автоподвод измерительного зонда к поверхности измеряемого образца.

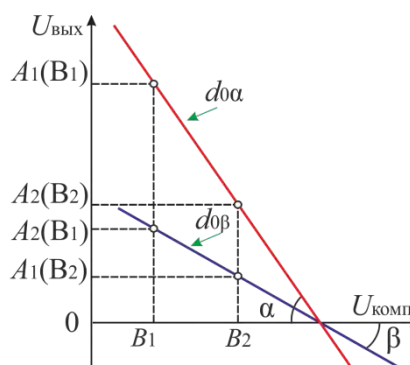


Рисунок 2 – Принцип цифрового определения изменения расстояния между поверхностями эталонного и измеряемого образцов по параметрам компенсационной зависимости

1. Wicinski, M. Lateral resolution in scanning Kelvin probe microscopy / M. Wicinski, W. Burgstaller, A. W. Hassel // Corrosion Science. – 2016. – Vol. 104. – P. 1–8.
2. Blott, B.H. A two frequency vibrating capacitor method for contact potential difference measurement / B.H. Blott, T.J. Lee // Journal of Physics E: Scientific Instruments. – 1969. – Vol. 2, № 9. – P. 785–788.
3. Пантелеев К.В. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев, А.И. Свистун, А. К. Тьяловский, А.Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.

УДК 681.2.08

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЦИФРОВЫМ ЗОНДОМ КЕЛЬВИНА

Пантелеев К.В.¹, Дубаневич А.В.¹, Жарин А.Л.¹, Кравцевич А.В.², Шашура Л.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Гродненский филиал «Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения» ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси»

Гродно, Республика Беларусь

Традиционно, в случае высокоомных материалов, зонд Кельвина применяют для измерения эффективной поверхностной плотности заряда. Этот параметр является интегральным, т.е. содержащим информацию о суммарном поверхностном и объемном потенциале (заряде). На практике особый интерес представляет их разграничение, которое при отсутствии априорной информации о природе потенциала провести крайне трудно.

Дополнительную информацию о том является ли потенциал поверхностным или объемным можно получить в случае контролируемой статической электризации.

В общем случае механизмы статической электризации могут быть связаны с непосредственным осаждением или внедрением в объем поверхностного слоя заряженных частиц при воздействии ионными пучками и/или электрическими разрядами. Другим механизмом является внешнее и внутреннее трение, например, при деформации твердого тела. Естественный технический характер последних вызывает самостоятельный практический интерес, например, при производстве и эксплуатации электретов, изоляторов аэрокосмической аппаратуры, композитов на основе полимеров для пищевой промышленности и т.д.

Применение зонда Кельвина в качестве диагностического и аналитического инструмента при исследовании электростатического поверхностного потенциала диэлектриков является весьма перспективным. Так при работе совместно со сканирующими системами (Scanning Kelvin Probe) зонд Кельвина позволяет поучить информацию о пространственном распределении потенциала по относительно большой площади поверхности с микрометровым пространственным разрешением.

Метод Кельвина основан на измерении контактной разности потенциалов (КРП), возникающей в воздушном зазоре конденсатора, образованного измеряемой поверхностью и эталонным зондом. Традиционный метод является нулевым, что требует подачи на эталонный образец потенциала компенсации, равного потенциалу измеряемой поверхности. В случае статической электризации, потенциал на диэлектрике может достигать значительных величин, достигающих до десятков и сотен вольт. В этом случае скомпенсировать высоковольтную КРП оказывается трудно выполнимым. Поэтому ранее применение традиционного зонда Кельвина для измерения электростатического потенциала высокоомных материалов было ограничено [1].

В настоящей работе разработан новый метод и алгоритмы измерения КРП. Для его реализации используется микропроцессорный зонд Кельвина [2], разработанный в НИЛ ПТ БНТУ.

Метод так называемого «цифрового» измерения позволяет определять КРП в широком диапазоне возможных потенциалов измеряемого образца, что делает его применимым для исследования электростатического потенциала высокоомных материалов. При этом на эталонный образец подаются потенциалы компенсации разумной величины, не превышающие 10 вольт.

Суть метода заключается в математическом вычислении нулевого уровня сигнала из прямой ветви компенсационной зависимости, проходящей через точку, равную КРП (рисунок 1). Для определения параметров компенсационной зависимости выходного сигнала, микропроцессору достаточно задать, как минимум, два различных напряжения компенсации (B_1 и B_2), определить соответствующие амплитуды переменных выходных сигналов (A_1 и A_2) при заданных напряжениях компенсации, и далее из уравнения прямой, проходящей через две не совпадающие точки, вычислить потенциал компенсации при нулевом уровне сигнала.

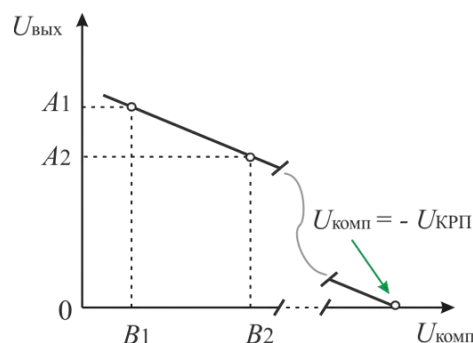


Рисунок 1 – Схематичное представление метода измерения высоковольтного электростатического потенциала (до нескольких сотен вольт) микропроцессорным зондом Кельвина

Предложенный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным методом измерения КРП:

- зонд Кельвина работает в области «больших» сигналов, когда соотношения сигнал/шум высоко. Это априори повышает точность измерения КРП, а также исключает область неопределенности, имеющуюся в традиционных аналоговых зондах Кельвина.

- выходной сигнал в виде массива точек может быть обработан в режиме реального времени средствами *DSP (Digital Signal Processor)* для дополнительного подавления шумов и паразитных гармоник, а также для статистического вычисления амплитуды (среднеквадратического значения или амплитудного значения спектральной линии сигнала после *FFT (Fast Fourier Transform)*). Что в значительной степени позволяет повысить точность определения параметров компенсационной зависимости и, следовательно, точность измерения КРП.

- отсутствует необходимость определения нулевого уровня сигнала и интеграции, для автокомпенсации измеряемой величины, что значительно уменьшает время измерений и исключает погрешности следящей системы и аналого-цифрового преобразования КРП.

Измерительный цикл для случая измерения электростатического заряда состоит из двух последовательных определений амплитуды выходного сигнала при первом и втором значениях напряжения компенсации с последующим вычислением КРП. При этом напряжения компенсации и модуляция периодических колебаний измерительного зонда задаются микроконтроллером с помощью соответствующего драйвера. Обобщенный алгоритм приведен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Измерительный алгоритм микропроцессорного зонда Кельвина

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 3 и 4. В качестве опытных образцов использованы сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА) и композит на основе СЭВА с содержанием в качестве проводящей фазы 5 мас.% углеродного наноматериала (УНМ). Образцы получены в НИЦПР НАН Беларуси.

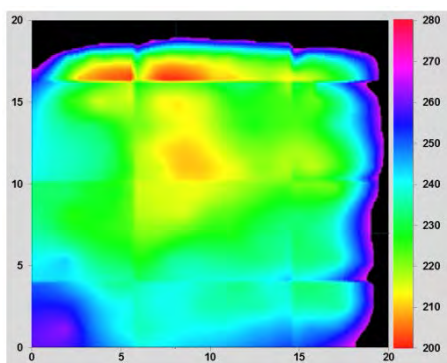


Рисунок 3 – Топология распределения электростатического потенциала у образца СЭВА

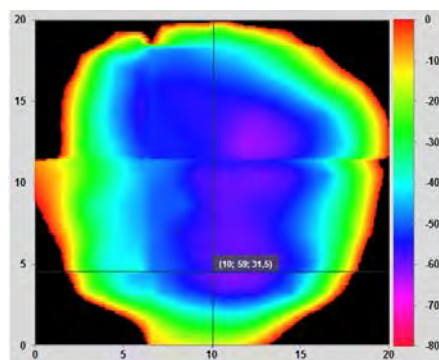


Рисунок 4 – Топология распределения электростатического потенциала у композиционного образца на основе СЭВА с УНМ

У образца СЭВА, характеризующегося диэлектрическими свойствами, электростатический потенциал находится в диапазоне от 200 до 280 мэВ. У композиционного образца СЭВА, наполненного УНМ (в качестве внутреннего антистатика), электростатический потенциал значительно ниже и находится в диапазоне от 0 до – 80 мэВ.

Следует отметить, что неоднородность распределения пространственного заряда может характеризовать не только электрофизические свойства полимеров, но и неравномерность распределения частиц проводящей фазы УНМ в композиционном материале.

1. Subrahmanyam A. The Kelvin Probe for Surface Engineering: Fundamentals and Design / A. Subrahmanyam, S. Kumar. – USA: CRC Press, 2010. – 200 p.
2. Пантелеев К.В. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев, А.И. Свистун, А. К. Тьяловский, А.Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.

УДК 621.316.825

ТЕРМОРЕЗИСТИВНАЯ СИСТЕМА СВЧ ВАТТМЕТРА НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ НИОБИЕВЫХ НАНОСТОЛБИКОВ

Плиговка А.Н., Луферов А.Н., Горох Г.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь,

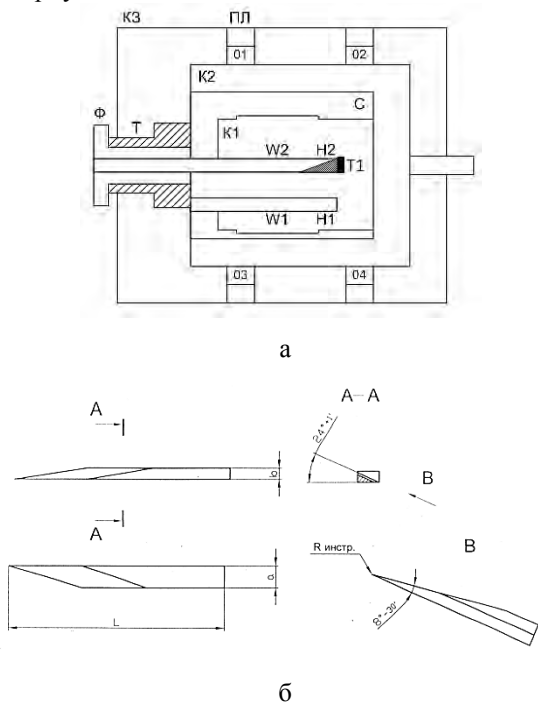
Современные терморезистивные элементы используются в качестве чувствительного элемента calorиметрической системы преобразования СВЧ мощности. Такая система может быть применена в составе эталонного измерителя мощности (ваттметра) [1].

В основу работы системы положен принцип

преобразования мощности СВЧ сигнала в тепловую энергию с последующим измерением величины изменения сопротивления терморезистора, которая пропорциональна падающей на него мощности СВЧ сигнала.

В работах [2, 3] методом магнетронного напыления, электрохимического анодирования и

химического травления были изготовлены и описаны терморезистивные элементы на основе оксидных ниобиевых наностолбиков. Система преобразования на их основе представляет собой выносной блок, соединенный с измерительным прибором (вольтметром), и содержит (рисунок 1а) два тонкостенных никелевых волновода W1 и W2, обращенных медью в нагрузочных частях H1 и H2. Волноводы впаяны в латунный корпус K1.



а – конструкция преобразователя;
б – объемная клиновидная поглощающая нагрузка

Рисунок 1 – Калориметрический преобразователь СВЧ мощности

Волноводы имеют размеры поперечного сечения 2,4x1,2 мм и используются в диапазоне частот 78,33-118,1 ГГц.

Преобразуемая мощность подается на волновод W2. Волновод W1 является опорным, и мощность СВЧ в него не поступает. Волновод W1 можно использовать для целей термокомпенсации изменения температуры окружающей среды. На основной волновод W2 наклеен эпоксидным клеем со слюдяной прокладкой экспериментальный терморезистор T1. Внутри основного волновода W2 расположена объемная клиновидная поглощающая нагрузка (рисунок 1б).

Основной волновод W2 проходит через текстолитовую трубку Т, приклеенную эпоксидной смолой и укрепленную винтами к корпусу K3, и заканчивается фланцем Ф, к которому присоединяется выходной фланец объекта измерения. Волноводы W2 и W1, впаянные в латунный корпус K1, вместе с тепловым экраном представ-

ляют собой волноводный компенсатор, который заключен в дюралюминиевый стакан С, установленный внутри дюралюминиевого корпуса K2. Корпус K2 на опорах O1 и O2 установлен на плите ПЛ внутри кожуха K3.

Для измерения параметров терморезистивной системы используется следующее оборудование:

1. Генератор сигналов высокочастотный программируемый Г4-161;
2. Ваттметр поглощаемой мощности M534;
3. Атенуатор поляризационный;
4. Вольтметр В7-34А.

Для привязки значения сопротивления терморезистора к уровню падающей мощности была собрана схема, состоящая из генератора, аттенуатора и ваттметра поглощаемой мощности. На генераторе был выставлен максимальный уровень мощности. Частота выходного сигнала равна 95 ГГц. Значение ослабления аттенуатора установлено в положение 0 дБ. При помощи ваттметра поглощаемой мощности была измерена величина мощности входного сигнала СВЧ.

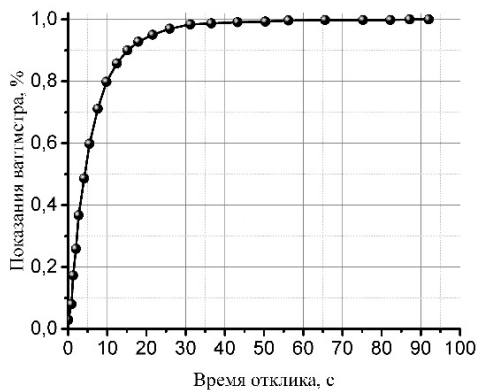
Для измерения сопротивления терморезистора в зависимости от уровня входной СВЧ мощности к выходу аттенуатора была подключена исследуемая преобразовательная система, содержащая экспериментальный терморезистивный элемент. Управляя ослаблением аттенуатора измерялась падающая на систему мощность, и при помощи вольтметр измерялось значение сопротивления терморезистора.

Из рисунка 2 видно, что показания ваттметра достигают величины в 90% от максимальной за период 15,5 секунд, и 99% за период 40 секунд. Исходя из этих данных, применение такого типа системы в ваттметрах СВЧ общего назначения является затруднительным. Однако можно сделать вывод о возможности применения таких терморезистивных чувствительных элементов в приёмных преобразователях для эталонных прецизионных ваттметров, и установок хранения единицы мощности [4].

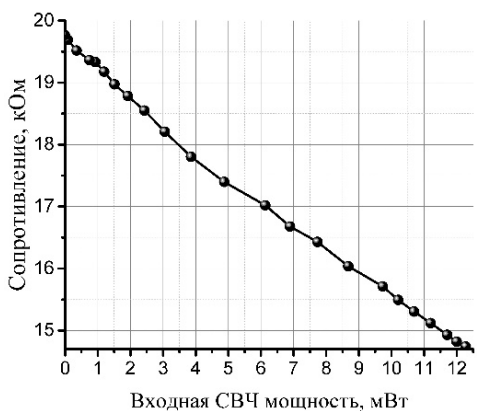
Может быть предложена следующая структурная схема построения эталонного прецизионного ваттметра, использующего чувствительный элемент в форме терморезистора на основе оксидных ниобиевых наностолбиков (рис. 3).

Для реализации такой системы преобразования используются два тонкостенных никелевых волновода толщиной 0,05 мм. Волноводы впаяны в латунный корпус. Пассивная термостабилизация обеспечивается алюминиевыми оболочками, окружающими корпус, и заполнением внутреннего пространства корпуса теплоизоляционным наполнителем. Элементы электрической схемы установлены на волноводных насадках и на печатной плате [2]. На основной и вспомогательный волноводы наклеены эпоксидным клеем со слюдяной прокладкой терморезисторы и рези-

стивные нагреватели, представляющие собой диски диаметром 2,5 и толщиной 0,1-0,15 мм. Выводы элементов припаяны к контактам на печатной плате. Внутри основного волновода расположена объемная клиновидная поглощающая нагрузка. Основной волновод проходит через текстолитовую трубку, посаженную на эпоксидной смоле и укрепленную винтами к корпусу, и заканчивается соединительным фланцем, к которому присоединен входной волноводный переход [4].



а



б

Рисцнок 2 – Зависимость поглощаемой мощности от времени отклика преобразователя при подаче на вход ваттметра мощности СВЧ величиной 10 мВт на частоте 95 ГГц (а) и сопротивления терморезистора от входной мощности ваттметра (б)

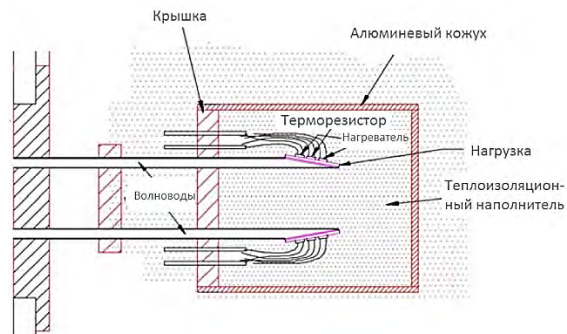


Рисунок 3 – Распределение температурного поля в конструкции сенсора на двухслойной мембране

Построение такой системы должно базироваться на терморезисторах с линейной характеристикой преобразования в максимально широком диапазоне температуры с целью расширения динамического диапазона измерителя мощности, чем и обладают терморезисторы на основе оксидных ниобиевых наностолбиков (рис. 2, б). Уникальность терморезисторов на основе ниобиевых оксидных наностолбиков заключается в возможности изменять их морфологию, наногеометрию и состав путем корректировки условий формирования, тем самым получая требуемые электрофизические характеристики.

1. Vopalens M. et al. // Sensors and Actuators A. 123, 303. (2005).
2. А.Н. Плиговка и др. / В сб. науч. ст. Наноструктуры в конденсированных средах. Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск. (2015). С. 120.
3. А.Н. Плиговка и др. / В сб. тез. докл. V Всероссийского конгресса молодых ученых. Ин-т тепло- и массообмена, Санкт-Петербург. (2016). <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/3197/3197.pdf>.
4. Гусинский А.В. и др. // Метрология и приборостроение. 3, 12 (2010).

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ЦВЕТОКОНТРАСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЗУАЛИЗАТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ КИСЛОТНЫЕ ДОБАВКИ**Попечиц В.И.***Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь*

Растворы органических красителей в органических и неорганических растворителях, а также в полимерных матрицах обладают интенсивными полосами поглощения в оптической области спектра, что указывает на возможность их применения в качестве визуализаторов ионизирующих излучений [1, 2].

При воздействии ионизирующего излучения на растворы красителей происходит их необратимое обесцвечивание, вызванное взаимодействием молекул красителей с кислородсодержащими радикалами и ион-радикалами, образующимися в результате радиолиза растворителей [3, 4]. Многокомпонентные растворы красителей при воздействии ионизирующего излучения могут изменять цвет, что позволяет визуально определить величину радиационной дозы, используя предварительно построенную цветовую градуировочную шкалу [5 – 8].

В данной работе исследовано влияние кислотных добавок (на примере ортофосфорной кислоты – H_3PO_4) на спектральные и цветоконтрастные характеристики трехкомпонентных растворов органических красителей, используемых в качестве визуализаторов рентгеновского и гамма излучения. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода, в которой растворялись два красителя: один поглощал свет в длинноволновой области видимого диапазона длин волн, другой – в коротковолновой. Показано, что кислотные добавки позволяют уменьшить время облучения растворов для регистрации радиационной дозы и улучшить цветоконтрастные характеристики растворов.

Первоначально была исследована химическая стойкость ряда двухкомпонентных водных растворов красителей, перспективных для использования в качестве компонентов визуализаторов ионизирующих излучений. Концентрация растворов красителей составляла $3,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. К 15 мл водного раствора красителя данной концентрации добавлялось 2 мл ортофосфорной кислоты. Спектры поглощения растворов красителей, содержащих кислотную добавку, записывались через определенные промежутки времени на спектрофотометре PV 1251 "Solar". Чтобы исключить фотохимическую деструкцию красителей, растворы хранились в полной темноте, при комнатной температуре.

Для исследования влияния ортофосфорной кислоты на спектральные и цветоконтрастные характеристики облученных растворов были приготовлены трехкомпонентные водные растворы красителей. Смешивались 10 мл водного раствора красителя, поглощающего в длинноволновой области видимого спектра (концентрация $3,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л), и 10 мл водного раствора красителя, поглощающего в коротковолновой области, такой же концентрации. В полученный трехкомпонентный раствор добавлялись 4 мл воды или 4 мл ортофосфорной кислоты, соответственно. Облучение трехкомпонентных растворов, содержащих и не содержащих кислотную добавку, проводилось в пластиковых кюветах на рентгеновской установке «Дрон 2М», при мощности тока, проходящего через рентгеновскую трубку, 200 Вт (напряжение – 20 кВ, ток – 10 мА), при этом соблюдался одинаковый способ установки кювет, для того, чтобы обеспечивать одинаковые условия облучения каждого раствора. Облучение производилось в течение 15 минут. Затем на спектрофотометре PV 1251 "Solar" записывались спектры поглощения облученных растворов.

В качестве примера на рис. 1 приведены зависимости интенсивности максимумов спектров поглощения водных растворов некоторых красителей, содержащих кислотную добавку, от времени хранения, из которого видно, что по химической стойкости к кислотной добавке красители можно условно разделить на три группы: относительно стойкие – концентрация исходного красителя со временем уменьшается незначительно (кривые 1, 2), среднестойкие (кривые 3, 4), не стойкие (кривые 5, 6). Для приготовления визуализаторов ионизирующих излучений на основе многокомпонентных растворов красителей, активированных кислотными добавками, следует использовать красители первой группы.

В качестве примера на рис. 2 представлены спектры поглощения двух облученных трехкомпонентных растворов, содержащих и не содержащих кислотную добавку. Из рис. 2 видно, что скорость радиационной деструкции красителей в растворах, содержащих добавку ортофосфорной кислоты возрастает. Это можно объяснить присутствием в растворе анионов, которые при радиолизе раствора образуют кислородсодержащие

радикалы и ион-радикалы, обладающие высокой химической активностью. Взаимодействие последних с молекулами красителей приводит к нарушению π -электронной цепи сопряжения и смещению полос поглощения этих продуктов реакции в УФ-область спектра, что способствует уменьшению интенсивности длинноволновых полос поглощения растворов в видимой области спектра.

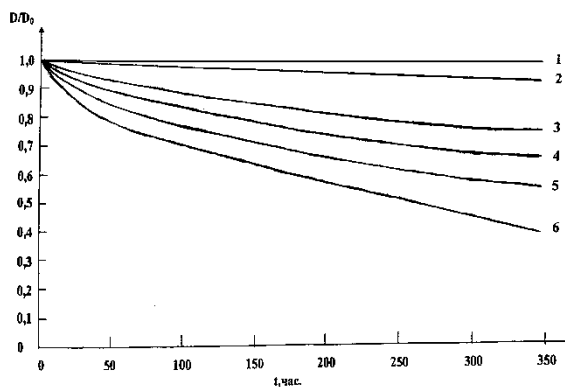


Рисунок 1 – Зависимость нормированной интенсивности поглощения в максимуме длинноволновой полосы (D/D_0) водного раствора метилового оранжевого (1), кислотного желтого светопрочного (2), эозина натрия (3), малахитового зеленого (4), кислотного алого (5), кислотного ярко голубого (6) с добавлением ортофосфорной кислоты от времени хранения раствора в темноте

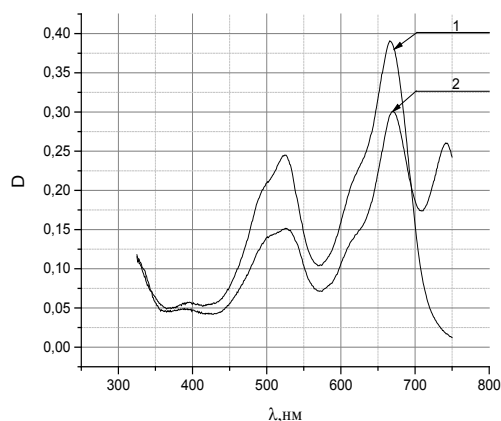


Рисунок 2 – Спектры поглощения трехкомпонентного водного раствора кислотного алого ($\lambda_{\max} = 525$ нм) и метиленового голубого ($\lambda_{\max} = 670$ нм) после облучения рентгеном (1), с добавлением ортофосфорной кислоты (2)

Полученные экспериментальные данные позволили сделать вывод о том, что скорость необратимой радиационной деструкции красителей в водных растворах возрастает при добавлении в

растворы ортофосфорной кислоты. Причем это возрастание скорости радиационной деструкции зависит от химической природы красителя, т.е. разное для каждого красителя. Следовательно, подбором красителей и добавлением в растворы ортофосфорной кислоты можно улучшить цветоконтрастные характеристики облученных растворов, что важно при применении трехкомпонентных растворов красителей в качестве детекторов радиационной дозы, в частности при проведении неразрушающего радиационного контроля материалов и изделий.

1. Степанов, Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей / Б.И. Степанов – М.: Химия, 1977. – 448 с.
2. Бахшиев, Н. Г. Введение в молекулярную спектроскопию / Н.Г.Бахшиев // – Л.: Изд. ЛГУ, 1987. – 215 с.
3. Попечиц, В. И. Спектрально-люминесцентные характеристики гамма-облученных растворов трикарбоцианиновых красителей / В.И.Попечиц // Вестник БГУ. Сер. 1. 2002. № 3. С. 33 – 37.
4. 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.
5. Попечиц, В. И. Визуализаторы ионизирующего излучения на основе многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. в 2 ч. – Минск, 2012. Ч. 2. С. 128 – 133.
6. Попечиц, В. И. Дефектоскопия материалов и изделий с помощью многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Достижения физики неразрушающего контроля: Сборник научных трудов Междунар. научно-технической конф., посвященной 50-летию Института прикладной физики НАН Беларуси / Институт прикладной физики. – Минск, 2013. – С. 284 – 289.
7. Попечиц, В. И. Визуализаторы ионизирующего излучения на основе многокомпонентных растворов красителей / В.И.Попечиц // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Междунар. науч.-технич. конф. (Могилев, 24-25 апр. 2014). Могилев, 2014. С. 147 – 148.
8. Попечиц, В. И. Влияние пероксида водорода на цветостойкость растворов органических красителей / В.И.Попечиц // Вестник БГУ. Сер. 1. 2015. № 1. С. 17 – 21.

ИНДИКАТОРНЫЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР НА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ГИРОСКОПЕ

Распопов В.Я.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) по параметрам точности, массе, габаритам, потребляемой энергии и динамическим характеристикам [1] остаются широко применяемыми датчиками угловой скорости при построении индикаторных гиросtabilизаторов (ИГС) [2]. Предпочтительно использование ВОГ, построенных по схеме с замкнутым контуром [3].

На рис. 1 приведена структурная схема ВОГ с замкнутым контуром.

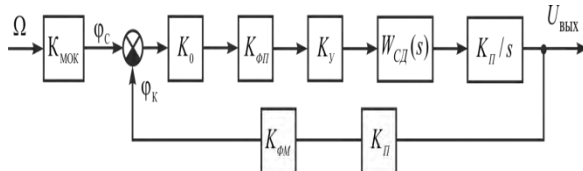


Рис. 1. Структурная схема одноосного ВОГ с замкнутым контуром

Структурная схема отображает последовательные преобразования входного сигнала (угловая скорость Ω) в выходной сигнал (напряжение $U_{\text{вых}}$). Коэффициент передачи первого звена называется масштабным коэффициентом оптического контура и определяется $K_{\text{моk}}$:

$$K_{\text{моk}} = 2\pi LD / \lambda c, \text{ рад/с}^{-1},$$

где L, D – длина оптоволоконна и диаметр оптоволоконного контура;

λ, c – длина волны и скорость света.

Коэффициент преобразования фазы Саньяка в мощность излучения K_0 (Вт/рад), поступающего на фотоприёмник, зависит от мощности излучения излучателя, от потерь в оптическом тракте и его поляризационных характеристик. Фотоприёмник, как устройство преобразования сигнала, характеризуется чувствительностью $K_{\text{фп}}$ (А/Вт) и коэффициентом усиления $K_у$. Передаточная функция синхронного детектора может быть представлена аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{сд}}(s) = \frac{1}{T_{\text{сд}}s + 1}, \quad (1)$$

где $T_{\text{сд}}$ – постоянная времени ($T_{\text{сд}} < 1/\omega_{\text{с}}$); $\omega_{\text{с}}$ – частота среза разомкнутой системы.

После интегратора с коэффициентом передачи $K_{\text{п}}$ в прямой цепи формируется выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, которое содержит информацию об измеряемой угловой скорости вращения Ω . Контур обратной связи замыкается через фазовый модулятор, на который подается пилообраз-

ное напряжение, формируемое в электронном блоке с коэффициентом передачи $K_{\text{п}}$. Фазовая амплитуда пилообразной модуляции автоматически поддерживается у значения 2π , а фаза Саньяка компенсируется пилообразным сигналом с частотой $f_{\text{к}}$:

$$f_{\text{к}} = D\Omega / n_{\text{п}}\lambda,$$

где Ω – измеряемая угловая скорость;

$n_{\text{п}}$ – показатель преломления используемого волокна.

Коэффициент передачи фазового модулятора:

$$K_{\text{фм}} = \pi / U_{\text{п}}, \text{ рад/В},$$

$U_{\text{п}}$ – полуволна напряжения.

Передаточная функция ВОГ в соответствии с рис. 1 и с учётом (1) приводится к форме:

$$W_{\text{вог}}(s) = \frac{U_{\text{вых}}(s)}{\Omega(s)} = \frac{K_{\text{пц}} K_{\text{моk}}}{(T_{\text{сд}}s + 1)s + K_{\text{пц}} K_{\text{моk}}} = \quad (2)$$

$$= \frac{K_{\text{мв}}}{T_{\text{в}}^2 s^2 + 2\xi_{\text{в}} T_{\text{в}} s + 1},$$

где $K_{\text{пц}} = K_0 K_{\text{фп}} K_у K_{\text{сд}} K_{\text{п}}$ – коэффициенты передачи прямой цепи;

$K_{\text{ос}} = K_{\text{фм}} K_{\text{п}}$ – коэффициент передачи обратной связи;

$$T_{\text{в}} = \sqrt{\frac{T_{\text{сд}}}{K_{\text{пц}} K_{\text{ос}}}};$$

$$\xi_{\text{в}} = \frac{1}{2} \sqrt{T_{\text{сд}} K_{\text{пц}} K_{\text{ос}}};$$

$K_{\text{мв}} = K_{\text{моk}} K_{\text{ос}}$ – масштабный коэффициент ВОГ, определяемый по формуле:

$$K_{\text{мв}} = \frac{2\pi LD}{c\lambda K_{\text{фм}} K_{\text{п}}}. \quad (3)$$

В предположении независимости работы каналов стабилизации, на рис. 2 приведена структурная схема ИГС с ВОГ [2].

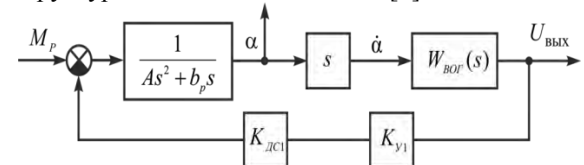


Рис.2. Структурная схема гиросtabilизатора с ВОГ по одному каналу

($K_{\text{дс1}}, K_{\text{у1}}$ – коэффициенты передач двигателя и усилителя в цепи стабилизации)

Передаточная функция гиросtabilизатора в соответствии с рис. 2. и с (2) имеет вид:

$$\frac{\alpha(s)}{M_p(s)} = (T_B^2 s^2 + 2\xi_B T_B s + 1) \div \left\{ s \left[AT_B^2 s^3 + T_B (2A\xi_B + T_B b_p) s^2 + (A + 2\xi_B T_B b_p) s + (b_B + K_{MB} K_{ДС1} K_{У1}) \right] \right\} \quad (4)$$

Из (4) следует, что в установившемся режиме гиросtabilизатор с ВОГ, как и с любым другим датчиком угловой скорости, имеет дрейф со скоростью:

$$\dot{\alpha} = \omega_{ДР} = M(b_p + K_{MB} K_{ДС1} K_{У1}).$$

Имея в виду температурную зависимость величины K_{MB} [4], следует ожидать и зависимость дрейфа гиросtabilизатора от температуры.

Предположим, что все звенья в цепи стабилизации безинерционные, за исключением платформы и рамы, тогда для качественной оценки поведения гиросtabilизатора с ВОГ на качающемся основании можно применить отношение:

$$\frac{\alpha(s)}{\gamma(s)} = - \frac{i^2 (J_p s^2 + h_p)}{A s^2 + (b_p + i K_{MB} K_p) s + i^2 h_p} \quad (5)$$

где A – момент инерции ИГС относительно оси подвеса;

J_p – осевой момент инерции двигателя стабилизации;

i – коэффициент передачи редуктора;

b_p, h_p – коэффициенты вязкого трения в осях подвеса платформы ИГС и в подшипниках ротора двигателя;

K_p – коэффициент передачи по каналу стабилизации;

γ – угол качки основания;

α – угол поворота платформы ИГС.

Отношение (5) можно использовать для предварительного частотного анализа поведения гиросtabilизатора на качающемся основании.

1. Лукьянов, Д.П., Распопов, В.Я., Филатов, Ю.В. Прикладная теория гироскопов. Учебник.- СПб.: ГНЦ РФ – ОАО «ЦНИИ «Электроприбор», 2015. – 315 с.
2. Распопов, В.Я. Теория гироскопических систем. Гиросtabilизаторы. Тула: Издательство ТулГУ, 2016. – 388с.
3. Интерферометрические волоконно-оптические гироскопы с линейным выходом. Прилуцкий, В.Б. и др. // Сб. материалов XI Санкт-Петербургской Международной конференции по интегрированным навигационным системам. – СПб., 2004. – С. 129-136.
4. Распопов, В.Я. Микромеханические приборы.- М.: Машиностроение, 2007.- 399 с.

УДК.628.984

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Савкова Т.Н., Кравченко А.И., Колесник Ю.Н.

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого
Гомель, Республика Беларусь*

Изменение принципов конструирования световых осветительных приборов с использованием светодиодов (СД) продиктовано физическими процессами полупроводников. Одним из основных способов создания надёжных и эффективных светодиодных приборов основан на параллельном планировании тепловых, электрических, оптических и спектральных свойств источника освещения [1].

Важнейшая проблема при проектировании световых приборов с СД – обеспечение требуемого теплового режима СД. Большинство параметров СД, в основном определяющие их превосходство над другими источниками света – срок службы и световая отдача – сильно зависят от температуры активной области. Превышение температуры « $p-n$ » – перехода ведёт к уменьшению светового потока и ускоренной деградации кристалла. На температуру перехода влияет путь распределения тепла между переходом и окру-

жающей средой (определяется тепловым сопротивлением), мощность рассеивания светодиода, температура окружающей среды, а также ток питания [2,3].

Существует несколько способов определения температуры активной области светодиодов. Методы, основанные на зависимости прямого напряжения светодиода от температуры [4] – [8], являются косвенными, контактными, требующие калибровочных измерений.

По методу [9], температура « $p-n$ » – перехода определяется по смещению спектрального максимума излучения в область коротких длин волн при повышении температуры. Данный способ характеризуется большой погрешностью из-за наличия шумов и возможной интерференции в спектре излучения СИД. Отличительной особенностью метода [10], является определение зависимостей длины волны от температуры для заданных точек в выбранной длинноволновой

части спектра излучения светодиода.

Еще один метод основан на применении рамановской спектроскопии, с помощью которой может быть определена температура различных слоев структуры [11]. Для светодиодов, у которых в качестве подложки используется сапфир, температура может быть определена с помощью оптического измерения длин волн линий, излучаемых хромом (Cr3+), который находится в подложке в виде примеси [12].

Целью данной работы является разработка метода определения тепловых характеристик мощных светодиодов (СД): мощности тепловых потерь, температуры «*p-n*» – перехода, теплового сопротивления и т.д.

Определение тепловых характеристик СД проводилось с использованием экспериментальной установки (рис.1), основными элементами которой являются: калориметр, микроконтроллер, блок питания и персональный компьютер.

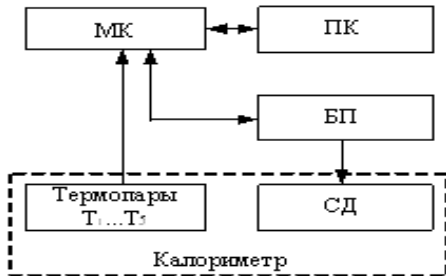


Рисунок 1 – Блок-схема экспериментальной установки для определения тепловых характеристик СД: МК – микроконтроллер, БП – блок питания, СД – светодиод (ARPL–3W6000), ПК – персональный компьютер

В калориметр устанавливали радиатор в форме усеченной сферы из металла с высокой теплопроводностью с закреплённым на нём СД. Съёмная крышка калориметра имела технологическое отверстие для вывода светового излучения СД. Измерение температуры осуществлялось термопарами, установленными на излучающей поверхности, корпусе и подложке СД, радиаторе, а также на корпусе калориметра.

Управление блоком питания, измерение ЭДС термопар, первичная обработка результатов измерений, а также передача этих данных в ПК осуществлялась программируемым микроконтроллером «Arduino».

Измерения температуры проводились при токах от 0,1 – 1,0 А через «*p-n*» – переход СД.

По измеренным температурам элементов поверхности СД, радиатора и калориметра на основании закона Стефана–Больцмана и формулы Ньютона определялась энергия теплового излучения и энергия, уносимая конвекционным потоком. В целом, энергия тепловых потерь ««*p-n*» – переход – окружающая среда» при установленном токе в условиях стационарного режима за

время измерения определялась соотношением:

$$Q_T = Q_J + Q_S + Q_B + Q_C, \quad (1)$$

где Q_J , Q_S , Q_B и Q_C – тепловые потери энергии с поверхности линзы, корпуса, подложки СД и радиатора.

Тепловая энергия, приходящая от активной области (АО) и рассеиваемая поверхностями линзы и корпуса СД (других элементов) на основании закона Фурье в условиях стационарного режима определяется соотношениями:

$$Q_{Jl} = \frac{\lambda_{Jl} \cdot S_{Jl}}{d_{Jl}} \cdot (T_J - T_{Jl}) \cdot t \quad (2)$$

$$\text{и } Q_{Js} = \frac{\lambda_{Js} \cdot S_{Js}}{d_{Js}} \cdot (T_J - T_s) \cdot t, \quad (3)$$

где λ_{Jl} и λ_{Js} – теплопроводность среды, заполняющей пространство между активной областью и поверхностями линзы и корпуса СД; S_{Jl} и S_{Js} – площадь поверхностей линзы и корпуса СД; d_{Jl} и d_{Js} – средние расстояния от АО СД до поверхности линзы и корпуса; T_J , T_{Jl} и T_s – температуры «*p-n*» – перехода, поверхности линзы и корпуса, соответственно; t – время измерения. Записав эти соотношения для двух токов I_1 и I_2 , после несложных вычислений, получим температуры АО T_{J1} и T_{J2} :

$$T_{J1} = n_2 \cdot T_{J2} - n_2 \cdot T_{J2} + T_{J1}$$

$$\text{и } T_{J2} = \frac{T_{J1} - T_{s1} + n_2 \cdot T_{s2} - n_1 \cdot T_{J2}}{n_2 - n_1}, \quad (5)$$

$$\text{где } n_1 = \frac{Q_{J1}}{Q_{J2}} \text{ и } n_2 = \frac{Q_{s1}}{Q_{s2}}.$$

Рассчитанные величины энергии (мощности) тепловых потерь и температуры АО СД позволяют определить ряд составляющих теплового сопротивления СД, энергетический выход, энергию и мощность светового излучения. Так, для токов $I_1 = 0.35\text{A}$ и $I_2 = 0.7\text{A}$ через «*p-n*» – переход СД (ARPL–3W6000): мощности тепловых потерь составили – 0.67 и 1.65Вт; мощности светового излучения – 0.41 и 0.75Вт; энергетическая эффективность – 38% и 31%; температуры АО – 85 и 149 °С; тепловое сопротивление «АО – окружающая среда» – 84 и 73°С/Вт, соответственно. Погрешность определения тепловых параметров СД составила порядка 10%.

Таким образом, предложен калориметрический метод определения тепловых характеристик мощных светодиодов, который может быть использован для контроля их качества, а также при проектировании осветительных устройств.

1. Менжини, М. Разработка надежных светодиодных источников освещения / М. Менжини, Г. Менжессо, Э. Занони, М. Да Лаго, Н. Тривеллин // Полупроводниковая светотехника, – 2013, №5, – С. 61–64.
2. Миранович, В. Мощные светодиоды: особенности применения, проблемы и методы решения на примере светодиодов компании Prolight Opto Technology / В. Миранович, И. Филоненко // Электронные компоненты, – 2007, №6, – С. 45–49.
3. Xi Y. Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method / Y. Xi, E.F. Shubert // Appl. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 85. – P. 2163.
4. Y. Xi, J. – Q. Xi, Th. Gessmann, J.M. Shah, J.K. Kim, E.F. Schubert, A.J. Fisher, M.H. Crawford, K.H.A. Bogart, A.A. Allerman. Appl. Phys. Lett., 86, 031 907 (2005).
5. Пат. US 2010/0004892 A1 /Ming-Te LIN, Knang-Yu Tai, Jyh-Chen Chen, Farn-Shiun Hwu. Method for Measuring PN-Junction Temperature of Light-Emitting Diode; опубл. 14.01.2009. Бюл. № 12/353, 294.
6. Пат. US 2011/0031903 A1 / V.N. Hoang, R. Surdeanu, P. Bracken, B. Bataillou, D.V. Steenwinekel. System and method for estimating the junction temperature of a light emitting diode; опубл. 27.01.2009. Бюл. № 12/863, 744.
7. Пат. US 2010/0315019 / G. Hoogzaad, Schmitz, H. M. Wilhelmus, R. Surdeanu. Led driver circuit and method, and system and method for estimating the junction temperature of a light emitting diode; опубл. 27.01.2009. Бюл. № 12/863, 740.
8. Пат. US 2009/0306912 A1 / J.-C. Chen, F.-S. Hwu, G.-J. Sheu, K.-C. Chen, F.-L. Lin. Method of measuring LED junction temperature; опубл. 20.08.2008. Бюл. № 12/194, 591.
9. Пат. US 2008/0205482 A1 / D. Cao, Z. –H. Lin. Method and testing equipment for LEDs and Laser diodes; опубл. 23.02.2007. Бюл. № 11/678, 243.
10. Патент № 2011147653/ А.Н. Пихтин, С.А. Тарасов, Е.А. Менькович. Способ определения температуры активной области светодиодов; опубл. 23.02.2007. Бюл. № 11/678, 243.
11. Kuball M. Self-Heating effects at high Pump Currents in Deep UV LED /M. Kuball, S. Pajasingam, A. Sarua et al. // Appl.Phys.Lett. 2003. Vol. 82. P. 124.
12. Winewisser C. In-situ temperature measurements via ruby R-lines of sapphire substrate based InGaN light emitting diodes during operation / C. Winewisser, J. Schneider // J. Appl. Phys. 2001. Vol. 89. – P. 3091.

УДК 531.31

БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Сапегин А.Н., Норенко М.В.

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт им. И. Сикорского»
Киев, Украина*

В современной технике наблюдается большой рост различных робототехнических средств, беспилотных подвижных объектов. Миниатюрность объектов не позволяет использовать классические типы систем для решения задач ориентации, навигации и управления, поэтому построение и исследование микромеханических чувствительных элементов и систем является особенно актуальным в настоящее время [1].

Технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) непрерывно развиваются и каждым годом какие, точность становится больше. Уменьшение размеров и требований к питанию датчиков делает их более универсальными в использовании. Еще одно из преимуществ МЭМС технологий является то, что выходной сигнал цифровой, что в свою очередь улучшает качество и скорость обработки данных. Но несмотря на преимущества подобные датчики проигрывают в точности классическим волоконно-оптическим и

лазерным гироскопом.

Одной из передовых компаний разрабатывающих МЭМС технологии является Sensorog – норвежский производитель и разработчик инерциальных датчиков и датчиков давления. С 2009 года компания сосредоточилась на выпуске МЭМС гироскопов, а основную линейку продуктов составили гироскопы ST202, STIM210 [4] и инерциальных измерительных модуль STIM300, который представлен на рисунке 1.

Несмотря на размеры 39мм на 45мм на 22мм STIM 300 содержит в себе 3 гироскопа, 3 акселерометра и 3 инклинометра, которые приближаются по точности к волоконно-оптическим гироскопам. Датчик устойчив к воздействиям магнитного поля и удара, частота обновления данных 2000 Гц и имеет цифровой выход RS422 со скоростью передачи 1,84 Mbit c.



Рисунок 1 – Инерциальный измерительный модуль SIM300

К основным характеристикам STIM 300 относятся:

- Температурный диапазон $-40 + 85$ °C
- Диапазон гироскопа ± 400 °/с
- Дрейф гироскопа $0,15$ °/√h
- Дрейф акселерометра $0,07$ м/с/√h
- Нестабильность нуля гироскопа $0,5$ °/час
- Нестабильность нуля акселерометра $0,05$ mg
- Диапазон акселерометра $\pm 10g$.

STIM 300 нашел свое место в системах ориентации беспилотных аппаратов, системах сбора портативных целевых транспортных средств, в системах стабилизации и при автоматизированном производстве в промышленности.

В работах [1] и [2] были всесторонне исследованы возможности построения бесплатформенной системы ориентации основываясь исключительно на микромеханических инерциальных датчиках таких как гироскопы и акселерометры. В частности, работа [1] посвящена описанию исследования, которое проводила компания Analog Devices – лидер в современной микроэлектронике. Целью исследований было сравнение инерциальных навигационных систем, построенных на волоконно-оптических гироскопах с инерциальным измерительным модулем модели ADIS16485. При чём цена первой системы была около 30000\$, а МЭМС датчики всего 1000\$. В итоге было установлено, что в гражданском применении, для решения задачи ориентации и навигации в городе, точности ADIS16485 более чем достаточно. Отметим, что технические характеристики ADIS16485 на порядок хуже, чем STIM300. Эти результаты говорят о том, что в ближайшее время точносные характеристики МЭМС инерциальных измерительных модулей позволят использовать их и в прецизионных навигационных системах.

Открытым и острым в таком случае встаёт вопрос алгоритмического обеспечения Бесплатформенной инерциальной системы ориентации (БИСО). Эта задача имеет двоякий характер. С одной стороны, нужно определиться с алгоритмом определения и моделирования ориентации движущегося объекта, а с другой стороны разработка достаточно точных алгоритмов их численного интегрирования.

Наиболее распространённым является использование кватернионного уравнения ориентации. Считается, что оно записывается в наиболее простой для вычислительной машины форме и не вырождается при сложных эволюциях движения объекта. Однако, использование кватернионной алгебры заставляет проводить постоянные преобразования кватерниона ориентации в матрицу направляющих косинусов, или текущие угла ориентации. Эта задача требует привлечения дополнительных вычислительных потоков и уменьшает быстродействие вычислителей.

Вторая часть алгоритмического обеспечения БИСО заключается в организации процессов численного интегрирования соответствующего уравнения ориентации. Здесь тоже наблюдается неоднозначность. Ранее разработанные алгоритмы численного интегрирования создавались под аналоговые сигналы классических инерциальных чувствительных элементов – кольцевых лазерных и волоконно-оптических гироскопов. Их применение для современных микромеханических систем вызывает некоторые затруднения. Вместе с тем, широко используемые МЭМС датчики всё ещё достаточно грубые, поэтому для них используют элементарные алгоритмы численного интегрирования такие как метод трапеции, или трапеции.

В работах [2], и [4] представлены результаты исследований алгоритма работы бесплатформенной инерциальной навигационной системы. В качестве чувствительных элементов для создания БИСО использовался довольно грубый инерциальный измерительный модуль MAX 21105 производства Maxim Integrated. MAX 21105 представляет из себя 3-осевые микромеханические гироскопы и акселерометры, созданные на едином кристалле. Была построена программная модель бесплатформенной системы ориентации [4]. Модель включала в себя алгоритм ориентации на основе кинематического уравнения Пуассона и алгоритмов численного интегрирования Рунге-Кутты второго и четвёртого порядков. Результаты исследования представлены на рисунке 2.

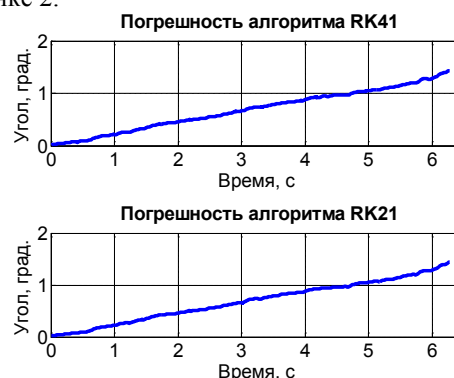


Рисунок 2 – Погрешности алгоритмов интегрирования методами Рунге-Кутта

Использование уравнения Пуассона позволило напрямую использовать проекции угловых скоростей вращения основания, полученных с гироскопов, что значительно упростило как программную модель, так и разработку алгоритмов интегрирования. Выбор алгоритмов Рунге-Кутты был продиктован их распространённостью и достаточно высокой точностью.

В целом программная модель позволяет использовать различные типы чувствительных элементов и является универсальной. Она позволяет проводить исследования прецизионных МЭМС датчиков при различных законах движения.

1. Ярема А.Д. Выбор датчиков угловой скорости для бесплатформенной инерциальной системы навигации / Погляд у майбутнє Приладобудування: IX науково-практична конференція студентів та аспірантів Збірка тез / НТУУ «КПІ». – Киев, 2016 С. 25-26.
2. Сапегин А.М., Бугаёв Д.В. Программная модель бесплатформенной системы ориентации

на базе инерциального измерительного модуля MAX21105 // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – Вип. 1. – С.119-122.

3. Система моніторингу стану технічного обладнання на базі інерціального вимірювального модуля STIM210 / Я.О. Ярема, О.М. Сапегін // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання : збірник тез доповідей 5-ї науково-практичної конференції студентів і молодих вчених, 24-25 листопада 2015 р., м. Івано-Франківськ. – 2015. – С. 239–241.
4. Свідоцтво № 64218 України про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Мікромеханічна безплатформова система орієнтації» [Текст] Сапегін О.М., Бугайов Д.В., Півторак Д.О. (Україна); заявник та власник Сапегін О.М., Бугайов Д.В., Півторак Д.О. - № 64703; заявл. 23.12.2015; зареєстровано 26.02.2016 р. в Державному реєстрі свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

УДК 624.94

ДЕТАЛИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Сернов С.П., Балохонов Д.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, республика Беларусь*

Светодиоды являются современным источником света с высокой эффективностью преобразования электрической энергии в световую, поэтому в настоящее время все больше транспортных средств оснащаются оптическими системами светосигнального назначения со светодиодами в качестве основного источника света. Кроме того, номенклатура выпускаемых светодиодов постоянно расширяется, что делает расчет деталей вторичной оптики для какого-либо определенного наименования светодиодов нецелесообразным: из-за крайне быстрой сменяемости поколений светодиодов приходится постоянно разрабатывать новые детали вторичной оптики с одинаковой функциональностью.

Из-за этого целесообразным является разработка такой детали вторичной оптики, чтобы она позволяла использовать различные типы светодиодов с похожим распределением силы света и одинаковым световым потоком.

Для разработки подобной детали вторичной оптики необходимо соблюсти следующие условия:

Условие квазиточечности источника света – источник света (светодиод) должен иметь такие

размеры, чтобы его можно было считать точечным по отношению к детали вторичной оптики, что позволяет значительно упростить расчеты.

Если источник света имеет сравнительно большой размер (например, светодиоды фирмы Philips типа LHC1, изготовленные по технологии COB с диаметром излучающей поверхности 18 мм), то его можно разделить на области и применять данный принцип к ним при расчете несимметричной детали вторичной оптики.

Условие охвата источника света – источник света должен быть охвачен деталью вторичной оптики так, чтобы световой поток источника использовался как можно полнее.

С учетом данных условий, а также все возрастающих требований к равномерности засветки излучающей поверхности светосигнальных изделий транспортных средств наиболее перспективной формой детали вторичной оптики будет асферическая неизображающая охватывающая линза с развитой задней отражающе-пропускающей поверхностью, схема профиля которой приведена на рисунке 1.

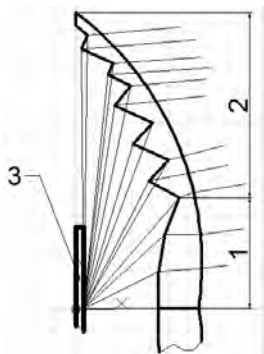


Рисунок 1 – Приблизительная форма профиля неизображающей охватывающей линзы с развитой задней поверхностью (пояснения в тексте)

За счет своей отражающей части 2 данная деталь обеспечивает надежное освещение центральной области стандартного распределения силы света, в то же время создавая достаточно равномерную засветку периферии излучающей поверхности. Потери на отражение невелики, так как применяется принцип полного внутреннего отражения. Рассеивание света также незначительно, так как источник света 3 находится сравнительно далеко от рабочих поверхностей (выполняется условие квазиточечности).

За счет своей пропускающей части рабочей поверхности 1 данная деталь вторичной оптики засвечивает периферические области стандартного распределения силы света. Даже если условие квазиточечности нарушается (или выполняется не полностью), то есть наблюдается значительное угловое рассеяние света, световой поток источника света не теряется, так как у стандартного распределения силы света граничные углы составляют как минимум 20 градусов от оптической оси.

Побочным эффектом от рассеяния света является почти равномерное освещение практически всей области стандартного распределения силы света, что позволяет удовлетворить требования по перепадам освещенности, одновременно обеспечивая видимость оптической системы практически со всех необходимых углов. При этом этот полезный эффект наблюдается как при использовании практически точечных источников света, так и при использовании источников света значительного размера.

Кроме этого, описанный подход позволяет «перемешать» свет источника и уменьшить цве-

товой растр, что является практически необходимым условием надежной работы светосигнального оборудования белого цвета свечения.

Принципы конструирования, описанные выше, были частично (не полностью выполнено условие охвата источника света) реализованы в конструкции детали вторичной оптики нецилиндрической формы для выполнения функции габаритного огня заднего комбинированного фонаря транспортного средства, общий вид которой приводится на рисунке 2.

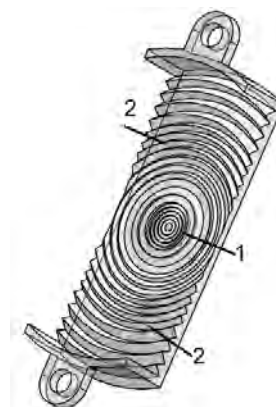


Рисунок 2 – Общий вид детали вторичной оптики для выполнения функции фонаря полного габарита

Данная деталь вторичной оптики имеет центральную часть 1 осесимметричной формы, которая обеспечивает засветку периферической части стандартного распределения силы света и работает на пропускание. Благодаря рассеянию света, засветка получается равномерной. Центральная часть стандартного распределения силы света освещается периферической частью 2 детали вторичной оптики, одновременно обеспечивая визуализацию периферической части детали вторичной оптики.

Распределение силы света разработанной детали вторичной оптики полностью соответствует Правилам ЕЭК ООН №7 для габаритных огней транспортных средств.

Следует отметить, что ввиду расчета формы детали вторичной оптики модифицированным методом накопительного суммирования частичных световых потоков ее форма является технологичной и пригодна для литья под давлением, а толщина детали не превышает четырех миллиметров, что делает ее массу малой и позволяет быть устойчивой к вибрациям.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. ЧАСТЬ 1. МЕТОДИКА

Скурту И.Т., Ерошенко А.С., Брановицкий И.И.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Измерение количества витков в обмотках на каркасе, а также контроль наличия короткозамкнутых витков являются значимыми стадиями в цикле производства трансформаторов малой мощности.

Востребованная в настоящий момент точность измерения количества витков составляет порядка 0.1 % (один виток на тысячу). При этом в пределах одной операции технологического контроля требуется определять наличие короткозамкнутых витков, в катушках с диаметром провода от 0.18 мм с затрачиваемым на одну обмотку временем не более 10 секунд.

Точное измерение количества витков в обмотках сопряжено со многими известными сложностями магнитных измерений:

- обеспечение однородного магнитного потока в зоне измерения;
- устранение остаточной намагниченности рабочего ферромагнитного тела;
- учет полей рассеяния, способных влиять на результаты измерения;
- отстройка от температурного смещения рабочей точки.

Помимо этого, для обеспечения темпов конвейерного производства необходимо выдерживать баланс между скоростью и точностью измерений. Для обеспечения скорости предпочтительнее использовать открытую магнитную цепь в виде вертикального стержня с нанесенными на него намагничивающими и измерительными обмотками.

Среди подходов к измерению количества витков можно выделить балансные (разностные) и абсолютные (прямого подсчета) методы.

Распространенная реализация балансного метода основана на встречном включении обмотки с точно известным количеством витков (коммутируемые секции с сотнями, десятками и единицами витков) и испытуемой обмотки. В условиях открытой магнитной цепи такой подход может приводить к ошибке до ± 5 витков на тысячу. Основной источник ошибки – потоки рассеяния. Для оценки их влияния достаточно провести простой эксперимент: на катушку с числом витков 1000 доматывается один дополнительный виток (с отводом от тысячи). Катушка помещается на однородно намагниченный стержень (естественно, речь идет о центральном его участке со степенью однородности порядка 0.03 %). Обозначим сигнал напряжения с секции в 1000 вит-

ков, как S_{1000} , а сигнал с секции в 1001 соответственно S_{1001} . Следует отметить, что 1000 витков намотаны на катушку в восемь слоев. Имеем:

$$S_{1001} - S_{1000} \neq S_{1000} / 1000 \quad (1)$$

Отличие левой и правой части выражения (1) может составлять от 15 до 30 % (в зависимости от габаритов катушки и уровня электромагнитных помех). При этом:

$$S_{1001} / S_{1000} = 1.001 \quad (2)$$

Точность выполнения равенства (2) составляет уже около 0.015 – 0.03 %.

Выражение (1) показывает, что аддитивная компенсация (в балансном методе при открытой магнитной цепи) крайне неустойчива к накоплению ошибки по слоям катушки. Тем не менее при использовании в качестве ядра измерения величины (2) можно обеспечить требуемую точность.

Ошибки количества витков, возникающие при намотке обмоток, делятся на две основных категории:

1) технологическая недомотка/перемотка, составляющая несколько единиц витков и вызванная нечасто происходящими сбоями в работе оборудования;

2) ошибки программирования намоточного станка, вызванные человеческим фактором – количество витков при этом может отличаться от номинала в разы.

Величина (2) сохраняет свою информативную значимость и стабильность в каждом из этих случаев. В первом случае, она позволяет точно, до витка измерить отклонение от номинала, во втором – однозначно указать на необходимость перемотки.

Использование такого подхода наиболее эффективно для серийного контроля больших партий однотипных катушек.

Для этого проводится эталонирование типа катушки. В качестве эталона выбирается катушка, измерения на которой в составе готового изделия (трансформатора) полностью подтверждают требуемые его характеристики. Измерения в составе готового изделия чувствительны к отклонению витков в 0.1%.

В базу данных заносятся отношения сигналов, индуцируемых на каждой из обмоток эталонной катушки к сигналу с тысячевитковой эталонной обмотки, помещенной и зафиксиро-

ванной на рабочем ферромагнитном стержне. Такой подход является разновидностью абсолютного метода.

Фактически под отношением сигналов с различных обмоток подразумевается отношение их интегралов (по абсолютному значению), что эквивалентно отношению максимумов соответствующих потокосцеплений.

Интегрирование сигналов улучшает воспроизводимость результатов измерений и устойчивость метода к помехам. Также это устраняет влияние потоков рассеяния, поскольку результирующее отношение (2) уже включает в себя информацию о противопотоке для конкретного типа (один каркас может соответствовать сотням номенклатурных намоточных позиций).

Создание рабочей зоны однородного распределения потока накладывает строгие требования к общей длине стержня вне зависимости от метода создания однородности. Для открытой цепи она должна быть как минимум в три раза больше длины катушки.

Обеспечение однородного распределения с помощью многокатушечных схем (катушки с синхронной запиткой) выравнивания потока обнаруживает значительную неустойчивость к остаточной намагниченности стержня, а также к эффектам пространственной (по длине стержня) фазовой неоднородности (специфичной для конкретного материала стержня). Для борьбы с последней целесообразно обеспечивать однородность с помощью одной обмотки, нанесенной равномерно по всей длине стержня. При этом равномерное распределение потока устанавливается в стержне на тех участках периода сигнала, в течение которых материал находится в насыщении. Упомянутое выше интегрирование сигналов позволяет отстроиться от необходимости следить за уровнем потока, т.к. всегда обеспечивает доступ к максимальному его значению, гарантированно находящемуся на участке насыщения.

Отдельного рассмотрения заслуживает стабильность рабочей точки, положение которой на серии последовательных однотипных измерений подвержено релаксационным и температурным процессам. На рисунке 1 представлено поведение сигналов S_{1000} и S_{1001} на серии из двухсот измерений, непрерывно следующих одно за другим (продолжительность одного измерения составляет 5-7 секунд).

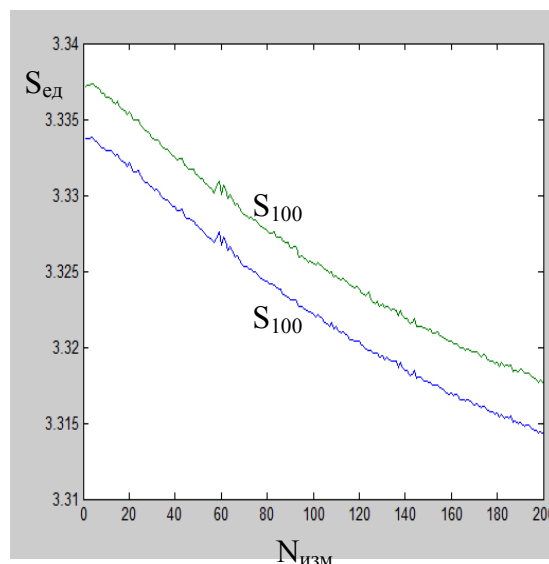


Рисунок 1 – зависимость сигналов S_{1000} и S_{1001} (в условных интегральных единицах) от номера измерения

Видно, что величина (2) позволяет компенсировать дрейф рабочей точки. Тем не менее, для снижения влияния быстрой смены режимов перемагничивания, в особенности при переходах с одной частоты на другую, следует периодически (раз в смену) проводить размагничивание стержня на частоте 50 Гц.

Детектирование короткозамкнутых витков основано на зависимости их электромагнитного поведения от частоты. Если в катушке с тысячей витков замкнуть один виток, то результатом измерения на низкой частоте (десятки Герц) будет 999 витков. Если виток разомкнуть и на этой же частоте провести измерения на той же катушке, но с помещенным на нее искусственно изготовленным КЗ-витком, показания составят 1000. На высокой частоте (единицы – десятки килогерц) наличие КЗ-витка любого вида приводит к снижению показаний на два-три и более витка (в зависимости от диаметра проволоки и частоты). Эталонирование типа катушки позволяет учесть высокочастотную ЭДС самоиндукции, наводимую в незамкнутых витках. Магнитные материалы с аморфной и нанокристаллической структурой хорошо подходят для создания рабочих стержней.

Разработанный метод позволяет отстроиться от распространенных проблем магнитных измерений и обеспечить высокоточный контроль количества витков в обмотках, совмещенный с проверкой на короткозамкнутые витки для больших партий однотипных катушек.

УДК 621.317.43

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. ЧАСТЬ 2. ПРИБОР

Скурту И.Т., Ерошенко А.С., Брановицкий И.И.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси**Минск, Республика Беларусь*

На рисунке 1 представлен общий вид контрольно-диагностического прибора тестер катушек (ТК).



1 – большая измерительная платформа; 2 – ЭВМ;
3 – малая измерительная платформа;
4 – усилитель мощности

Рисунок 1 – Общий вид контрольно-диагностического прибора ТК

Тестер катушек ТК предназначен для определения количества витков в обмотках на каркасе без сердечника, а также для определения наличия в обмотках короткозамкнутых (КЗ) витков.

Количество витков в обмотке: от 1 до 10 000 с точностью 0,1 %, но не менее 1 витка;

Наличие КЗ-витка в обмотке, намотанной проводом с диаметром не менее 0,18 мм: да/нет с чувствительностью 1 КЗ-виток на 10 000 исправных.

Номенклатурный ряд испытуемых обмоток таков, что высота намотки у большинства катушек позволяет испытывать их на стержне малой длины (300 мм). Как уже упоминалось в первой части данного доклада длина стержня должна превышать длину намотки минимум в три раза, поэтому для более крупных катушек предназначена вторая платформа с длиной стержня 1000 мм. Следует отметить, что большая платформа позволяет испытывать и катушки с высотой намотки до 600 мм за счет того, что для таких крупных катушек требования к однородности потока в стержне менее строгие, за счет ограничения по количеству витков (300-400).

Для того, чтобы испытания конкретного типа катушки стали возможными, данный тип необходимо внести в базу данных программы. Вводится название типа катушки и выбирается соот-

ветствующая платформа. Если высота намотки катушки превышает 250 мм, следует снять с платформы цилиндрическую подставку. При размещении катушек на платформах следует центрировать катушки по нанесенным на платформы линиям центровки – это важно для обеспечения высокой точности и повторяемости результатов измерений. Затем выбирается подходящий корпус. Далее добавляются обмотки катушки. Задается метка (имя) обмотки и количество витков в ней. В дальнейшем автоматизированные измерения количества витков будут происходить в том порядке, в котором были добавлены обмотки.

После добавления нового типа катушки необходимо провести его калибровку (эталонирование). Для типов, не прошедших калибровку, проведение испытаний невозможно. Эталонная катушка выбирается из числа катушек с наилучшими результатами испытаний на заводском оборудовании, а также по регламентируемым параметрам готового изделия (ток холостого хода и др.).

Эталонная катушка устанавливается на соответствующую платформу (платформа должна быть подключена к измерительному блоку), к первой обмотке в списке подключаются измерительные зажимы типа “крокодил” после чего запускается процесс определения калибровочных коэффициентов для обмоток катушки.

Тестер катушек комплектуется тремя тестовыми катушками с номиналом 1000 витков и различными габаритами, служащими для периодической проверки его работоспособности. Проверка происходит на малой платформе.

При несовпадении количества измеренных витков в тестовых катушках с реальным происходит завершение тестового измерения. В этом случае, необходимо выполнить принудительное размагничивание и выполнить тест повторно.

На рисунке 2 представлен вид главного окна управляющей прибором программы. Цифрами обозначены: 1 – главное меню программы (включает пункты “О программе”; “Сохранить результат”; “Тестирование установки”; “Размагничивание”; “Калибровка каналов”; “Выход”); 2 – список занесенных в базу типов катушек; 3 – список обмоток выбранного (текущего) типа катушки; 4 – кнопка запуска типизированного измерения; 5 – индикатор наличия/отсутствия короткозамкнутых витков (красный цвет – соот-

ветствует наличию витка, зеленый - отсутствию); 6 – группа кнопок для работы с исходными данными (катушки и корпуса); 7 – панель быстрого измерения без типа; 8 – статусная строка – в ней отображаются сообщения о состоянии текущих операций.



Рисунок 2 – Главное окно программы

На рисунке 3 представлен вид вспомогательного окна программы для работы с корпусами. Цифрами обозначены: 1 – список корпусов; 2 – список выбора платформы (большая или малая); 3 – параметры корпуса; 4 – группа кнопок для основных операций с корпусами; 5 – кнопка подтверждения и завершения работы с базой корпусов.

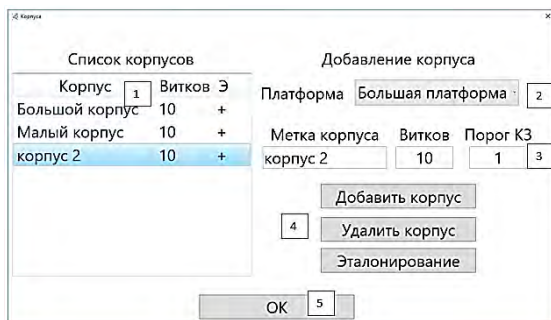


Рисунок 3 – Интерфейс работы с корпусами

На рисунке 4 представлен внешний вид окна добавления нового типа катушки. Цифрами обозначены: 1 – поле ввода типа катушки; 2 – список выбора платформы (большая или малая); 3 – список обмоток катушки; 4 – список выбора корпуса; 5 – поля ввода параметров обмотки; 6 – группа кнопок для основных операций с обмотками; 7 – кнопки подтверждения и отмены работы с базой катушек.

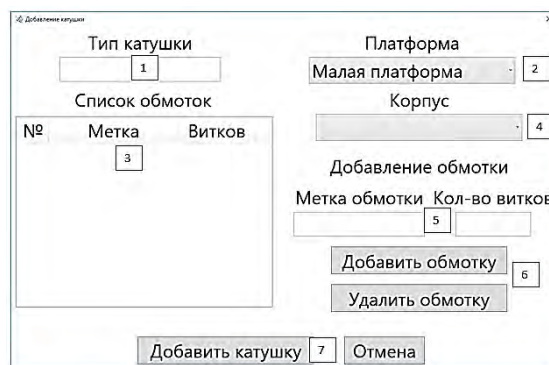


Рисунок 4 – Окно добавления нового типа катушки

После проведения измерения имеется возможность сохранить результаты текущего измерения в отдельный текстовый файл. Кроме того, каждое проведенное измерение фиксируется в общий архив.

Созданный в ИПФ НАН Беларуси прибор «ТК» позволяет обеспечить высокоточный контроль количества витков в обмотках на каркасе без сердечника, совмещенный с проверкой на короткозамкнутые витки для больших партий однотипных катушек. В настоящее время прибор проходит период тестовой эксплуатации на МЭТЗ им. В.И. Козлова.

УДК 535.31:681.25-027.31:620.179.1.082.5.05

УСТАНОВКА ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И МЕДИЦИНЫ

Смирнов А.Г., Рыжевич А.А., Ясинский В.М., Лепченков К.В.

Институт физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Первые патенты по методу оптической когерентной томографии (ОКТ) были поданы в 1995 - 1997 годах. С тех пор в мире зарегистрированы более 1000 патентов и заявок. Пик подачи патентов зафиксирован в 2012 - 2013 годах, в последние годы число заявок снизилось вдвое, но остается достаточно высоким, что говорит об актуальности данного научно-технического направления.

В рамках задания 1.14 "Разработать и изготовить установку оптической когерентной томографии для исследований в области микроэлектроники и медицины (ОКТЭМ)" подпрограммы "Приборы для науки" Государственной научно-технической программы "Эталоны и научные приборы" в 2014-2015 годах в Институте физики НАН Беларуси была разработана и создана установка ОКТЭМ. Разработчикам удалось продви-

нуться сразу по нескольким направлениям развития ОКТ: улучшение пространственного разрешения при одновременном увеличении объема сканирования (на основе использования новых широкополосных источников света, адаптивной оптики); повышение чувствительности и быстродействия (чувствительные детекторы, быстродействующая электроника), миниатюризация, мобильность и гибкость ОКТ зондов; расширение контрастно - селективных возможностей ОКТ с целью распознавания типа неоднородностей или типа тканей по морфологии и функциональным свойствам, в том числе с использованием гибридных оптоакустических, поляризационно-чувствительных и спектроскопических технологий. Последняя задача была выбрана в качестве приоритетной для проекта ОКТЭМ, поскольку предполагалось, что информативность метода, контраст и селективность изображений могут быть улучшены путем значительного расширения спектрального диапазона (от 700 до 1400 нм), а также добавлением поляризационного контраста. Традиционно системы ОКТ оптимизируются для двух спектральных диапазонов, вблизи длины волны 800 нм (офтальмология, кардиология) и 1300 нм (дерматология, промышленные применения) со спектральной шириной до 160 нм. Системы с рабочим диапазоном от 700 до 1400 нм, как показал анализ патентов, литературы и коммерческих продуктов, еще не создавались.

Типичный ОКТ сигнал позволяет дифференцировать ткани по пространственному распределению и структуре неоднородностей. Однако этого зачастую недостаточно для определения функционального состояния и распознавания типа биологических тканей. Для большей селективности ОКТЭМ и повышения контраста разработанная система была дополнена спектроскопическим сравнительным абсорбционным анализом, который даст возможность определять степень поражения тканей, их насыщение кровью и кислородом, и обеспечит более полную информацию для понимания биологических процессов. Анализ изменения поляризационных свойств рассеянного излучения, в том числе, деполяризации, может использоваться в качестве дополнительного контрастного механизма, например, для обнаружения дислокаций и микродефектов и связанных с ними механических напряжений в полупроводниковых пластинах.

Широкий круг планируемых для установки задач определил ее модульность. Установка ОКТЭМ реализована в виде набора активных и пассивных аппаратных модулей, что позволяет легко настраивать установку под конкретное приложение. Компоновка модулей установки показана на рисунке 1. Модуль управления спектром излучения (1) состоит из: собственно ла-

зерного источника NKT Photonics (1.1); источника бесперебойного питания, обеспечивающего энергоснабжение всего оборудования установки суммарной мощностью 1000 Вт в нормальном режиме без ограничения времени и в течение не менее 1 минуты после отключения напряжения в силовой сети; электронного контроллера (1.3) для коммутации электронно-оптико-механических блоков и модулей установки ОКТЭМ; блока управления генерируемым спектром (1.4). Интерферометр (2) с подстраиваемой компенсацией дисперсии состоит из оптических и механических деталей, закрепленных винтами на металлической плите толщиной 10 мм и накрытых кожухом. Модуль контроля входного и выходного состояний поляризации светового пучка (поляризационный модуль) (3) установлен внутри модуля проекционной оптики (оптической головки) (4). В состав оптической головки (4) входят объектив головки, сканирующая система, микроскоп, образованный объективом (4.1) и линзой, CCD - камера для визуального наблюдения увеличенного изображения поверхности образца и формирования изображения внутренних слоев образца, система подсветки образца, трансляционная платформа (4.6), обеспечивающая точную подводку фокусной плоскости объектива (4.1) к поверхности исследуемого объекта, с шаговым двигателем (4.7).

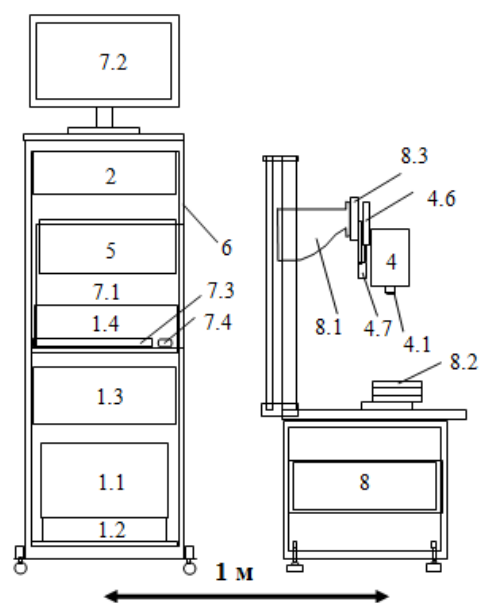


Рисунок 1 – Состав установки ОКТЭМ (пронумерованные позиции описаны в тексте)

Модуль регистрации оптических сигналов (5) состоит из спектрометра на диапазон 650 - 650 нм и спектрометра (5.3) на диапазон 950 - 1400 нм. На виброустойчивой платформе (6), выполненной в виде вертикально ориентированной стойки, неподвижно закреплены блоки (1), (2), (5) и персональный компьютер (7), состоящий из

системного блока (7.1), монитора (7.2), а также клавиатуры (7.3) и мыши (7.4). Оптическая головка (4) адаптером (8.3) крепится на отдельный стол (8) с жестким металлическим каркасом, с возможностью грубого ручного вертикального перемещения оптической головки посредством перестраиваемой по высоте опоры (8.1) с целью предварительной подстройки наблюдаемой поверхности объекта под фокусное расстояние объектива головки (4.1). На горизонтальной поверхности стола (8) установлен 2D транслятор (8.2) на базе моторизованных актуаторов, управляемых через контроллеры персональным компьютером (7).

Согласно протоколу приемочных испытаний установка ОКТЭМ имеет следующие характеристики. Рабочий спектральный диапазон от 700 до 1400 нм разбит на два спектральных поддиапазона (от 700 до 950 нм и от 950 до 1400 нм) с возможностью переключения между ними. Поперечное разрешение в воздухе по критерию Рэля не хуже 10 мкм в спектральном интервале 700-900 нм и не хуже 12 мкм в спектральном интервале 900-1400 нм. Продольное разрешение в воздухе по критерию Рэля не хуже 6 мкм в спектральном интервале 700-900 нм и не хуже 15 мкм в спектральном интервале 900-1400 нм. Область сканирования не менее 10мм x 10 мм x 6 мм разбивается на зоны размером не менее 2 мм x 2 мм x 1,5 мм с возможностью переключения между ними. Время продольного сканирования, А-сканирования, (поперечного сканирования, В-сканирования) не более 0,1(50) мс при фиксированном положении фокуса и глубине (длине) сканирования не более 1 (10) мм. Максимальная глубина проникновения излучения в толщу материала, скорость сканирования, а также контраст изображения зависит от

исследуемого объекта. При необходимости повышения контраста изображения объекта, а также увеличения размеров сканируемой области время продольного (поперечного) сканирования увеличивается. Габаритные размеры приборной части платформы установки в виде виброустойчивой стойки не превышают 1000 x 1000 x 2100 мм; габаритные размеры выносной части платформы в виде столика с оптической головкой составляют не более 1000 x 1000 x 1800 мм.

Созданная установка ОКТЭМ по своим техническим характеристикам и функциональным возможностям соответствует современному мировому научно-техническому уровню. В отличие от имеющихся аналогов установка охватывает спектральный поддиапазон 750-1400 нм и полностью перекрывает окно прозрачности биологических тканей в ИК диапазоне, что позволяет использовать установку для научных исследований в медицине в таких областях, как офтальмология, дерматология и кардиология. Широкий спектральный диапазон и высокое пространственное разрешение позволяют подобрать оптимальный режим для получения высокого контраста на конкретном исследуемом объекте, а также проводить селективную диагностику патогенных тканей не только по их морфологии, но и по спектрально-поляризационным характеристикам, что в перспективе позволит создать эффективные методики диагностики различных заболеваний. Высокое пространственное разрешение, высокая скорость сканирования и бесконтактный характер метода делают возможным также использовать установку для контроля качества изделий из полупроводниковых и диэлектрических материалов в микроэлектронике и контроля технологических процессов их изготовления.

УДК 621.3.029.64

БЕСПРОВОДНОЙ ДАТЧИК НА БАЗЕ МОДУЛЯ ESP8266

Соломатина О.А., Павловский А.М., Лакоза С.Л.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина*

На сегодняшний день активно развиваются беспроводные технологии передачи данных. Это предопределяется удобством их использования, низкой стоимостью и приемлемой пропускной способностью. Исходя из динамики развития современных электронных устройств, можно сделать вывод о том, что по количеству и распространению, беспроводные технологии в ближайшее время полностью заменят проводные в сферах коммутации и передачи данных между устройствами общего пользования.

В последние годы, лидирующие позиции

среди беспроводной передачи данных заняли устройства, работающие по стандартам IEEE 802.11 (Wi-Fi) и IEEE 802.15.1 (Bluetooth) [1,2]. Это связано с появлением на рынке большого количества доступных модулей беспроводной передачи данных и микроконтроллеров. Еще одной причиной является популяризация концепции IoT (Интернета вещей). В рамках данной концепции, бытовые приборы подключаются к единой домашней сети, которая предоставляет возможность удаленного управления каждым устройством, а также, такой подход значительно

повышает уровень безопасности. Такие системы широко распространены в системах “умного дома”.

С распространением концепции IoT, появилось понятие беспроводных датчиков, которые являются неотъемлемой составляющей домашней сети или сети умного дома. Беспроводные датчики – это устройства, объединяющие в едином корпусе первичный преобразователь и модуль передачи данных. Эти устройства целесообразны как с экономической точки зрения, так и с технической. Отсутствие проводов позволяет уменьшить габаритные размеры устройств за счет удаленного размещения обрабатывающих элементов, упрощается установка на подвижных объектах, в системах, где проводная передача тяжело реализуется, или вообще невозможна. Отсутствие громоздких коммуникационных разъемов, кроме уменьшения массогабаритных характеристик, повышает надежность и долговечность приборов и информационных систем в целом.

Применение беспроводных датчиков актуально для удаленного контроля и мониторинга данных, так как возможна организация мобильного доступа к информации через Интернет или иные программные продукты в режиме реального времени.

На сегодняшний день наиболее распространенным модулем Wi-Fi технологии является модуль ESP8266 фирмы Espressif - это мощное и недорогое устройство, которое поддерживает полноценную работу в сети Wi-Fi. Модуль поддерживает разные режимы эксплуатации (передатчик или точка доступа), кроме того, в зависимости от сферы применения, модуль выпускается в различных модификациях (мощность антенны, количество портов ввода/вывода и др.), что значительно упрощает и расширяет сферы его применения.

Как было замечено ранее, стандартная схема беспроводного датчика представляет собой подключение, или объединение на одной плате, чувствительного элемента, управляющего микроконтроллера (МК) и модуля беспроводной связи. В модуле ESP8266 управляющий МК и модуль приема/передачи объединены на одной печатной плате, а в некоторых модификациях, в едином металлическом корпусе, который также выполняет функции радиатора (рисунок 1).



Рисунок 1 – Модуль ESP8266

Такая схема значительно упрощает общую конструкцию самого беспроводного датчика.

ESP8266 управляется 32 битным МК Xtensa LX106 с тактовой частотой 80 MHz. Для подключения чувствительных элементов, модуль имеет (в зависимости от модификаций) до 16 портов ввода/вывода с наиболее распространенными интерфейсами: SPI, I2C, I2S, UART, 10-bit АЦП. Это позволяет без дополнительных согласующих устройств подключить большинство современных датчиков. Также, необходимо отметить, что модуль ESP8266 может управляться и от внешнего МК, таким образом, давая возможность модификации беспроводных датчиков построенных по стандартной схеме.

Для подтверждения эффективности использования модуля ESP8266 в концепции IoT и беспроводных датчиках был разработан макетный образец, функциональная схема которого представлена на рис.2.

На вход интегрального стабилизатора 2 подается напряжение +5В от блока питания 1. Необходимые напряжения для питания электронных компонентов подаются на Wi-Fi-модуль ESP8266 (блоки 3, 4 и 5), микроконтроллер ATmega328 (блоки 6, 7 и 8), чувствительный элемент (ЧЭ) акселерометр GY-61 ADXL335 (блок 9). МК 3 ESP8266 создает точку доступа, и после подключения клиента 11 и получения запроса, посылает запрос через последовательный интерфейс 5 к МК 6 ATmega328. После получения запроса, МК 6 ATmega328 считывает значение с ЧЭ 9. Сигнал от ЧЭ принимается АЦП 7 и обрабатывается МК 6, после передается через последовательный интерфейс 8 на приемное устройство 5 модуля ESP8266. Полученные данные, готовятся к передаче на МК ESP8266 3 и передаются передатчиком 4. Переданные данные принимаются Wi-Fi модулем 10 принимающего устройства-клиента 11. После подключения клиент 11 получает javascript-приложение, которое регулярно опрашивает модуль и отображает данные в реальном времени.

При разработке программного обеспечения использовалось Arduino IDE, что существенно ускоряет и упрощает процесс настройки макета [3].

После сборки и отладки макетного образца, были проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили стабильность канала обмена данными и отсутствие потери пакетов. Было установлено, что эффективное расстояние передачи находится в пределах 15-20 м (при одной несущей железобетонной стене), что достаточно для реализации домашних сетей. Также, были произведены модификации макета, что позволило отказаться от управляющего МК ATmega328 и передавать данные от ЧЭ непосредственно на МК ESP8266 (блок 3). Это в

свою очередь позволило уменьшить стоимость датчика более чем в 2 раза по сравнению с первоначальной конструкцией и в 2-4 раза по сравнению с существующими аналогами [1].

Таким образом, была показана возможность и эффективность создания беспроводных датчиков с использованием модуля беспроводной

передачи данных ESP8266 для применения в домашних сетях в пределах концепции IoT.

Такой подход делает возможным реализацию систем умного дома не прибегая к использованию специализированного оборудования, что в конечном счете, приводит к повышению уровня безопасности.

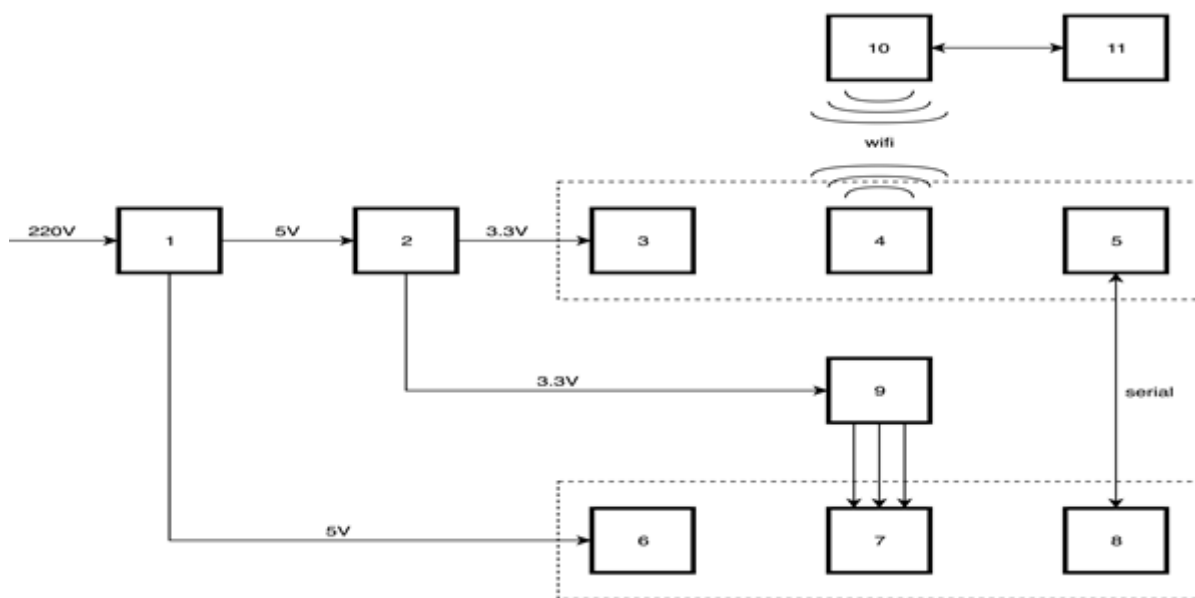


Рисунок 2 – Функциональная схема беспроводного датчика на базе модуля ESP8266

1. Обзор современных технологий беспроводной передачи данных в частотных диапазонах ISM (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi) и 434/868 МГц [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.wireless-e.ru/articles/technologies/2011_4_6.php
2. Фрайден Дж. Современные датчики

- [Справочник] / Дж. Фрайден. – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с..
3. Arduino IDE for ESP8266 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.devacron.com/arduino-ide-for-esp8266>

УДК 621.382

СПЕКТРОСКОПИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДИАГНОСТИКЕ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Сопряков В.И., Полхутенко С.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Контроль статической вольтамперной характеристики (ВАХ) полупроводниковых нелинейных элементов и ее параметров является распространенной формой операционного контроля и контроля готовой продукции, так как он является неразрушающим и может быть реализован простыми методами и средствами. На ВАХ полупроводниковых приборов оказывают влияние химические дефекты, неоднородности распределения электрофизических параметров материала, микро- и макродефекты структуры, состояние поверхности и качество контактов. Эти факторы

определяют надежность прибора, однако их влияние на ВАХ может быть незначительным и не может быть обнаружено по ее виду.

Измерение и запись кривой второй производной ВАХ $I''(U)$ позволяет решить задачу разрешения ее тонкой структуры и определения факторов, влияющих на надежность. В зависимости от типа прибора и ветви ВАХ, в которой проводится контроль, получаемая информация может носить как качественный, так и количественный характер.

Известно, что амплитуда второй гармоники (U_2) переменного тока низкой частоты в режиме малого сигнала в цепи нелинейного элемента пропорциональна $I''(U)$. Для измерения $I''(U)$ разработана установка модуляционного дифференцирования ВАХ, в которой реализован метод детектирования гармоник. Установка позволяет измерять и записывать на двухкоординатный потенциометр ВАХ и ее вторую производную в диапазонах $0 \dots 2,0$ В и $0 \dots 1000$ В. Чувствительность в режиме измерения второй гармоники составляет 1 мкВ при отношении сигнал-шум, равном трем.

Измерительная схема представляет последовательное соединение исследуемого диода и малого измерительного сопротивления. При измерении $I''(U)$ в измерительную схему подается постоянное напряжение, промодулированное малым переменным напряжением с частотой 300 Гц. Амплитуда модуляции и величина измерительного сопротивления регулируются с целью достижения оптимального разрешения и помехоустойчивости. Сигнал с измерительного сопротивления подается на режекторный фильтр, селективный усилитель, настроенный на частоту второй гармоники и синхронный детектор.

Для силовых диодов большой площади качество кремния имеет определяющее значение, так как при высоких обратных смещениях р-п перехода может возникать неоднородное распределение тока и температуры по площади и неустойчивость его протекания. Информацию о неоднородности распределения тока по площади несет структура ВАХ перед участком лавинного электрического пробоя. Ток при этом протекает в местах скопления дислокаций, включенный второй фазы, неоднородностей удельного сопротивления.

Значения напряжений возрастания $I''(U)$ соответствуют началу линейных участков ВАХ, связанных с отдельными микроплазмами. На рисунке 1 показаны $I''(U)$ в предпробойной области потенциально ненадежного силового диода. Такая техника может быть использована и для контроля стабилитронов.

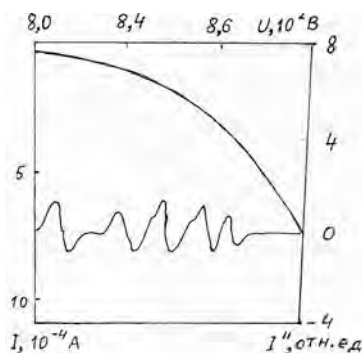


Рисунок 1

Особенности структуры ВАХ, в частности наличие линейных участков, можно описать в рамках модели суперпозиции малых максимумов тока I_t и фоновой компоненты ВАХ (штриховая линия на рисунке 2). В сильно легированных р-п переходах с концентрацией мелких примесей $10^{19} \dots 10^{21}$ см⁻³ эти максимумы связаны с избыточным туннельным током, протекающим через глубокие уровни дефектов.

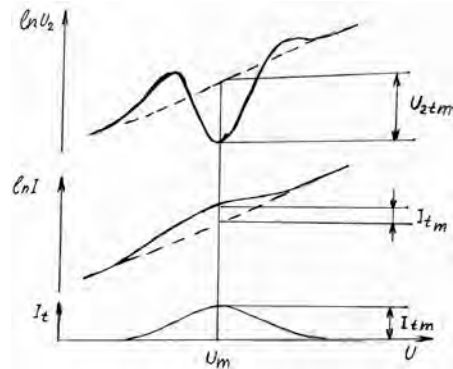


Рисунок 2

Принимая максимум избыточного тока в виде нормального распределения, получена формула для обработки экспериментальных кривых $I''(U)$

$$I_{tm} = 0,115(4U_{2tm} / U_n^2 R_n) \Delta U^2,$$

где I_{tm} – значение избыточного тока в максимуме, U_{2tm} – разность между значениями фоновой и сигнальной кривых $U_2 = f(U)$, U_n – амплитуда напряжения переменного тока на образце, R_n – значение измерительного сопротивления. Предельное разрешение максимума избыточного тока составляет $0,003 \dots 0,01$ от значения фоновой тока.

Энергетическое положение глубокого уровня однозначно связано с напряжением минимума на кривой $I''(U)$, а его концентрация пропорциональна значению I_{tm} . На рисунке 3 приведен пример разрешения структуры ВАХ методом двойного дифференцирования.

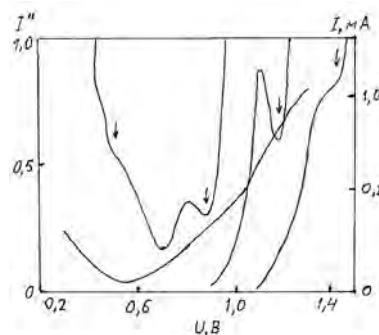


Рисунок 3 – ВАХ и $I''(U)$ диода на основе сильно легированного GaAs при $T = 77$ К

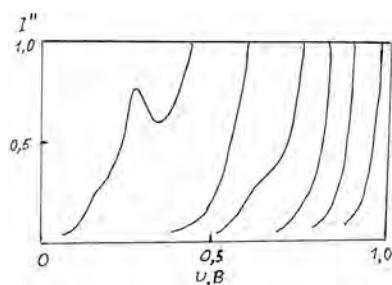


Рисунок 4 – Вторые производные ВАХ кремниевого диода с концентрацией мелкой примеси 10^{17} см^{-3} и глубокой примесью золота ($T = 77 \text{ К}$)

Нелинейности ВАХ р–n-переходов с концентрацией мелких примесей $10^{16} \dots 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и менее могут отражать наличие глубоких примесей (рисунок 4), либо особенности технологии, вносящей высокие концентрации структурных дефектов, например ионной имплантации, которая для бракованных элементов дает картину, сходную с рисунком 4.

УДК 681.723.078, 681.775.078, 681.777.078

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ ФОНОВОГО СИГНАЛА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОЭП

Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В связи с совершенствованием технологии создания фотоприёмников, в схемах работы оптико-электронных приборов (ОЭП), таких как цифровые автоколлиматоры [1], микроскопы, системы астроориентации [2], пеленгаторы [3], фотоприёмник выступает не только в виде регистрирующего устройства, но и в качестве отсчётного, поскольку его элементы – пиксели – имеют высокую точность пространственной периодичности. Таким образом, точность работы данных ОЭП зависит от точности определения координат энергетического центра тяжести изображения, формируемого на фотоприёмнике ОЭП [4]. Одним из факторов, оказывающим существенное влияние на выходные параметры системы, являются шумы электронного тракта ОЭП.

Для ПЗС матриц работающих в видимом спектральном диапазоне на точность регистрации измерительного сигнала значительное влияние (по уровню значимости), оказывают: дробовый шум темнового тока, шум считывания, фотонный (дробовый) шум. В КМОП матрицах дополнительно присутствует геометрический шум. Носители заряда в фотоприёмнике могут иметь свободную генерацию и в отсутствие внешней засветки. Поэтому различают две составляющие дробового шума: шум, создаваемый фотогенерированными зарядами (фотонный), и шум темнового сигнала [5].

Часто на фотоприёмник поступает не только основной измерительный сигнал, но и фоновый, который в свою очередь приводит к появлению дополнительных шумов, которые способствуют увеличению погрешности определения координат энергетического центра тяжести

измерительного сигнала.

Для экспериментального определения степени влияния шумов электронного тракта на точность определения координат энергетического центра тяжести изображения тест-объекта, использовались две модели цифровых видеокамер:

- CV-M2CL, JAI, в качестве фотоприёмника используется ПЗС матрица Kodak KAI-2020;
- Genie HM1400 XDR CR-GM01-H1400, в качестве фотоприёмника используется Teledyne DALSA КМОП матрица.

Схема эксперимента заключалась в проецировании круглого тест-объекта, подсвечиваемого осветителем со светодиодом LXML-PL01-0030, на фотоприёмник. Величина сигнала в изображении тест-объекта была такой, что генерировала 70% электронов от величины потенциальной ямы в пикселе фотоприёмника. За счёт случайных составляющих, в основном шумов фотоприёмника и электронного тракта, изображение тест-объекта на фотоприёмнике не было статичным. Влияние температурного дрейфа пикселей фотоприёмника сводилось к минимуму за счёт его термостабилизации (предварительный прогрев в течение 1,5 – 2 часов), которая позволила на 13,5135 пикселя уменьшить полученные значения; а во время съёмки – за счёт введения калибровочного коэффициента, в значения координат энергетического центра тяжести изображения тест-объекта.

Съёмка проводилась с кадровой частотой 0,83 кадров/секунду (100 снимков в течение 2 минут). Кадры снимались через равные промежутки времени. По каждому кадру определялись координаты энергетического центра тяжести

изображения тест-объекта (C_x и C_y) в долях пикселя по формуле [6]

$$C_x = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m} \cdot n}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m}}, \quad C_y = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m} \cdot m}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m}},$$

где $I_{n,m}$ – величина сигнала в пикселе n, m ; N, M – число столбцов и строк фрагмента фотоприёмника яркостей принятого для расчёта (на 10 пикселей больше размера изображения тест-объекта с каждой стороны); n, m – порядковые номера пикселей по столбцам и строкам фотоприёмника.

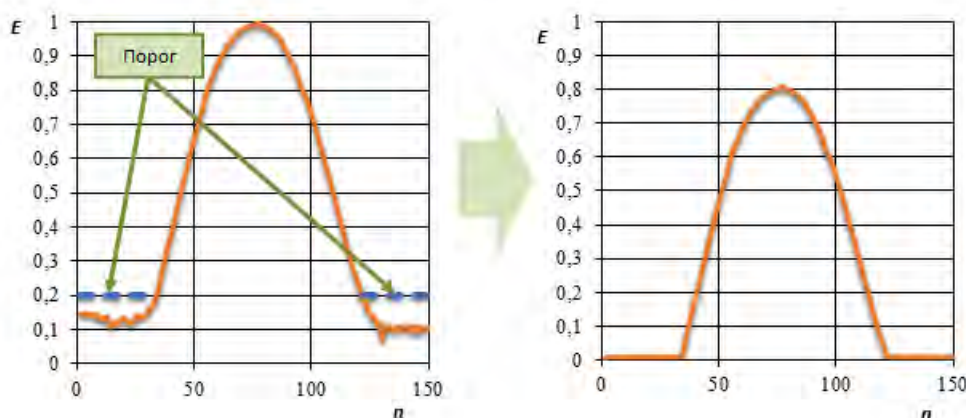


Рисунок 1 – Профиль сигнала E в части n строки фотоприёмника с частью изображения тест-объекта

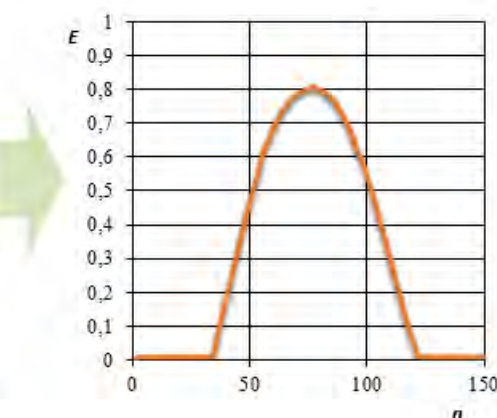
Среднеквадратическое отклонение (СКО) координаты энергетического центра тяжести изображения тест-объекта серии кадров составило для:

- CV-M2CL, JAI – 0,0375 пикселя;
- Genie HM1400 XDR CR-GM01-H1400 – 0,0373 пикселя.

Полученные результаты являются практически идентичными для двух цифровых видеокамер.

Рассмотрим суть способа на примере профиля E в части n строки фотоприёмника с частью изображения тест-объекта, представленного на рисунке 1. Метод заключается в фильтрации зашумлённого фонового сигнала: сигнал меньше определённого значения, принимается равным величине порога шумов. Величина порога шумов определяется таким образом, чтобы отфильтровать все значения зашумлённого фонового сигнала в области расчёта. Таким образом, фильтруется не только зашумлённый фоновый сигнал, но и края изображения тест-объекта, что ведёт к незначительному снижению точности определения координат энергетического центра тяжести тест-объекта для оптимального отношения сигнал/шум более 9. При низком отношении сигнал/шум менее 9 необходимо при расчётах энер-

гетического центра тяжести использовать значения интенсивности в квадрате, что приводит к уменьшению фильтрации краёв изображения тест-объекта. Оптимальное отношение сигнал/шум установлено экспериментально. Применяв способ уменьшения влияния шумов фонового сигнала, заключающийся во введении величины порога шумов, значения ниже которого принимаются нулевыми, были получены следующие СКО серии кадров:



гетического центра тяжести использовать значения интенсивности в квадрате, что приводит к уменьшению фильтрации краёв изображения тест-объекта. Оптимальное отношение сигнал/шум установлено экспериментально.

Применив способ уменьшения влияния шумов фонового сигнала, заключающийся во введении величины порога шумов, значения ниже которого принимаются нулевыми, были получены следующие СКО серии кадров:

- CV-M2CL, JAI – 0,0106 пикселя;
- Genie HM1400 XDR CR-GM01-H1400 – 0,0037 пикселя.

Таким образом, для цифровой камеры CV-M2CL, JAI улучшение составило ~ 3 раза, а для цифровой камеры Genie HM1400 XDR CR-GM01-H1400 – ~ 1 порядок.

1. Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В. Высокоточный цифровой автоколлиматор для измерения малых углов. 7-я международная студенческая научно-техническая конференция «Новые направления развития приборостроения». Минск, Изд-во «Техническая литература» БНТУ, 2014. – С. 244.
2. Аванесов Г.А., Кондратьева Т.В., Никитин А.В. Исследование смещения энергетиче-

- ского центра изображений звёзд относительно геометрического центра на ПЗС матрице и коррекция методической ошибки. // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов». Таруса, 22-25 сентября 2008. Сборник трудов. ИКИ РАН, 2009. – С. 421-446.
3. Савинков В.В. Исследование и разработка алгоритмов обработки сигналов в оптико-электронных пеленгаторах: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.11.07 / Савинков В. В.; [Место защиты: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана] Москва, 2007. – 16 с.
 4. Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В. Оценка точности определения координат энергетического центра тяжести тест-объекта коллиматора в схемах контроля оптико-электронных приборов с матричными фотоприёмниками. Наука и техника. 2015, №5. С. 71-76.
 5. Ляшко О.М. Проектирование оптико-электронных приборов наблюдения: учебно-методическое пособие / О.М. Ляшко. – Минск: БНТУ, 2009. – 77 с.
 6. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – 2-е изд., испр. – М.: Физмалит, 2003. – 784 с.

УДК 621.373.8:375

ОПТИМИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕСКОПА

Стасилович В.А., Фёдорцев Р.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В идеальном случае (при отсутствии атмосферных искажений) телескоп с объективом диаметром в 1 м дает угловое разрешение около $0,1'$, а с объективом в 5 м дает разрешение в $0,02'$. Однако влияние оптических неоднородностей атмосферы Земли таких как: рефракция, турбулентность, поглощающие излучение газы и аэрозоли существенно снижают эти показатели. В результате на фотографиях, полученных телескопами, угловой размер мельчайших деталей составляет $2-3'$; на лучших обсерваториях он изредка составляет $0,5'$.

Пассивный метод борьбы с атмосферными искажениями заключается в том, что обсерватории строят на вершинах гор, обычно на высоте $2-3$ км, выбирая при этом места с наиболее прозрачной и спокойной атмосферой.

Тем не менее, наиболее эффективным считается применение адаптивных оптических систем способствующих выравниванию волнового фронта путём введения в конструкцию телескопов управляемых оптических элементов, обеспечивающих уменьшение влияния нерегулярных искажений и неоднородностей атмосферы за счёт постоянной коррекции входного сигнала по системе обратной связи.

Адаптивные оптические системы предназначены для решения двух основных задач:

- повышения предела разрешающей способности наблюдательных приборов;
- концентрации оптического излучения на приёмнике или мишени.

Среди существующих адаптивных оптических компонентов линейной фазовой коррекции волнового фронта различают:

- активные системы первого и второго порядка, построенные на базе гибких сплошных деформируемых зеркал или составных зеркал с когерентной апертурой;

- управляемые фазовые транспаранты.

Форму зеркала корректируют различными методами: посредством пресса, при помощи электростатического поля или изменением расположения частей сегментного зеркала при помощи пьезоэлементов. В каждом из случаев присутствует система обратной связи, которая играет важнейшую роль в определении наклона пучка. В качестве системы обратной связи используют датчик интерференционного типа и типа Шака-Гартмана, а также их модификации.

Действие интерференционных датчиков основано на когерентном сложении двух световых волн и формировании интерференционной картины с зависящей от измеряемого волнового фронта интенсивностью. При этом, в качестве второй (опорной) световой волны может использоваться волна, полученная из исследуемого излучения путём пространственной фильтрации.

Датчик типа Шэка-Гартмана состоит из матрицы микролинз и расположенного в их фокальной плоскости фотоприёмника [1]. Каждая линза обычно имеет размеры от 1 мм и меньше (рисунок 1). Линзы датчика разделяют исследуемый волновой фронт на субапертуры (апертура одной микролинзы), формируя в фокальной плоскости совокупность фокальных пятен. Положение каждого из пятен зависит от локального наклона волнового фронта пучка, пришедшего на вход датчика. Измеряя поперечные смещения фокальных пятен, можно вычислить средние углы наклонов волнового фронта в

пределах каждой из субапертур. По этим величинам вычисляется профиль волнового фронта на всей апертуре датчика.

Системы адаптивной оптики на основе деформируемых зеркал применяются в оптических и инфракрасных телескопах наземного базирования для динамической коррекции атмосферных искажений (рисунок 2). В частности, широко известна RTAC (Real-Time Atmospheric Compensation) Дж. Харди, разработанная компанией Jtek (США) и установленная в Kennedy Space Center [2].

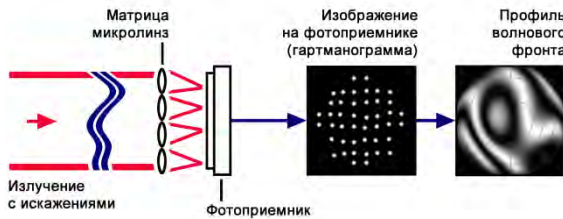


Рисунок 1 – Общая схема датчика волнового фронта типа Шака-Гартмана

Униформные (полупассивный-биморф) зеркала представляют собой тонкие пластины, изготовленные из пьезоэлектрического материала, на которой особым образом расположены электроды. Пластина присоединена к подложке, на передней поверхности которой сформирована оптическая поверхность. При приложении напряжения к электродам пьезоэлектрическая пластина сжимается (или расширяется), что приводит к изгибу оптической поверхности зеркала. Особое пространственное расположение электродов позволяет формировать сложные рельефы поверхности.

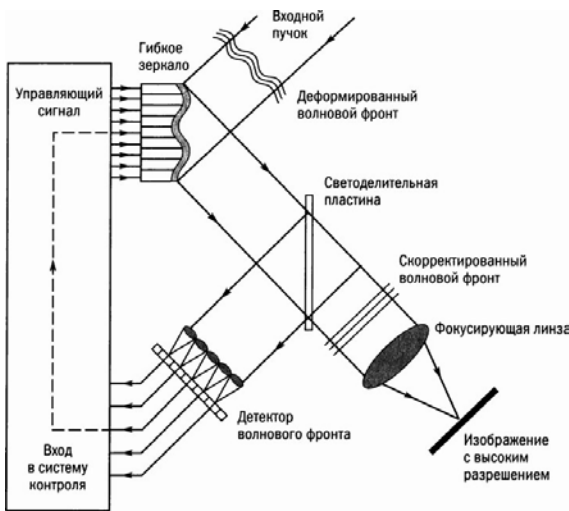


Рисунок 2 – Схема телескопа с применением адаптивной оптической системы

Скорость управления формой адаптивного зеркала позволяет использовать его для компенсации динамических aberrаций в режиме реального времени.

Высокая стоимость коммерческой реализации рассмотренных выше адаптивных оптических систем ограничивает область их практического применения, на данный момент они используются преимущественно в больших профессиональных телескопах с диаметрами зеркал от 6 м. В полупрофессиональных и любительских телескопах с диаметрами зеркал от 80 до 500 мм коррекция волнового фронта не предусматривается. Естественно, используя такой телескоп, количество наблюдаемых объектов, а также качество получаемых изображений значительно ниже, чем в обсерваториях. Перспективным является направление применения адаптивных оптических систем в малогабаритных переносных любительских телескопах.

В конце 1960-х годов на основе эмпирических исследований в работах Колчинского, Татарского, Фрида были сформулированы атмосферные ограничения астрономических системы. Результаты были получены для модели Колмогорова-Обухова спектра флуктуаций показателя преломления [3]:

$$\Phi_n(\chi, h) = 0.033 C_n^2(h) \chi^{-\frac{11}{3}}, \frac{1}{L_0} \ll \chi \ll \frac{1}{l_0},$$

где $C_n^2(h)$ – структурный параметр показателя преломления атмосферы, h – текущая высота на подстилающей поверхности в атмосфере, χ – волновое число для турбулентных неоднородностей, L_0, l_0 – внешний и внутренний параметр для турбулентности.

На основе решения задачи распространения оптических волн в случайно-неоднородных средах показано. Что структурная функция фазы на расстоянии ρ подчиняется закону “5/3”:

$$D_s(\rho) = 2,91 k^2 \int_0^\infty dh C_n^2(h) \rho^{\frac{5}{3}},$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ – длина волны излучения.

Исходя из приведенного выражения, становится очевидным, что при наблюдении в зенит на длине волны около 500 нм радиус когерентности составляет всего 100 мм.

Но, если учесть тот факт, что наблюдения производятся чаще всего не в зените, а при некотором наклоне оси визирования, получается, что световой поток преодолевает большее расстояние. И при наблюдении по углом 20 градусов к горизонту световой поток преодолевает более 10 км плотных слоёв атмосферы и более 270 км слоёв, влияющих на наблюдения. Следовательно, при наблюдении наклонного пучка атмосферные явления имеют ещё больший вес и радиус когерентности светового потока значительно уменьшается.

Эмпирические данные показывают, что, несогласованность когерентности уже оказывает существенное влияние для случая, когда радиус

зеркала составляет всего 0,01 от радиуса когерентности [4]. Следовательно, даже при использовании телескопов с небольшими диаметрами зеркал – любительских телескопов, атмосферные явления вносят существенный отпечаток в формирование изображения. Как следствие применение адаптивных оптических систем позволило бы существенно улучшить качество получаемого изображения.

1. Hardy, J.W., Lefebvre, J.E., Koliopoulos, C.L. Real-time atmospheric compensation. Optical Society of America, Journal, vol. 67, Mar. 1977, pp. 360-369.

2. Полещук А.Г., Седухин А.Г., Трунов В.И., Максимов В.Г. Датчик Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами. Журнал «Компьютерная оптика» Вып. №4. Том 38. 2014. С.695–703.

3. А. Вирт, Т. Гонсировский. Адаптивная оптика: Согласование атмосферной турбулентности. Журнал «Фотоника». Вып. №6, 2007. – С.10-15.

4. В.П. Лукин, Адаптивное формирование оптических изображений в атмосфере. Конференции и Симпозиумы. Новосибирск, УФН. Т.176, №9. – 2006. – С.1000 – 1006.

УДК 620.179:534.6 (043.3)

СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ИМПЕДАНСНОГО КОНТРОЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сулов Е.Ф.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина*

Современную аэрокосмическую отрасль невозможно представить без композиционных материалов (КМ). На сегодняшний день композиты широко используются в конструкциях самолетов и вертолетов, как военного, так и гражданского назначения. КМ широко применяются в таких высоконагруженных элементах как: крыло, горизонтальное и вертикальное хвостовое оперение, поверхности управления (рули высоты, направления, элероны, закрылки), интерцепторы, хвостовые балки, элементы несущего и рулевого винтов, люки, шасси и т.д.

Технологический процесс производства композиционных элементов конструкции чувствителен к ошибкам, которые в свою очередь, ведут к появлению дефектов и неоднородностей структуры готового изделия. Часто дефекты материала вызывают изменения физико-механических характеристик изделия в целом и уменьшают его прочностные показатели ниже предельно допустимых уровней.

Для неразрушающего контроля композитов используется большое количество методов, однако, на практике предпочтение отдается тем, которые являются наиболее простыми в реализации. Таковым является акустический импедансный метод. Данный метод использует влияние дефекта на смену механического импеданса системы объект контроля – первичный преобразователь. Он является одним из основных средств неразрушающего контроля на территории стран СНГ и Европы, используется при контроле сэндвич-панелей с сотовым наполнителем, многослойных конструкций, выполненных из ПКМ, металлов и других материалов и их сочетаний.

[1]. Импедансный метод внесен в руководств по технической эксплуатации ряда летательных аппаратов как базовый для периодического контроля сотовых конструкций на наличие отслоений внешней обшивки от сотового наполнителя. Дефектоскопы на его основе прошли межведомственные испытания, внесены в ведомственных реестров авиационных администраций и рекомендованы для проведения контроля композитных агрегатов на транспортных и пассажирских самолетах ИЛ-76, ИЛ-86, ИЛ-96-300, ТУ-204, ТУ-214, ЯК 42 и АН-124 «Руслан» [2]. На самолетах Airbus ИМ метод применяется в качестве дополнительного при контроле элементов на основе КМ с сотовым наполнителем.

Принцип действия метода основан на изменении механического импеданса зоны взаимодействия между преобразователем и объектом контроля. Эти изменения влияют на амплитуду, фазу и частоту выходного электрического сигнала первичного преобразователя. Кроме того, различия физико-механических характеристик контролируемой зоны, может приводить к изменению формы огибающей информационного сигнала.

Существует два типа дефектоскопов, реализующих импедансный метод – с непрерывным и импульсным возбуждением. Приборы с непрерывным возбуждением имеют сравнительно высокую мощность, что усложняет создание их мобильных версий. Таким образом, наиболее распространенные дефектоскопы имеют импульсный вид возбуждения. Пиковая амплитуда сигнала может быть достаточно просто измерена как в импульсном, так и непрерывном режиме

возбуждения преобразователя. Задача определения частоты и фазы сравнительно просто решается для непрерывного режима работы, но значительно усложняется для импульсного. Использование амплитуды сигнала как информативного параметра распространено в современных импедансных дефектоскопах, однако этот параметр имеет низкую устойчивость к воздействию случайной составляющей, источниками которой могут быть как неоднородность структуры ОК и фрикционные шумы преобразователя, так и электромагнитные помехи. Уменьшение влияния случайной составляющей можно достичь использованием интегральных характеристик сигналов.

Применение спектрального анализа к информационного сигнала импедансного преобразователя также имеет некоторые ограничения. Основная проблема заключается в ограничении разрешения полученного спектра, что обусловлено малой продолжительностью результирующего радиоимпульса преобразователя. Длина принятого импульса также изменяется в зависимости от материала, из которого выполнен ОК. Например, для реализации спектральной плотности сигнала, полученного с помощью распределительно-совмещенного преобразователя для образца, который представляет собой сэндвич-панель толщиной 7 мм с пенопластовым наполнителем ПС4-40 и обшивкой на основе стеклоткани Э3-125, продолжительность радиоимпульсов составляет примерно $16 \cdot 10^{-4}$ с. Это позволяет получить разрешающую способность 640,61 Гц на отсчет. Несмотря на значительную добротность принимающего пьезоэлемента, полученная величина может быть недостаточной для оценки влияния механического импеданса на резонансную частоту преобразователя. Таким образом, актуальной является задача создания и внедрения новых методов обработки сигналов, получаемых от первичных преобразователей дефектоскопов.

В работе предполагается расширить перечень информативных параметров, которые используются для принятия диагностических решений, за счет фазовых характеристик сигнала, а также характеристик формы, его огибающей. Для решения этих задач было использовано преобразование Гильберта (ПГ).

Результатом преобразования Гильберта действительного сигнала $x(t)$, определенного во временной области, является его Гильберт-образ $\tilde{x}(t)$, также определен во временной области. Сумма исходного и полученного сигналов представляет собой так называемый «аналитический» сигнал $z(t)$. Принимая за основу $z(t)$, можно получить амплитудную огибающую выходного

сигнала $A(t)$ и его «мгновенную» фазу $\theta(t)$ как функции времени. В процессе обработки $\theta(t)$ преобразуется в фазовую характеристику сигнала $\Phi(t)$. В работе предлагается использовать $\Phi(t)$ для расчета дополнительных информативных параметров.

Для оценки влияния дефекта на фазочастотные характеристики информационного сигнала можно выполнить интегрирование фазовой характеристики на выбранном интервале T и использовать полученную величину Fa как информативный параметр:

$$Fa = \int_{t_1}^{t_2} \Phi(t) dt \quad (1)$$

Точка t_1 может быть принята за нулевой отсчет реализации фазовой характеристики, в то время, как t_2 может быть выбрана экспериментально, исходя из обеспечения максимальной чувствительности при наименьшем количестве случайных выбросов, вызванных резкими скачками фазы вследствие неэффективной работы алгоритма развертки на основе выражения (1) при увеличении уровня шума.

В качестве информативного параметра, характеризующего степень отличия фазовых характеристик, полученных из дефектной и бездефектной областей объекта контроля, предлагается использовать параметр Fb :

$$Fb = \int_{t_1}^{t_2} [\Phi_2(t) - \Phi_1(t)] dt \quad (2)$$

Расчет данного параметра можно проводить следующим образом. На первом этапе от бездефектной области ОК получаем реализацию информационного сигнала, для которого рассчитываем эталонную фазовую характеристику $\Phi_1(t)$. Далее рассчитываем разницу между $\Phi_1(t)$ и $\Phi_2(t)$ той, которую получаем из текущей области сканирования. Отличие полученной разностной характеристики будет тем больше, чем больше отличаются физико-механические характеристики контролируемой зоны.

Для проведения экспериментальных исследований был разработан прототип импульсного импедансного дефектоскопа. Разработанная система состоит из стандартного раздельно-совмещенного преобразователя РС-1 производства ООО «Вотум», Москва, РФ, универсального АЦП Acute 1201 (Acute LTD, Тайвань), генератора возбуждения преобразователя, усилителя и персонального компьютера. В качестве платформы разработки программного обеспечения была использована NI LabView. Данный подход позволил значительно ускорить процесс создания прототипа.

Использование предложенных информатив-

ных характеристик позволило расширить перечень измеряемых параметров сигнала, по которым возможно принимать диагностические решения. Испытания прототипа дефектоскопа показало, что предложенные параметры позволяют обеспечить более высокий уровень достоверности, чем традиционные [3].

1. Ланге Ю.В. Акустические низкочастотные методы неразрушающего контроля многослойных конструкций. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.

УДК 681.121.4(035)

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА ТЕПЛООВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ

Ташматов Х.К., Музафаров А.Р.

Ташкентский государственный технический университет
Ташкент, Республика Узбекистан

В данной работе предлагается разработанная измерительная схема и основные элементы измерительной схемы теплового преобразователя уровня воды и обосновывается, что тепловые преобразователи являются одним из перспективных, благодаря высокой чувствительности, точности и надежности.

Тепловые преобразователи уровня характеризуются наличием следующих основных элементов: теплопровода (ТП); нагревательного элемента (НЭ); термочувствительного элемента (ТЧЭ) и измерительной схемы (ИС).

Именно сочетание в конструкциях тепловых преобразователей уровня различных вариантов теплопровода, нагревательного элемента, термочувствительного элемента и измерительной схемы позволяет получить тот или иной принцип построения. С целью создания различных вариантов основных элементов преобразователя уровня нами были разработаны морфологические таблицы основных элементов [1].

На основании анализа принципов построения тепловых преобразователей уровня можно сделать вывод о возможности разработки различных конструкций, в которых имеют место различные сочетания вышеуказанных основных элементов: ТП, ПЭ, ТУЭ и ИС [2].

Терморезистор постоянно находится в нагретом состоянии, это состояние является рабочим эксплуатационным состоянием терморезистора. Температура, до которой разогревается терморезистор, выбирается и определяется исходя из температурной характеристики терморезистора [3]. Надежность сигнализатора обеспечивается простотой измерительной цепи, которая представляет собой электронное реле, работающее в элементарном режиме «да» - «нет».

Терморезисторный преобразователь уровня жидкости [4] содержит теплопровод 1, нагревательный элемент 2, терморезистор 3 и измери-

2. Азаров Н.Т., Сырбу В.Н. Контроль клееных сотовых конструкций самолетов импедансным дефектоскопом ДАМИ-С. / Н.Т. Азаров, В.Н. Сырбу // В мире неразрушающего контроля. – 2003. – №3. – С. 16 – 29.

3. Eremenko V. Using Hilbert Transform for Signal Processing in Mechanical Impedance Analysis / I. Lysenko, A. Protasov, E. Suslov, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wcndt2016.com/portals/wcndt/bb/P172.pdf> (10.09.2016).

тельную схему, состоящего из мостовой схемы 4, усилителя 5 и реле 6 (см. рис.1).

Терморезисторный уровнемер жидкости работает следующим образом: при включении источника постоянного тока 7 терморезистор 4 начинает нагреваться нагревательным элементом 10 до определенной температуры. Терморезистор выходит в рабочий нагретый режим за время не более 10 сек.

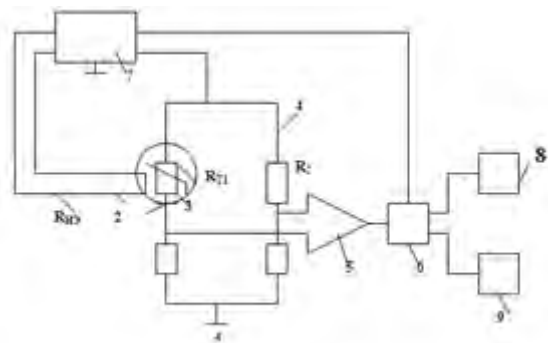


Рисунок 1 – Измерительная схема теплового преобразователя уровня воды для систем индикации и управления насосом воды:
1-теплопровод; 2-нагревательный элемент;
3-терморезистор; 4-мостовая схема;
5-дифференциальный усилитель; 6-реле;
7-источник питания; 8-насос; 9-индикатор.

По достижении рабочей температуры сопротивление терморезистора изменяется настолько, что поступают импульсы на дифференциальный усилитель 5, цепь реле 6 замыкается и переходит в режим «да», и подается сигнал, который включает насос, который подает жидкость, а светодиод индикатора 9 загорается. При касании жидкостью преобразователя уровня благодаря разным коэффициентам теплоотдачи жидкости $\alpha_{ж}$ и газа $\alpha_{г}$ (изначально окружавшего преобразователь), последний резко меняет свое сопротивление,

ние, электронное реле мгновенно размыкается и переходит в режим «нет», о чем свидетельствует гаснущий светодиод индикатора 9 и выключенный насос 8.

Основные элементы измерительной схемы.

Усилитель напряжения. Выходное напряжение с мостовой схемы необходимо усилить. Для этого используем микросхему операционного усилителя К140УД15.

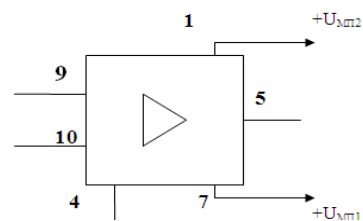


Рисунок 2 – Микросхема операционного усилителя К140УД15

Технические характеристики усилителя

$U_{и.п1}$, В	+15
$U_{и.п2}$, В	-15
$I_{пот}$, мА, не более	12
$I_{Б.У.}$, мА, не более	9
$U_{см}$, мВ, не более	± 7.5
$I_{ВХ}$, мкА, не более	± 1.7
$K_{О.С.СФ.ДБ}$, не более	60
$U_{ВЫХ}$, В	12
$R_{ВХ}$, кОм, не более	4
$R_{ВЫХ}$, кОм, не более	700

Схема управления.

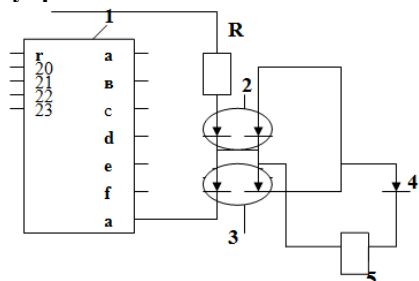


Рисунок 3 – Схема управления устройством:
1 – дешифратор; 2, 3 – оптроны; 4 – индикатор;
5 – источник питания

Основные данные ИВ – 18

Цвет свечения	зелёный
Яркость индикатора, кд/м ² , не менее:	
одного цифрового разряда	900
служебного разряда	200
Напряжение накала, В	85±10
Ток накала, мА	50
Напряжение анода – сегмента, В	45
Ток анодов – сегментов суммарный, мА	
для девяти разрядов	50
Скважность	10± 1
Минимальная наработка, ч	10000
Срок хранения, лет, не менее	4

Блок питающих напряжений.

Выбор оптимального источника питания для теплового уровнемера жидкости – ответственная задача, поэтому, прежде всего следует определить необходимое и достаточное качество его выходного напряжения.

Источник питания должен обеспечить питание для аналоговых микросхем:

К140УД15:	+15В....-15
КР590КН1	+15В...-15В
К1113ПВ1А	+5 В....-15 В
КМ1816ВЕ751А:	+5 В
К555ИД18	+5 В

Выберем трансформатор ТПТ259 127 / 220 – 50, мощностью 31 В·А с брелевым сердечником ШМЛ 25*32 и напряжением вторичных обмоток 5; 10; 1. 34 В.

Для выпрямления напряжения используем диодный мост КУ401Г (Iпотмах = 0,5 А).

При стабилизации напряжения питания будем использовать:

Для Uпит1 = +15В – микросхему К142ЕН48.

Для Uпит2 = -15 В – микросхему К142ЕН1.

Для Uпит3 = +9 В – стабилитрон КС190Г.

(Iст3 = 10 мА).

Для Uпит4 = +5 В – стабилитрон КС156А.

(Iст4 = 5 мА)

Определим номиналы сопротивлений: R₁ и R₂

$$R_1 = 1.3 \text{ кОм.}$$

Из номинального ряда возьмём

$$R_2 = 400 \text{ Ом.}$$

Конденсаторы C₁, C₂, C₃, C₄ возьмём по 100 мкФ.

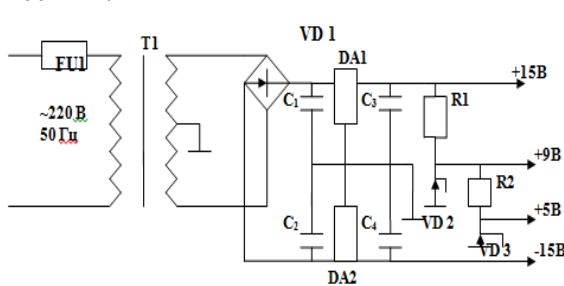


Рисунок 4 – Источник питания для теплового уровнемера жидкости

Заключение.

1. На основе анализа существующих методов и приборов контроля уровня воды, показано, что тепловые методы являются одним из перспективных, благодаря высокой чувствительности, точности и надежности [6].

2. Разработана методика проектирования конструкций ТПУ, представляющие собой последовательность систематизации требований, выбора структуры, расчета, выбор основных элементов и измерительной схемы [7].

3. Доказано, что возможности дальнейшего развития и совершенствования тепловых измери-

тельных преобразователей позволяют надеяться, что приборы, основанные на базе данного метода, в ближайшие годы найдут широкое применение в схемах контроля и регулирования различных технологических процессов гидроэнергетических установок.

1. Ташматов Х.К. Проектирование тепловых преобразователей уровня и расхода жидкостей// Химическая технология. Контроль и управление. -Ташкент, 2009.- №4.- С. 37-40.
2. Ташматов Х.К., Азимбаев Н.М. Тепловые преобразователи для систем контроля и управления уровнем воды в гидротехнических установках// Химическая технология. Контроль и управление. - Ташкент, 2011.- №2.- С. 60-61.
3. Суханова Н.Н., Суханов В.И., Юровский А.Я. Полупроводниковые термопреобразователи с расширенным диапазоном рабочих температур //Датчики и системы.- М.: 1999. – №7. – С. 65-68.
4. Ташматов Х.К. Тепловой преобразователь уровня воды//Датчики и системы.- М.: 2006.- №3. – С. 41-42.
5. Котюк О.М. Датчики в современных измерениях. Издательство: Радио и связь, 2006.
6. Ташматов Х.К. Математические модели тепловых датчиков уровня жидкости // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2009. -№3. – С. 43-46.
7. Tashmatov Kh., Mamatkulov D., Mirzokhidov J. Delelopment of thermal converters direction of flow and gas and liquid flow// The advanced science open access journal – China, June 2013. ISSN 2219-746X.

УДК 769.02

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОВЫШЕНИЯ СПОРТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Усольцев А.В.

*Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Непрерывный рост уровня спортивных результатов требует значительного увеличения объема и интенсивности тренировочных нагрузок. Объем тренировочных нагрузок в спорте высших достижений, особенно в бодибилдинге, давно близок к предельно возможному [1]. Актуальной проблемой современного спорта высших достижений является необходимость обеспечения состояния стойкой суперкомпенсации энергоресурсов при недопустимости истощения резервов функций систем организма спортсмена и сохранении его психологического и физического здоровья [2,3]. С одной стороны, в ходе тренировок обеспечивается рост тренированности спортсмена, а с другой – проводится профилактика переутомления, перенапряжения, травм и заболеваний в ходе тренировочного процесса.

Поиски новых путей повышения спортивной работоспособности, по мнению специалистов, прежде всего обусловлены низкой эффективностью легально используемых сегодня в спорте средств и методов повышения работоспособности. Существующими способами, в т. ч. мировыми, решения проблемы повышения спортивной работоспособности является использование исключительно фармакологических средств. Из-за низкой эффективности легально используемых сегодня в спорте средств и методов повышения работоспособности привлекает внимание использование допинговых средств, что вызы-

вает проблемы участия спортсменов высшей категории в престижных соревнованиях. Любое новшество, ограничивающее использование фармакологических средств, исключаящее использование допинга и обеспечивающее качественный рост эффективности в данном направлении активно востребовано. При этом физиологически обосновывается необходимость комплексного подхода в решении данной проблемы с применением широкого спектра средств и методов клинической медицины. Более тридцати лет в медицинской практике для этих целей применяются низкоэнергетические лазерные терапевтические аппараты. Терапевтическая эффективность лазерного излучения настолько эффективна, что было принято Решение Комитета по охране здоровья и спорту Государственной Думы от 24.01.2002 № 63 «О квантовой медицине и перспективах её развития в Российской Федерации».

В литературных источниках рассмотрены эффекты и механизмы действия низкоэнергетического лазерного излучения на организм человека, эффективность влияния низкоэнергетического лазерного излучения на показатели работоспособности спортсменов. Представлены результаты исследований по оценке влияния курсовых доз лазерной стимуляции на отдельные показатели работоспособности спортсменов. Приведены законы адаптации, в соответствии с которыми реализуются эффекты любых воздей-

ствий на организм человека. Известно, что сегодня созданы технологии комплексной подготовки квалифицированных атлетов, разработаны и производятся современные портативные лазерные терапевтические аппараты для спорта и спортивной медицины. Тем не менее, в настоящее время, в отечественном спорте, в том числе спорте высоких достижений, квантовые методы лечения применяются редко, в основном не для подготовки спортсменов к соревнованиям и восстановления работоспособности после них, а для лечения травм и ряда сопутствующих заболеваний [4].

Для различных видов спорта, разных спортсменов, характерен явный недостаток репрезентативных статистических данных о спаде спортивной работоспособности, появлении травм, предболезненных состояний и синдромов, появление которых, в общем случае, носит случайный характер. В реальных условиях тренировок, при наличии большого количества влияющих факторов, обычно нельзя проводить активные эксперименты, поэтому данные обычно представляют собой результаты наблюдения за происходящим процессом в течение длительного времени, которые, тем не менее, приближены из-за возрастных изменений и изменений спортивного мастерства. Известны методы последовательного лазерного воздействия на сосудисто-нервные сплетения, при этом мощность, частота, начало и окончание воздействия выбираются субъективно. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения проявляется на клеточном уровне, поэтому оперативно определить результативность его воздействия очень сложно. Необходимо разработка четких, объективных, универсальных рекомендаций по моментам и времени применения лазерных методов. Поэтому актуальным является создание предпосылок планомерного роста спортивных результатов спортсмена на протяжении всей спортивной карьеры с достижением пика спортивной формы в строго установленные сроки, за счет применения в качестве эффективного средства восстановления и повышения спортивной работоспособности низкоэнергетического лазерного излучения, разработки четких, объективных, универсальных рекомендаций по выбору длины волны, мощности, частоты лазерного излучения, моментам и времени применения.

Даже при масштабном применении лазерного излучения для лечения и профилактики широкого круга заболеваний в медицинской практике отсутствуют рекомендации по его индивидуальному применению. В тоже время, в медицинской литературе отмечается, что лазерная терапия до конца не разработана, имеются "белые пятна", а математические расчеты дозы лазерного воздействия не всегда совпадают с клиническими эф-

фектами. Основными показаниями в медицине для применения лазерной терапии являются болевые синдромы, нарушение микроциркуляции, нарушение иммунного статуса, аллергические проявления, заболевания воспалительного характера, необходимость стимулирования восстановительных процессов в тканях и регуляторных механизмов организма. Для реализации лазерной терапии выпускаются два типа низкоэнергетических лазеров: газовые гелий – неоновые и твердотельные полупроводниковые [5]. Наиболее популярны полупроводниковые лазеры, работающие в инфракрасном спектре, используемые как для воздействия на зоны, так и для рефлексотерапии и внутрисосудистого воздействия на кровь.

Эффективность лазерного воздействия зависит от дозы, которая выражается в джоулях. Более точным физическим критерием дозы является плотность дозы или энергетическая облученность на поверхности ткани.

Для восстановления и повышения спортивной работоспособности важное значение имеет время воздействия лазерного излучения на организм спортсмена, однако научных рекомендаций по его заданию нет. Отсутствует методика расчета появления рецидивов во время реабилитации.

На основании вышеизложенного разработан аппаратно-программный комплекс, позволяющий повысить спортивную работоспособность на основании анализа изменения спортивной активности спортсмена. Использование медицинских рекомендаций, приведенных в специальной литературе, результатов исследований по оценке влияния курсовых доз лазерной стимуляции, периодичности воздействия лазерного излучения на показатели работоспособности спортсменов, позволяет оптимизировать вероятно-временные характеристики спортивной активности спортсмена. Полученные аналитические выражения не противоречат результатам математического моделирования и результатам опытного применения [6,7]. Согласованность теоретического и статистического распределения проверена с использованием критерия согласия, «критерия χ^2 » Пирсона.

Полученные результаты позволят повысить объективность и эффективность выбора восстановительных режимов лазерного излучения, моментов начала и продолжительности лазерного воздействия, когда в тканях организма спортсмена первично происходят положительные биоэнергетические, биохимические и другие физико-химические изменения. Полученные результаты могут использоваться для повышения результативности тренировочных нагрузок в атлетических видах спорта, для повышения эффективности восстановления организма после чрезмерных нагрузок при ликвидации последст-

вий катастроф, аварий, несчастных случаев на производстве.

1. Подготовка к соревнованиям. Бодибилдинг. Опубликовано admin Мар 6, 2011: <http://www.allbest.ru/>
2. Валеев, Н. М. Дифференцирование методики восстановления работоспособности травмированных легкоатлетов на этапе спортивной реабилитации / Н. М. Валеев, Н. В. Швыгина // Теория и практика физической культуры. – 2007. – №1. – С. 49–54.
3. Гаткин, Е.Я. Методы быстрого восстановления спортсмена между стартами в день соревнований / Е.Я. Гаткин [и др.] // I Всероссийский конгресс с международным участием «МЕДИЦИНА ДЛЯ СПОРТА–2011»: материалы конгресса. – Москва, 19–20 сентября 2011. М., 2011. – С.127–129.
4. Потемкин, Л.А. Медико-биологическое обеспечение и квантовая медицина спорта высших достижений / Л.А. Потемкин. – М., 2001. – 135 с.
5. Москвин С.В., Пономаренко Г.Н. Лазерная терапия аппаратами серии «Матрикс» и «Лазмик». – М.–Тверь, 2015. – 208 с.
6. Усольцев А.В. Оптимизация финансовых затрат на тренировочный процесс при подготовке спортсмена к соревнованиям / Молодые ученые – ускорению научно- технического прогресса в XXI веке: материалы IV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием (20 – 21 апреля 2016 года),- Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2016 С. 507 -511.
7. Усольцев А.В. Система контроля усталости спортсмена в процессе тренировки / Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й Международной научно- технической конференции молодых ученых и студентов (20 – 22 апреля 2016 года Минск, Республика Беларусь). – Минск: БНТУ, 2016. – С. 158.

УДК 681.2

ВИРТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БИОМАТЕРИАЛОВ

Усольцева А.В.

*Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Трудно переоценить роль лазера в нашей жизни. На практике насчитывается более десятка сотен областей использования лазеров, от медицины до космических полётов и термоядерного синтеза. Наиболее массовой областью использования лазерной техники является лазерная обработка материалов, в которой в большинстве случаев используется тепловое воздействие лазерного излучения. Хотя список применения лазера очень длинный, он продолжает увеличиваться. Исключительно широкое использование лазеров объясняется их уникальными свойствами [1,2].

Применение лазеров в биологии и медицине основано на использовании широкого круга явлений, связанных с разнообразными проявлениями взаимодействия света с биологическими объектами.

Состояние поверхности при лазерной абляции определяют основные характеристики лазерного воздействия, от которых зависит эффективность восстановления и внешний вид полосей, разрезов, отверстий и т.д. Наличие различных включений или пустот на поверхности биоматериала приводит к кардинальному улучшению биосовместимости, ускорению адаптации организма к инородному телу, позволяет значительно снизить вероятность его отторже-

ния, позволяет предотвратить воспалительные процессы [3].

Постоянно возрастающие объёмы лазерных технологий, увеличивающееся количество видов биоматериалов существенно осложняют решение вопросов минимизации рисков и осложнений, автоматизации управления в крупных медицинских центрах. Вопросы совершенствования структуры системы управления автоматизированными технологическими процессами лазерной обработки биоматериалов требуют дальнейшего изучения и обобщения. Первостепенное значение имеет разработка теоретических и методических основ технологического использования лазеров для обработки биоматериалов с учетом состояния поверхности при лазерной абляции [4].

Существование корреляционных связей между параметрами лазерного излучения и другими параметрами, характеризующими технологию лазерной обработки, является предпосылкой получения поверхности биоматериала с заданными характеристиками. Предлагаемый подход достаточно перспективен, так как, в этом случае состояние поверхности будет функционально связано с параметрами лазерной обработки.

Для проблемно – ориентированного автома-

тизированного управления параметрами поверхности система физических процессов при лазерной обработке представлена в виде системы внутренних моделей из последовательной цепи модельных блоков, предназначенных соответственно для идентификации вида биологического материала, длины волны, мощности лазерного излучения, скорости движения лазерного луча, разрешающей способности, частоты импульсов, диаметра сфокусированного лазерного излучения на материале, угла падения лазерного луча. Каждый блок снабжается моделью (информационным процессором), входными данными и возможностями адекватного представления результатов на выходе. Входными данными каждого модельного блока могут служить: либо измерительные и статистические данные (из баз данных и знаний, экспертных систем), либо результаты модельных расчетов, поступающие с выхода предыдущего блока, либо те и другие одновременно, причем с весовыми вкладами, учитывающими уровень неопределенности в каждом из них.

Для построения математической модели использованы известные методы математического представления реальности.

Внутренняя модель организована иерархически и содержит несколько уровней пространственной, временной организации, специализированных, соответствующих конкретному материалу, или универсальных, охватывающие все возможные случаи практической реализации. Параллельно предусмотрено несколько уровней иерархии параметров модели, отвечающих разной степени детальности модельного представления процессов, например, может детализироваться как модель реакции определенной аппаратуры управления на появление неоднородностей биоматериала. Если модель функционирует правильно, то чем выше уровень, тем более надежная информация в нем накапливается. В модели постоянно будет происходить фоновый процесс, отвечающий за согласование разных уровней представления информации.

На основании разработанных моделей с учетом ранее приведенных исходных данных сформированы требования к аппаратуре адаптивного контроля, выделены информативные параметры, заданы начальные условия, диапазон изменения рабочих характеристик, установлены научно обоснованные требования к конструкторско – технологическим решениям, контрольно – измерительной аппаратуре, лазерной установке, определен алгоритм работы, разработаны структурная, функциональная и принципиальная схемы системы.

Используя практический опыт управления лазерными технологическими установками обработки биоматериалов в реальном масштабе вре-

мени [5,6,7], для оперативного управления технологическими процессами, получения точных исходных данных, проверки адекватности математической модели, разработана виртуальная система.

Функционирование системы управления лазерным технологическим процессом обработки биоматериалов осуществляется следующим образом. На начальном этапе формируется архив на основании базы данных изменения состояние поверхности биологических материалов при лазерной абляции, наличия функционально-корреляционных связей между характеристиками поверхности и параметрами лазерного излучения. Далее, на основании полученных статистических материалов, задаются рабочие режимы лазерной обработки, контролируются характеристики поверхности, при отклонении результатов от заданных производится коррекция.

Учитывая микроструктуру, химический состав и физико-механические характеристики биоматериалов для проведения исследований выбрана лазерная установка на углекислом газе CO₂. Анализ изменений состояния поверхности проводился при изменении мощности лазерного излучения от 2 до 12 Вт, скорости движения лазерного луча от 10 до 180 см/сек., разрешающей способности от 100 до 1000 dpi., частоты импульсов излучения от 500 до 1000 Гц, диаметра сфокусированного лазерного луча на материале от 0,05 до 1,0 мм, угла падения лазерного луча от 0° до 45°, и комбинации этих режимов.

Проведенные исследования показали, что, для достижения заданного состояния поверхности биологических материалов при разработке основ технологического использования лазеров для обработки биоматериалов с помощью разработанных теоретических и методических основ перспективно использование виртуальной системы, учитывающей существование функционально-корреляционных связей между параметрами, характеризующими технологию лазерной обработки и состояние поверхности.

1. Emmelmann C. / Introduction to Industrial.Laser Materials Processing, Rofin-Sinar. Hamburg. 1998, p. 180.
2. Laser materials processing: User's Handbook Manual. / Sc. Edit. Panchenko V.Ya. //Bulgaria, Plovdiv, 2001.
3. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение. М.: Техносфера, 2006. -224 с.
4. Kozlovskaya N.A., Krokhin O.N., Zvestovskaya I.N. Ultrashort laser pulses ablation of the transparent materials // Proc. Of 4th Int. Conf. FPPT, April 2009. Kathmandu, 2000.
5. Черных М.М., Усольцева А.В., Усольцев В.П. Методика определения режимов работы ла-

- зерной установки при гравировании изделий из кожи. // XVII Всероссийская научно-практическая конференция и смотр-конкурс творческих работ по направлению подготовки «Технология художественной обработки материалов»: сборник научных трудов. - Иркутск: ИрГТУ, 2015.- С 400-407
6. Усольцева А.В., Черных М.М., Усольцев В.П. Исследование лазерного гравирования изделий из кости // «Молодые ученые – ускорению научно – технического прогресса в XXI веке. Сборник материалов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием (Ижевск, 22 – 23 апреля 2015 г.), – Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2015. – С 713 – 721.
7. Усольцева А.В., Усольцев В.П. Особенности лазерного гравирования изделий из кожи // «Приборостроение в XXI веке – 2014. Интеграция науки, образования и производства: Сборник материалов X Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (Ижевск, 12 – 14 ноября 2014 г.), – Ижевск: Издательство ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2015. – С 522 – 524.

УДК 620.179.14

ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ДВУХСЛОЙНОГО ОБРАЗЦА НА ФАЗУ ВНОСИМОЙ ЭДС НАКЛАДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Чернышев А.В.

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

При контроле вихрековым толщиномером толщины верхнего слоя двухслойной структуры, состоящей из проводящего немагнитного покрытия, расположенного на проводящем основании (подложке), наиболее эффективным является контроль, основанный на измерениях фазы φ вносимой ЭДС накладного преобразователя [1]. Фаза зависит от параметров преобразователя, частоты тока возбуждения и от удельных электрических проводимостей покрытия σ_1 и основания σ_2 , а также относительной магнитной проницаемости основания μ_2 , если оно магнитное. На практике обычно наблюдаются вариации величин σ_1 , σ_2 , μ_2 при перемещении от точки к точке на поверхности контролируемого объекта или при переходе от одного объекта контроля к другому. Это приводит к вариациям величины φ при неизменном значении толщины покрытия d , то есть вызывает определенную погрешность при измерениях толщины покрытия вихрековым методом.

В докладе приведены результаты численных расчетов зависимости фазы вносимой ЭДС измерительной катушки преобразователя от d , полученные при различных значениях σ_1 и при фиксированных величинах σ_2 и μ_2 . Расчет проведен по аналитическим выражениям работы [2]. Схема расположения катушек поля возбуждения и измерительной накладного вихрекового преобразователя, находящегося над двухслойным объектом контроля, показана на рисунке 1.

Сначала расчет проведен при значении $\sigma_1 =$

$= 5,291 \text{ МСм/м}$ (что примерно соответствует электропроводности хрома, обозначим это значение как σ_{10}), $\sigma_2 = 11,5 \text{ МСм/м}$ и $\mu_2 = 100$, что примерно соответствует электропроводности и относительной магнитной проницаемости никеля. Амплитудное значение тока возбуждения принято равным 1А, радиусы обоих витков равны 0,002 м, расстояние h от витка поля возбуждения до поверхности объекта контроля составляет 0,001 м, измерительный виток расположен на середине этого расстояния. Расчеты проведены при двух различных частотах F тока возбуждения преобразователя. Следует отметить, что расчетные данные находятся в соответствии с экспериментальными.

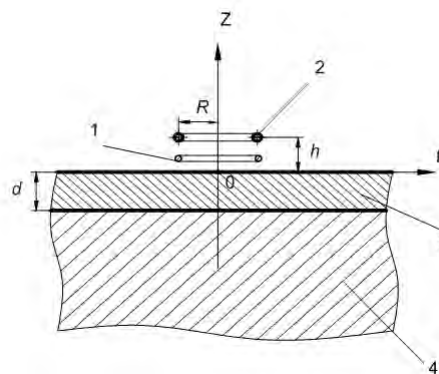
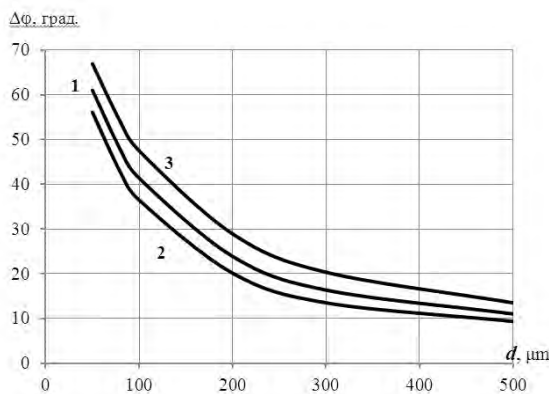


Рисунок 1 – Витки над проводящей двухслойной средой:

1 – измерительный виток, 2 – виток поля возбуждения, 3 – проводящее покрытие, 4 – проводящая магнитная подложка

Рассмотрим результаты расчетов, полученные

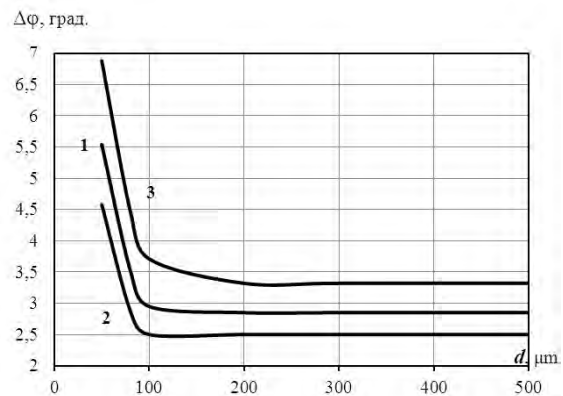
при частоте тока возбуждения преобразователя $F=300$ кГц, они представлены на рисунке 2 кривой 1. По вертикальной координатной оси указаны не значения φ , а абсолютное значение разности $\varphi - \varphi_{Cu}$, где φ_{Cu} – фаза вносимой ЭДС при расположении того же преобразователя (при прежнем значении F) над полупространством из меди электропроводность меди принята равной $58,1$ МСм/м. Абсолютное значение разности $\varphi - \varphi_{Cu}$ обозначено $\Delta\varphi$. Цифрой 2 на рисунке 2 обозначена зависимость $\Delta\varphi$ от d , полученная при величине σ_1 , превышающей значение σ_{10} на 20%, а цифрой 3 – зависимость $\Delta\varphi$ от d , полученная при величине σ_1 , меньшей значения σ_{10} на 20%. Из рисунка 2 видно, что при указанных вариациях σ_1 относительно значения σ_{10} вариации $\Delta\varphi$ максимальны при максимальном значении d и достигают при этом примерно той же величины 20%. Для вихретокового толщиномера наибольшую важность имеет вопрос выяснения влияния вариаций величины σ_1 на погрешность определения толщины верхнего слоя d . Из рисунка 2 видно, что и в этом случае вариации величины σ_1 относительно σ_{10} на 20% в сторону уменьшения или увеличения приводят к возникновению относительной погрешности Δd при определении d , (относительно истинного значения, определяемого из зависимости, представленной кривой 1 на рисунке 2), примерно равной 20%.



1 - $\sigma_1 = 5,291$ МСм/м; 2 - $\sigma_1 = 6,3492$ МСм/м;
3 - $\sigma_1 = 4,2328$ МСм/м

Рисунок 2 – Зависимость $\Delta\varphi$ от d при $F=300$ кГц

Теперь рассмотрим результаты расчета аналогичных зависимостей $\Delta\varphi$ от d , полученных при $F=5,8$ МГц. Они приведены на рисунке 3.



1 - $\sigma_1 = 5,291$ МСм/м; 2 - $\sigma_1 = 6,3492$ МСм/м;
3 - $\sigma_1 = 4,2328$ МСм/м

Рисунок 3 – Зависимость $\Delta\varphi$ от d при $F=5,8$ МГц

Из сравнения рисунков 2 и 3 видно, что при $F=5,8$ МГц чувствительность φ к толщине верхнего слоя наблюдается только для относительно малых d (ввиду скин-эффекта). Из рисунка 3 видно, что при толщинах d , превышающих 150 мкм, увеличение σ_1 относительно значения σ_{10} на 20% приводит к уменьшению $\Delta\varphi$ примерно на 12%. Уменьшение же σ_1 относительно σ_{10} на 20% приводит к увеличению $\Delta\varphi$ примерно на 16%. В интервале толщин покрытия 50÷80 мкм вариации величины σ_1 относительно значения σ_{10} на 20% в сторону уменьшения или увеличения приводят к возникновению относительной погрешности Δd примерно равной 16% (истинное значение толщины d находят из кривой 1 на рисунке 3).

Из приведенных результатов видно, что наличие вариаций электропроводности верхнего слоя двухслойного образца приводит к возникновению погрешности определения толщины этого слоя измерением величины $\Delta\varphi$, которая может оказаться больше допустимой для контролируемой детали. Уменьшить эту погрешность можно посредством измерения и последующего учета, при анализе измеренного значения φ , электропроводности верхнего слоя. Для этого необходимо провести измерения φ на такой относительно высокой частоте, чтобы на результаты не оказало влияние присутствие у двухслойного объекта контроля проводящей подложки.

Рассмотрим на конкретном примере, представленном на рисунке 3, с какой точностью надо проводить такие измерения. Из рисунка следует, что при $F=5,8$ МГц и $d \geq 200$ мкм наличие подложки не оказывает влияния на результаты измерений φ (вихревые токи с такой глубины не приводят к заметному влиянию на фазу вносимой ЭДС преобразователя). При этом увеличение σ_1 на 20% относительно эталонного зна-

чения σ_{10} приводит к изменению φ на $0,35^\circ$.

В разрабатываемых нами толщиномерах достигается возможность измерения φ с точностью $0,1^\circ$ при частотах сигнала до 8 МГц. Из вышесказанного следует, что по измерениям φ можно зафиксировать отклонения величины σ_1 от σ_{10} , составляющее $20\%/3,5 \approx 5,7\%$. Как было показано выше, при $F=5,8$ МГц увеличение σ_1 на 20% относительно σ_{10} приводит к возникновению погрешности определения d , равной 16%. Следовательно, в рассматриваемом случае увеличение σ_1 на 5,7% (то есть то, что мы можем зафиксировать при измерениях φ прибором) приведет к по-

грешности определения d , равной 4,6%. Достичь уменьшения указанной погрешности измерения d возможно лишь за счет повышения точности измерения фазы вносимой ЭДС вихрекового преобразователя.

1. Рубин А.Л., Пахомова В.Г., Реакция ферромагнитного полупространства с немагнитным слоем на датчик накладного типа // Дефектоскопия. – 1974. – №3. – С. 36-40.
2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. – Новосибирск: Наука, 1967. – 144 с.

УДК 53.088.6

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПО КРЕНУ ОБЪЕКТОВ

Шведов А.П., Лихошерст В.В.

Тульский государственный университет

Тула, Российская Федерация

Интерес представляет задача измерения угловой скорости крена малоразмерных объектов, вращающихся с большой угловой скоростью по углу крена.

На малогабаритных объектах в диапазоне угловых скоростей свыше 2000 – 4000 градусов/с целесообразно использовать измерительную схему, реализуемую с помощью двух встречно направленных акселерометров, разнесенных относительно оси вращения [1].

Погрешность определения угловой скорости с помощью двух акселерометров обусловлена погрешностью самих датчиков, а также погрешностью установки датчиков относительно продольной оси изделия.

Вопросы, связанные с компенсацией погрешности коэффициента передачи, уровня нулевого сигнала, нелинейности подробно изложены в работе [2], поэтому их рассматривать не будем.

Учет погрешностей перекрестной чувствительности и рассогласования осей осуществляется за счет применения акселерометров, оси чувствительности которых ориентированы перпендикулярно к измерительным.

Можно показать, что в данном случае важна лишь взаимная ориентация осей, а не их расположение относительно корпуса, так как в противном случае, при наличии поперечных вибраций, в сигнале угловой скорости будут наблюдаться существенные пульсации. Поэтому при определении отклонения осей одну из осей датчика будем считать совпадающей с одной из осей связанной системы координат (рисунок 1).

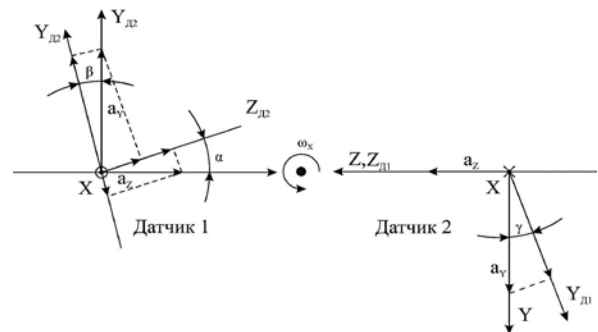


Рисунок 1 – К определению углов рассогласования осей датчиков

В этом случае показания датчика 1 и 2 связаны с проекциями ускорения на оси связанной системы координат по выражениям:

$$\begin{cases} a_Z = \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} a_{ZД2} - \frac{\sin \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} a_{YД2}, \\ a_Y = \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta)} a_{ZД2} + \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} a_{YД2}, \\ \begin{cases} a_Z = a_{ZД1}, \\ a_Z = a_{ZД1} \operatorname{tg} \gamma + \frac{a_{YД1}}{\cos \gamma}, \end{cases} \end{cases}$$

где a_Y, a_Z – проекции ускорения на оси Y и Z связанной системы координат; $a_{YД2}, a_{ZД2}$ – проекции ускорения на оси чувствительности датчика 1 $Y_{Д2}$ и $Z_{Д2}$; $a_{YД1}, a_{ZД1}$ – проекции ускорения на оси чувствительности датчика 2 $Y_{Д1}$ и $Z_{Д1}$;

Определение углов α, β, γ реализуется по одной из методик, описанных в [2].

При установке акселерометров возможно смещение датчиков, обусловленное рядом причин, и не совпадение осей датчиков с линией, соединяющей центры масс чувствительных элементов акселерометров (рисунок 2).

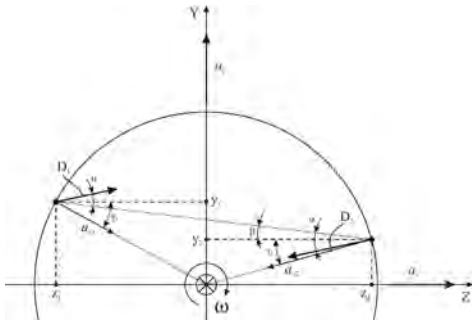


Рисунок 2 – Схема расположения акселерометров относительно оси вращения после калибровки

В этом случае угловая скорость вращения объекта ω и измеряемая угловая скорость $\omega_{И}$ связаны соотношением

$$\omega_{И} = \omega \sqrt{\frac{|x_2 - x_1|}{2r} \cdot \frac{|\cos \alpha|}{|\cos \beta|}} \quad (1)$$

В общем случае после сборки системы неизвестными оказываются координаты x_2 и x_1 , радиус установки акселерометров r , а также углы α и β , однако, согласно (1), их суммарное влияние можно учесть с помощью некоторого масштабного коэффициента k :

$$\omega_{ДК} = \omega \cdot k, \text{ где } k = \sqrt{\frac{|x_2 - x_1|}{2r} \cdot \frac{|\cos \alpha|}{|\cos \beta|}}.$$

В свою очередь, коэффициент k легко определяется путем сопоставления измеренной и истинной угловой скорости крена в процессе калибровки.

Случайная составляющая v погрешности акселерометров в большинстве случаев представляет собой нормально распределенную центрированную случайную величину с среднеквадратическим отклонением σ .

Несложно показать, что в этом случае угловая скорость, измеряемая системой, при компенсации систематических погрешностей акселерометров определяется выражением

$$\omega_{ДК} = \sqrt{\omega^2 + \frac{v}{r}}.$$

Учитывая, что систематическая составляющая в $\omega_{ДК}$ скомпенсирована, представим его виде

$$\omega_{ДК} = \omega + v_{\omega},$$

где v_{ω} – случайная погрешность $\omega_{ДК}$.

Тогда плотность распределения вероятности $p(v_{\omega})$ случайной величины v_{ω} определяется выражением

$$p(v_{\omega}) = \begin{cases} \frac{2(v_{\omega} + \omega)r}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left\{ \exp\left(-\frac{r^2[(v_{\omega} + \omega)^2 - \omega]^2}{2\sigma^2}\right) + \right. \\ \left. + \exp\left(-\frac{r^2[(v_{\omega} + \omega)^2 + \omega]^2}{2\sigma^2}\right) \right\}, \text{ при } v_{\omega} \geq -\omega \\ 0, \text{ при } v_{\omega} < -\omega \end{cases} \quad (2)$$

Анализ зависимости математического ожидания случайной величины v_{ω} от угловой скорости показывает, что она зависит от угловой скорости и снижается при ее увеличении.

Из-за наличия ненулевого математического ожидания v_{ω} , помимо погрешности масштабного коэффициента k , в выходном сигнале $\omega_{И}$ будет наблюдаться постоянная составляющая погрешности (рисунок 3) и угловую скорость вращения изделия можно представить в виде

$$\omega = k(\omega_{И} - n), \quad (3)$$

где n – смещение нулевого сигнала, обусловленное математическим ожиданием случайной величины v_{ω} ;

k – масштабный коэффициент.

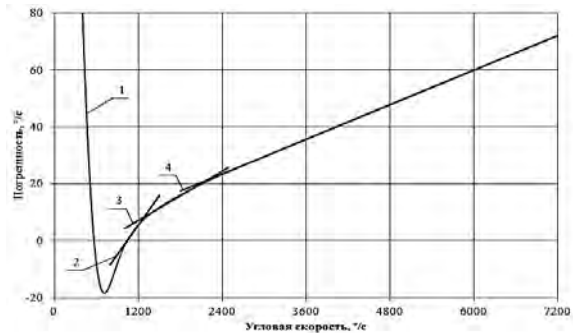


Рисунок 3. Влияние случайной погрешности акселерометров на точность измерения угловой скорости крена: (1 – $\Delta\omega(\omega)$); 2 – линейная аппроксимация в диапазоне угловых скоростей 1000÷1300 °/с; 3 – линейная аппроксимация в диапазоне угловых скоростей 1300÷2500 °/с; 4 – линейная аппроксимация в диапазоне угловых скоростей 2500÷7200 °/с)

Из рисунка 3 видно, что зависимость $\Delta\omega$ от ω нелинейна. Однако для рабочего диапазона измерительной схемы измерения (от 2000 до 7200 °/с) она может быть аппроксимирована с помощью трех прямых. То есть может рассматриваться как линейная в трех диапазонах частот, а значения коэффициентов k и n для выражения (3) в этих диапазонах можно считать постоянными.

Таким образом, для компенсации погрешности угловой скорости $\omega_{и}$ достаточно определить значение коэффициентов k и n для диапазонов частот: 1000÷1300 %/с, 1300÷2500 %/с и 2500÷7200 %/с.

Коэффициенты для данных диапазонов определяются путем снятия показаний схемы для двух значений угловой скорости из каждого диапазона.

Распределение случайной величины v_{ω} в диапазоне угловых скоростей от 1000°/с и выше близко к нормальному. Следовательно, при интегрировании v_{ω} будет наблюдаться погрешность аналогичная погрешности при интегрировании нормально распределенной случайной величины. Погрешность Δ при интегрировании нормально распределенной случайной величины определяется неравенством:

$$\Delta \leq \sigma_{сл} \sqrt{\tau t}, \quad (3)$$

где $\sigma_{сл}$ – СКО некоторой нормально распределенной случайной величины; t – время интегрирования; τ – шаг дискретизации системы.

В свою очередь, $\sigma_{сл}$ может быть определено по плотности распределения вероятности (2). Следует отметить, что погрешность, определяемая выражением (3), носит случайный характер и не может быть скомпенсирована на этапе калибровки системы.

Таким образом, величину Δ следует рассматривать как оценку максимальной точности данного метода измерения.

1. Лихошерст В.В. Датчик крена вращающихся по крену объектов / В.В. Лихошерст, В.Я. Распопов, А.П. Шведов // XXIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. Сборник материалов / глав. ред. академик РАН В.Г. Пешехонов. – СПб.: ГНЦ «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. – С. 220 – 223.
2. Аш, Дж. Датчики из мерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 2. – М.: Мир, 1992. – 424 с.

**Секция 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИЗМЕРЕНИЙ**

УДК 006.9:534.27.08 (045)(476)

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Ананьин В.Н., Мирончик А.М., Мохнач М.В.
*Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время эталон единицы количества вещества **моль** по принятому определению не реализован. В газоаналитических измерениях используются относительные единицы: молярная доля и массовая доля компонентов в газовых смесях, выраженные в процентах (%) или в миллионных долях (млн^{-1}) [1].

Достоверность и прослеживаемость к единицам SI результатов измерений содержания компонентов в газовых средах обеспечивается в Республике Беларусь национальной системой единства газоаналитических измерений, фундаментом которой является комплекс национальных эталонов:

➤ **Национальный эталон единицы молярной доли компонентов в газовых смесях НЭ РБ 13-04** – диапазон воспроизведения единицы молярной доли компонентов (водорода, оксида углерода, диоксида углерода, метана, пропана, кислорода, сероводорода, метилмеркаптана, этилмеркаптана) в азоте от 0,001 % до 99,90 %, относительная расширенная неопределенность от 10 % до 0,01 % ($k = 2$, $P = 0,95$);

➤ **Национальный эталон единицы молярной доли компонентов природного газа в газовых смесях НЭ РБ 16-08** – диапазон воспроизведения единицы молярной доли компонентов природного газа (метана, этана, пропана, изобутана, нормального бутана, изопентана, нормального пентана, неопентана, нормального гексана, диоксида углерода, азота, кислорода, водорода, гелия) от 0,0001 % до 99,0 %, относительная расширенная неопределенность от 10 % до 0,03 % ($k = 3$, $P = 0,99$);

➤ **Национальный эталон единицы молярной доли атмосферных экологически опасных компонентов НЭ РБ 18-10** – диапазон воспроизведения единицы молярной доли компонентов (диоксида серы, оксида азота, диоксида азота, сероводорода, диоксида углерода) в азоте от 0,0001 % до 30,0 %, относительная расширенная неопределенность от 5 % до 0,5 % ($k = 3$, $P = 0,99$);

➤ **Национальный эталон единиц молярной и массовой концентрации компонентов сжиженных углеводородных газов НЭ РБ 22-13** – диапазон воспроизведения единицы молярной доли компонентов (пропилена, пропана, изобутана, нормального бутана, изопентана, нор-

мального пентана от 0,10 % до 99,0 %, относительная расширенная неопределенность от 2,5 % до 0,5 % ($k = 2$; $P = 95$ %); диапазон воспроизведения единицы массовой доли указанных выше компонентов от 0,10 % до 99,0 %, относительная расширенная неопределенность от 3,0 % до 0,5 % ($k = 2$; $P = 95$ %).

Более подробная информация о метрологических характеристиках национальных эталонов размещена на официальном сайте БелГИМ www.belgim.by.

В состав комплекса эталонов входит:

аналитическое оборудование для анализа исходных газов и сертификации эталонных газовых смесей (ЭГС) и рабочих эталонов – государственных стандартных образцов состава газовых смесей (ГСО): газовые хроматографы с различными детекторами (пламенно-ионизационными, пламенно-фотометрическими, термокондуктометрическими, масс-селективным), оптико-акустические и электрохимические газоанализаторы, кулонометрические гигрометры;

гравиметрическое газосмесительное оборудование на базе масс-компараторов КА10-3/P («Mettler-Toledo») и ССЕ 40К3 («Sartorius») и установок смешивания газов для воспроизведения единицы молярной доли статическим гравиметрическим методом согласно [2];

комплект чистых газов и ЭГС в баллонах под давлением;

технические средства для подготовки баллонов к заполнению и гомогенизации полученных газовых смесей.

Размер единицы молярной (массовой) доли компонентов воспроизводится национальными эталонами путем приготовления ЭГС в баллонах под давлением наиболее точным гравиметрическим методом согласно [2] с последующей верификацией компонентного состава приготовленных ЭГС согласно [3].

ЭГС предназначены для хранения и передачи рабочим эталонам единицы молярной (массовой) доли компонентов и применяются в качестве эталонов сравнения при проведении международных сличений национальных эталонов.

Метрологические характеристики национальных газовых эталонов Республики Беларусь подтверждены результатами международных сличений в рамках региональной метрологической

организации KOOMET, зарегистрированных в международной базе данных KCDB [4] Международного бюро мер и весов:

COOMET.QM-K3 «Автомобильные газы», 2005 г.;

COOMET.QM-K1.a «Оксид углерода в азоте», 2008 г.;

COOMET.QM-K23.b «Природный газ», 2008 г.

COOMET.QM-S1 «Дополнительные сличения первичных эталонов содержания компонентов в газовых средах: NO в азоте (50 мкмоль/моль)», 2013 г.

COOMET.QM-K76 «Ключевые сличения первичных эталонов содержания компонентов в газовых средах: SO₂ в азоте (100 мкмоль/моль)», 2013 г.

COOMET.QM-S5 «Дополнительные сличения национальных эталонов в области анализа газовой смеси CO₂, CO, C₃H₈ в азоте (автомобильные газы)», 2014 г.

KOOMET № 488/RU-a/10 «Сличения эталонных методов измерений объемной теплоты сгорания природного газа», 2015 г.;

COOMET.QM-S3 «Дополнительные сличения эталонных газовых смесей: «загрязнители атмосферного воздуха: CO в азоте, 5 мкмоль/моль», 2016 г.

Результаты сличений подтверждают заявленные характеристики национальных эталонов и прослеживаемость воспроизводимой ЭГС единицы молярной доли к эталонам национальных метрологических институтов ведущих стран мира [4].

От ЭГС размер единицы в соответствии с поверочными схемами [5, 6] передается рабочим эталонам – ГСО 0-го, 1-го и 2-го разрядов, что обеспечивает метрологическую прослеживаемость ГСО, выпускаемых в БелГИМ, к международным эталонам.

В год производится свыше 2000 экземпляров ГСО в баллонах под давлением для более чем 400 предприятий и организаций Республики Беларусь.

ГСО предназначены для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений в соответствии с [7] в системе мониторинга атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны, в энергетике, на транспорте, в жилищно-коммунальном хозяйстве, санитарии и медицине, нефтехимической, газоперерабатывающей и га-

зотранспортной отраслях промышленности Республики Беларусь.

В перспективе развития работ в области метрологического обеспечения газоаналитических измерений планируется расширение номенклатуры компонентов и диапазона молярной доли, воспроизводимых эталонами, а также освоение динамического объемного метода для воспроизведения единицы молярной доли нестабильных компонентов, обладающих высокой реакционной и адсорбционной способностью, в соответствии с [8].

В четвертом квартале 2014 г. начат выпуск ГСО состава аммиак – азот/воздух 2-го разряда. Диапазон сертифицированных значений объемной доли аммиака (0,001-1,5) %, относительная расширенная неопределенность сертифицированного значения (10-5) %.

1. ТР 2007/003/ВУ Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь.
2. СТБ ИСО 6142-2003 Анализ газов. Приготовление калибровочных газовых смесей. Гравиметрический метод.
3. СТБ ИСО 6143-2003 Анализ газов. Методы сравнения для определения и проверки состава газовых смесей для калибровки.
4. Key and supplementary comparisons // Bureau International des Poids et Mesures [Electronic resource]. – 2013. – Mode of access : http://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_search.asp.
5. СТБ 8022-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых смесях.
6. ГОСТ 8.578-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах.
7. ТКП 8.005-2012 (03220) Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Стандартные образцы. Основные положения. Порядок разработки, утверждения, регистрации и применения.
ISO 6145-7:2009 Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods – Part 7: Thermal mass-flow controllers.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИНОМИАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ

Бем О.Т.¹, Еременко В.С.², Суслев Е.Ф.²

¹Национальный авиационный университет

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
Киев, Украина

Широким классом сигналов, которые несут информацию о состоянии исследуемого объекта являются импульсные сигналы с локально сосредоточенными информативными параметрами. Наиболее известными методами идентификации таких сигналов являются следующие:

1. Методы основанные на измерении амплитудно-временных параметров: амплитуды и длительности импульса, длительности фронтов, скорости нарастания и спада и т. д.

2. Методы основанные на оценивании интегральных характеристик – центра массы импульса, коэффициентов подобия, корреляционной функции.

3. Методы разложения по базисным функциям (Фурье, Хартли, вейвлет-преобразование).

4. Методы структурного анализа, которые предполагают сегментацию сигнала на последовательность отдельных фрагментов, отражающих чередование элементарных событий исследуемого процесса.

5. Методы представления сигналов в фазовом пространстве, т.е. пространстве, образованном конечным набором параметров состояний.

6. Эвристические методы, в частности методы основанные на применении нейросетевых технологий.

7. Стохастические методы, в частности обучаемые на эталонных выборках вероятностные дискриминативные модели.

Вероятностные дискриминативные модели мультиномиальной логистической регрессии (МЛР) имеют следующие: вероятностная оценка принадлежности сигнала к каждому из возможных предусмотренных классов; малое количество настраиваемых параметров модели, относительно других вероятностных методов; получение удовлетворительных оценок при невыполнении предположения о распределениях параметров в классе плохо выполняются (что случается при нерепрезентативных выборках); возможность использовать в качестве информации для обучения оценки сигналов, полученные любыми другими методами идентификации.

Основной принцип МЛР-модели заключается в том, что используя теорему Байеса, при условном выполнении ряда предположений (независимость наблюдений, распределения признаков в каждом классе, признаки описываются с помощью семейства экспоненциальных распределений, и др.), апостериорную вероятность

$P(y_k | X)$ попадания объекта (вектора информативных параметров сигнала X) в k -й предусмотренный моделью класс сигналов можно выразить через нормирующую экспоненциальную функцию:

$$s_k(w, X) = P(y_k | X) = \frac{p(X | y_k) \cdot P(y_k)}{\sum_{j=1}^K p(X | y_j) \cdot P(y_j)} = \frac{\exp(a_k)}{\sum_{j=1}^K \exp(a_j)}; a_k = w_0 + \sum_{k=1}^K w_k x_k = w_k^T \cdot X,$$

где $p(X | y_k)$ – условная плотность распределения признаков в классе k ; $P(y_k)$ – априорная вероятность класса k (доля объектов этого класса во всей обучающей выборке); K – количество всех классов к которым можно отнести сигнал; w – коэффициенты при признаках.

Модель МЛР для пяти классов включает в себя четыре уравнения, каждое из которых рассчитывает отношение вероятностей отнесения объекта соответствующего класса к базовому классу (№1). В качестве признаков для расчета модели было взято амплитуды и длительности сигналов для отрицательной и положительной полуволн импульса (рис. 1).

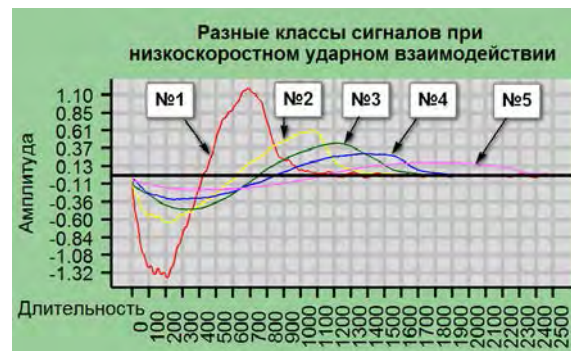


Рисунок 1 – Показательные сигналы для разных классов

Таким образом, вектор параметров для каждого объекта (сигнала) состоял из четырех компонент: амплитуда отрицательной полуволны (A_{-y}); длительность отрицательной полуволны (D_{-y}); амплитуда положительной полуволны (A_{+y}); длительность положительной полуволны (D_{+y}). В качестве обучающего множества было использовано 250 «эталонных» сигналов на каж-

дый класс. Таким образом обучающая выборка для пяти классов состояла из 1250 векторов. Распределение амплитуд отрицательной и положительной полуволны для всей выборки представлено на рис. 2.

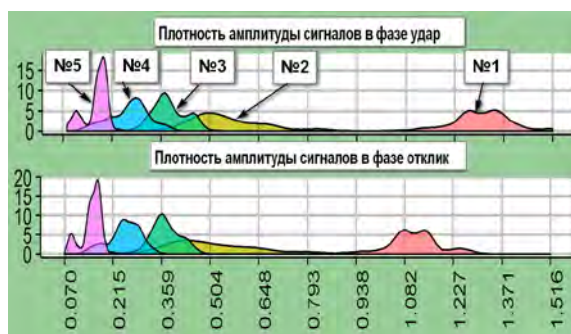


Рисунок 2 – Плотности распределения амплитуд полуволн

Модель МЛР обучалась на одной половине данных, вторая же часть данных использовалась для валидации, такой подход дает возможность оценить обобщающую способность модели. Результатом обучения модели есть рассчитанные весовые коэффициенты приведенные в Табл.1, каждый столбик которой отвечает за отдельный класс.

Таблица 1 – Рассчитанные коэффициенты для модели МЛР по каждому классу сигналов

	№1	№2	№3	№4
w_0	114.06	93.68	16.49	-222.6
w_1	-66.20	-121.3	-98.7	-43.07
w_2	0.087	0.085	0.085	0.089
w_3	-12.84	4.079	-112.8	-58.08
w_4	-0.102	-0.056	0.057	0.255

Рассчитанные значения коэффициентов и признаков формируют исходное уравнение по которому рассчитывается апостериорная вероятность для данного класса $P(y_k | X)$. После подсчета вероятностей для всех классов (сумма которых равна единице для каждого объекта), как правило, объект относят к тому классу, вероятность которого максимальна. Результаты идентификации сигналов по валидационной (тестовой) выборке представлены в (Табл.2).

Подходом для оценки распознавания классов был выбран «один против всех», а в качестве оценок качества модели были использованы оценки среднего квадратического отклонения (СКО) и средней перекрестной энтропии (СПЭ) (табл.3).

$$CKO = \sqrt{\frac{1}{P+N} \sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2};$$

$$СПЭ = \frac{1}{P+N} \left(\sum_{i(+)} \ln(\hat{y}_i^+) + \sum_{i(-)} \ln(1 - \hat{y}_i^-) \right),$$

где P и N – правильно и ложно идентифицированные объекты; \hat{y} – оцененная вероятность; $y \in \{0,1\}$ – фактическая вероятность.

Таблица 2 – Результаты полученного МЛР моделью вердикта классификации

	№1	№2	№4	№4	№5	Σ модели
№1	125	0	0	0	0	125
№2	0	111	19	0	0	130
№3	0	14	103	3	0	120
№4	0	0	3	122	0	125
№5	0	0	0	0	125	125
Σ эталон	125	125	125	125	125	625
δ	0	14	22	3	0	39

Ошибки модели связаны с пересечением распределений информативных параметров для разных классов.

Таблица 3 –Оценки эффективности МЛР методом «один против всех»

	СКО	СПЭ
№1	0.0004	0.000017
№2	0.1703	0.089755
№3	0.1946	0.120752
№4	0.0941	0.031294
№5	0.0001	0.000010

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о достаточно удовлетворительной идентификации импульсных сигналов методом с использованием МЛР модели. Преимуществом предложенного метода есть возможность одновременного использования любых данных и оценок, характеризующих сигнал (объект), что способствует обоснованному отбору информативных признаков, на основании одной целостной модели. Вероятностные, а не строго категориальные оценки улучшают интерпретируемость результатов, и формируют основу для оценки рисков.

1. Cristopher M. Bishop *Pattern recognition and machine learning*. Singapore: Springer – 2006, P.197,204,209.

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ СИСТЕМ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Будай А.Г., Гринчук А.П., Громыко А.В.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко Белорусского государственного университета»
Минск, Республика Беларусь*

Эффективное решение существующих и перспективных задач, стоящих перед современной радиолокацией как гражданского, так и военного назначения, возможно только с использованием активных фазированных антенных решеток (АФАР), работающих в многолучевом режиме с электронным сканированием диаграммы направленности (ДН). Последнее достигается формированием в каждый момент времени в излучающем раскрытии определенного вида амплитудно – фазового распределения (АФР), обеспечивающего необходимые амплитудное распределение и наклон фазового фронта. При этом накладываются дополнительные требования на сохранение формы ДН, высокого коэффициента усиления антенны, незначительного роста боковых лепестков, что обеспечивает помехоустойчивость системы в целом. Таким образом, все основные функциональные параметры РЛС определяются законом формирования АФР, погрешностями установки амплитуды и фазы на каждом элементе АФАР, динамическими параметрами изменения АФР. Поэтому разработка алгоритмов, методов измерения измерительных комплексов для прямых измерений АФР на некоторой поверхности, в непосредственной близости от раскрытия является актуальной.

Как правило, конструктивно АФАР представляют собой двумерную решетку, в узлах которой располагаются излучающие антенные элементы, каждый из которых подключен к приемно-передающему модулю (ППМ), причем расстояние между антенными элементами по двум координатам в апертуре раскрытия должно составлять половину длины наиболее короткой волны в рабочем диапазоне частот. Это условие обеспечивает высокие технические характеристики АФАР в целом и накладывает жесткие ограничения на габариты каждого одноканального модуля.

В настоящее время оптимальной и наиболее перспективной конструкции ППМ сантиметрового диапазона длин волн, удовлетворяющей в том числе и стоимостным требованиям, выбрана следующая: многоканальный ППМ, комплексированный с печатными антенными элементами. Указанная конструкция является универсальной и может использоваться как для аналоговых АФАР с формированием амплитудно – фазового распределения (АФР) в апертуре с использованием управляемых аттенуаторов и фазовращате-

лей, так и для цифровых решеток (АЦАР) с прямым цифровым синтезом АФР.

Наиболее распространенными являются четырех и восьми канальные ППМ, хорошо укладываемые в двумерную двоичную матрицу. В качестве антенных элементов используются различные типы печатных антенн. Такие антенны имеют малые габариты, конструктивно и технологически хорошо согласуются с конструкцией и технологией изготовления СВЧ печатных плат модулей. Кроме того, изготовление таких антенн фотолитографическим способом гарантирует максимально высокую повторяемость конфигурации антенн, а, значит, и их электромагнитных характеристик. Несмотря на то, что современные пакеты программ позволяют с высокой степенью достоверности рассчитывать пространственные характеристики излучения как отдельно взятых печатных антенн, так и с учетом их взаимного влияния в двумерной антенной решетке, а также ППМ в целом, при разработке и оптимизации АФАР необходим этап физического моделирования, в том числе и печатных антенн, что предполагает их изготовление и измерение их пространственных характеристик (диаграмм направленности ДН, коэффициента усиления КУ и др.).

Таким образом, на всех этапах разработки и создания АФАР, а также в процессе эксплуатации необходимо проведение измерений основных характеристик как изделия в целом, так и отдельных элементов. Наиболее полную информацию об указанных характеристиках дают измерения в ближней зоне, достоверность и эффективность которых в значительной степени зависят от выбора поверхности измерения. Поскольку используемые антенные элементы, а также отдельные приемно-передающие модули (в том числе с числом каналов не более 8) являются слабонаправленными, наиболее рационально производить измерения на сферической поверхности, охватывающей антенну. Однако, в отличие от восстановления характеристик по измерениям на планарной и цилиндрической поверхностях, где используются эффективные алгоритмы БПФ, обработка результатов измерения на сферической поверхности требует традиционного интегрирования с привлечением присоединенных функций Лежандра и сферических функций Хамкеля.

Решение уравнения Максвелла в сферической системе координат для комплексных амплитуд тангенциальных составляющих вектора электрического поля позволяет представить электромагнитное поле $\vec{E}_r(\theta, \varphi, r)$ на поверхности сферы радиуса r , охватывающей излучающую систему в виде разложения φ по векторным сферическим функциям (гармоникам) [1]:

$$\vec{E}_r(\theta, \varphi, r) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=-n}^{+n} A_{mn} \cdot \vec{M}_{mn} + B_{mn} \cdot \vec{N}_{mn}$$

Векторные сферические функции $\vec{M}_{mn}, \vec{N}_{mn}$ и комплексные коэффициенты A_{mn}, B_{mn} выражаются через полиномы Лежандра $P_n^m(\theta)$, сферические функции Ханкеля $Z_n(kz)$ и тангенциальные составляющие вектора E на сферической поверхности радиуса r_0 (r_0 -радиус сферы, на которой производится измерение) [2]. Число N определяется радиусом минимальной сферы, охватывающей измеряемый объект. Тангенциальные составляющие поля E_φ, E_θ на сфере любого радиуса (как больше, так и меньше r_0) рассчитываются по формулам, содержащим Фурье преобразование по координате φ . В тоже время полиномы Лежандра $P_n^m(\cos\theta)$ можно представить в виде конечного ряда Фурье:

$$P_n^m(\cos\theta) = \frac{(2n)!}{2^n n! (n-m)!} e^{-j\frac{\pi}{2}m} \sum_{k=0}^n C_k^{mn} e^{j(n-2k)\theta},$$

где C_k^{mn} - постоянные коэффициенты, являющиеся результатом алгебраических процедур.

Таким образом, интегрирование по координате θ также сводится к преобразованию Фурье, что позволяет использовать при расчетах тангенциальных составляющих поля на поверхности произвольного радиуса эффективный алгоритм БПФ.

Разработанное на основании представленного алгоритма программное обеспечение позволяет, используя результаты измерений на сферической поверхности радиуса r_0 , рассчитывать поле в векторном виде на сферической поверхности произвольного радиуса R . При $R \gg \lambda$ амплитуда рассчитанного поля определяет пространственную диаграмму направленности исследуемого объекта. Восстановление амплитудно-фазового распределения на сфере минимального радиуса позволяет проводить дефектоскопию антенных элементов путем сравнения теоретических расчетов с результатами обработки экспериментальных данных, оптимизировать конструкцию отдельного антенного элемента и линейки антенных элементов, учитывать влияние конструктивных элементов модуля, а при наличии защитных покрытий (панелей, укрытий, обтекателей) определить степень их влияния, однородность характеристик, провести их дефектоскопию (дефектоскопия материала, накопления влаги и др.).

1. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн.- М.-1978.
2. Арфкен Г. Математические методы в физике.-М.-1970.

УДК 621.382

МЕТОДИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ РАСТЕКАНИЯ ТЕПЛОвого ПОТОКА В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ И СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Бумай Ю.А.¹, Васьков О.С.¹, Кононенко В.К.¹, Нисс В.С.¹, Керенцев А.Ф.², Петлицкий А.Н.², Рубцевич И.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО Интеграл

Минск, Республика Беларусь

1 Методика исследования профилей растекания теплового потока

Детальные исследования тепловых характеристик полупроводниковых приборов проведены методом тепловой дифференциальной релаксационной спектрометрии ТРДС, хорошо зарекомендовавшим себя при анализе тепловых параметров внутренних элементов гетеролазеров, светодиодов и транзисторов [1].

Релаксационный метод основан на анализе переходных электрических процессов, связанных с разогревом полупроводникового прибора проходящим через него током. Из временной зави-

симости температуры перехода при нагреве прямым током находятся дискретный и дифференциальный спектры теплового сопротивления R_{th} прибора, значения тепловой емкости C_{th} и постоянной времени тепловой релаксации τ . Дифференциальный спектр определяется на основе производных высшего порядка динамического теплового импеданса и соответствует модели Фостера, а дискретный – модели Кауера. Два вида спектров (непрерывной и дискретный) теплового сопротивления используются для анализа и уточнения компонентов теплового сопротивления в рамках электротепловой модели Фостера

и более физически точной модели Кауера. Временные зависимости изменения напряжения на $p-n$ переходе, которые дают возможность анализа путей прохождения теплового потока по элементам структуры, измеряются при помощи импеданс - спектрометра тепловых процессов [2], разработанного в БНТУ.

В случае одномерного распространения теплоты в полубесконечной пластине от верхней части транзистора к теплоотводу распределение температуры $T(x, t)$ по глубине следует закону [3]

$$T(x, t) = \frac{P}{S_a} \cdot \frac{\sqrt{\alpha}}{\sqrt{\pi k \sqrt{t}}} \exp\left(\frac{-x^2}{4\alpha t}\right), \quad (1)$$

где α – коэффициент температуропроводности, k – коэффициент теплопроводности. Здесь P – подводимая тепловая мощность, которая рассеивается через активную площадь сечением S_a . Коэффициент $\alpha = k/c_p\rho$, где c_p – удельная теплоемкость, ρ – плотность, для Si величина $c_p\rho$ составляет 1.69 Дж/см³·К. Так как при этом $k = 1.49$ Вт/см К, то имеем $\alpha = 0.88$ см²/с. Таким образом, нагрев поверхности кристалла следует закону

$$\Delta T(t) = \frac{P}{S_a} \cdot \frac{2\sqrt{\alpha}\sqrt{t}}{\sqrt{\pi k}}, \quad (2)$$

и время корневого закона изменения температуры $p-n$ перехода при импульсном электрическом возбуждении транзистора охватывает длительности порядка 0.1–1 мс [4]. Это позволяет определить активную площадь транзистора S_a в зависимости от мощности импульса возбуждения P .

Этот вывод следует из решения нестационарного уравнения теплопроводности [3]. На начальном участке нагрев активной области прибора прямо пропорционален \sqrt{t} :

$$\Delta T(t) = \frac{2PR_{th}}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\tau}}, \quad (3)$$

где постоянная тепловой релаксации $\tau = (R_{th}S_a)^2 k c_p\rho$, а R_{th} – тепловое сопротивление активного слоя площадью S_a . Для Si постоянная тепловой релаксации составляет величину порядка $\tau \approx 3$ мс и начальный участок нагрева соответствует временам $t \leq 0.4\tau$ [4].

Для определения распределения площади теплового потока от поверхности кристалла до внешнего терморadiatora использованы величины e (тепловой эффузии) или величины $\alpha = k/c_p\rho$ (температуропроводности) для слоистых компонентов полупроводникового прибора. Если использовать соотношение между тепловыми характеристиками R_{th} и C_{th} слоистых компонентов структуры в виде

$$R_{th} / C_{th} = \frac{\alpha}{k^2 S_a^2} = \frac{1}{k c_p S_a^2}, \quad (4)$$

то можно определить изменение активной площади S_a при распространении теплоты вдоль диода от $p-n$ перехода к подложке, теплоотводу и окружающей среде. Послойные значения компонентов теплового сопротивления R_{th} и тепловой емкости C_{th} , можно установить из анализа дискретного спектра теплового сопротивления измеряемой структуры [1].

Как известно [5], тепловая эффузия $e = k/\alpha^{1/2} = (k c_p)^{1/2}$ прямо связана с k и α , поэтому ее экспериментальное значение задается, как

$$e^* = \sqrt{C_{th} / R_{th} / S_a^*}, \quad (5)$$

где S_a^* – эффективная площадь полупроводниковой структуры, зависящая от особенностей конфигурации прибора и определяемая размерами слоев и площадью чипа S_{ch} , а также коэффициентом его заполнения γ .

2 Экспериментальная часть

Значения активной площади ряда транзисторов находились по методике начального корневого участка разогрева полупроводниковых приборов. Границы временного корневого участка возбуждения типичных мощных транзисторов соответствуют практически временам 0.1–2 мс.

Растекание теплового потока в кристалле определяющего его активную площадь зависит от особенностей конфигурации полупроводникового прибора и определяется размерами слоев и площадью чипа S_{ch} , а также коэффициентом его заполнения γ , который составляет практически 0.4–0.7.

На рисунке 1 представлены профили распределения площади теплового потока для пары мощных МОП транзисторов типа КП7209, полученные по разработанной методике и, для сравнения, фотоизображение области посадки кристалла под припой.

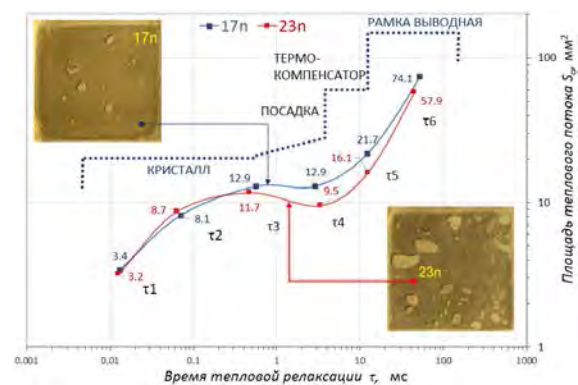


Рисунок 1 - Профили распределения теплового потока в транзисторах 17n и-23n типа КП7209 металлокерамическом корпусе ТО-254 с разным качеством посадки кристаллов и фото-изображения припоя под кристаллом

Видно, что в образце 23n происходит большее чем в 17n сужение теплового потока S_a в

области посадки, что коррелирует с видимой площадью дефектов на фото припоя.

На рисунке 2 представлены профили распределения сечения теплового потока в мощных светодиодах Cree XPG и Cree XPE с разной площадью кристалла. Видно, что на начальном участке, где растекание тепла определяется размерами кристалла светодиода активная площадь теплового потока коррелирует с геометрической площадью кристалла для обоих образцов. На участках, близких к внешнему корпусу приборов, уровни сечения тепловых потоков обоих образцов выравниваются, из-за одинаковой конструкции и тепловых параметров образцов.

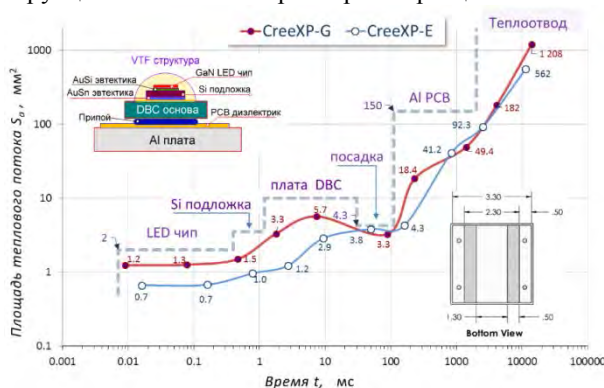


Рисунок 2 – Профили распределения сечения теплового потока в шкале времени для мощных светодиодов компании Cree с разной площадью кристалла S_{ch} для Cree XPG – 2 мм^2 и Cree XPE – 1 мм^2

УДК 621.78.062.2

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Виленциц Б.Б., Попов В.К.

Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

Углеродный потенциал процесса газовой цементации равновесия обычно регулируется кислородными датчиками. Для коррекции сигнала этого датчика, его показания сравниваются с фольговой пробой. Для этого науглероживается тонкая железная фольга и в ней измеряется содержание углерода, которое должно быть равно углеродному потенциалу, измеренному датчиком кислорода.

Предлагаемый метод для экспресс-определения содержания углерода в фольге основан на гармоническом анализе вихревых токов [1] и реализован в небольшом автоматизированном устройстве, которое является надежным и простым в использовании. С помощью этого устройства содержание углерода в тонкой железной фольге может быть получено с точностью лучше, чем 0,03 % и за время менее 2 секунд в

1. Васьков, О.С. Диагностика технологических характеристик мощных транзисторов с помощью релаксационного импеданс-спектрометра тепловых процессов / О.С. Васьков [и др.] // Изв. вузов. Материалы электрон. техники. – 2014, № 1. – С. 47–52.
2. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010, № 3. – С. 58–59.
3. Stout, R. P. Accuracy and time resolution in thermal transient finite element analysis / R.P. Stout, D.T. Billings // 2002-Int-ANSYS-Conf-91. – <http://ansys.com/staticassets/ANSYS/>.
4. Vaskou, A.S. Thermal characterization of light-emitting sources of Cree types / A.S. Vaskou [et al.] // Proc. 12th Int. Conf. on Laser and Fiber-Optical Networks Modeling, LFNМ*2013. Sudak, 2013. P. 79–81.
5. 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.

диапазоне от 0 - 1,2 % массового содержания углерода. Это эффективный инструмент для быстрого контроля качества печных цементационных атмосфер и коррекции показаний кислородного зонда.

Для качественной цементации необходимо, контролировать концентрацию углерода на поверхности детали. Это косвенно делается с помощью кислородных зондов. На основе измеренного парциального давления кислорода и химических условий равновесия цементационной атмосферы вычисляется углеродный потенциал. Поскольку цементация осуществляется при высокой температуре (900 - 950 °С) в агрессивной и пыльной среде, сигнал датчика кислорода дрейфует. Для корректировки характеристик датчика используют тонкую (50 мкм) железную фольгу, которую размещают на ко-

роткий промежуток времени, 10 - 30 мин, в печную атмосферу, чтобы углерод диффундировал в фольгу по достижении равновесного состояния со средой. Равновесная концентрация углерода в фольге равна углеродному потенциалу, рассчитанному по парциальному давлению кислорода в атмосфере [2]. В лабораторных условиях концентрация углерода в железной фольге измеряется гравиметрическим методом или измерением содержания углекислого газа при ее полном сжигании. Первый метод должен быть сделан очень тщательно, чтобы исключить влияние обработки образца при измерении веса. Отпечатков пальцев, пыль, копыт следует избегать. Для второго метода эти факторы сказываются на результате не так сильно, а основными недостатками являются большая стоимость и необходимость в квалифицированном персонале. Настоящий метод измерения лишен указанных недостатков.

Для неразрушающего определения характеристик материалов электромагнитное тестирование было успешно использовано во многих приложениях [2]. Измерительный эффект основан на взаимосвязи между состоянием материала и его электрических и магнитных свойствах. При науглероживании фольги ее структуру определяют содержание углерода и условия охлаждения. Поскольку обычно скорость охлаждения небольшая, то структуру фольги определяют феррит, перлит и цементит в зависимости от содержания углерода. Электромагнитные свойства фольги зависят от содержания в ней углерода. Эти свойства могут быть измерены электромагнитными методами. Для количественного определения магнитных свойств используется гармонический анализ электромагнитного поля вихревых токов. Информация о магнитных свойствах ферромагнитного материала содержится в высших гармониках сигнала. Эти гармоники зависят от формы магнитного гистерезиса, которая связана со структурой материала. Не существует фундаментальной теории, описывающей связь между магнитными свойствами и микроструктурой ферромагнитных материалов, и в каждом конкретном случае следует экспериментально доказывать значимость такой корреляции. Типичная схема устройства содержит электромагнитную катушку, создающую переменное электромагнитное поле, которое взаимодействует с образцом ферромагнитной фольги и возбуждает в нем вихревые токи, зависящие от характеристик материала

фольги. Эти токи создают вторичное электромагнитное поле, которое противоположно первичному.

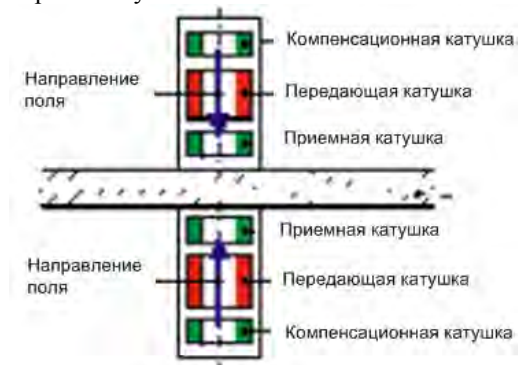


Рисунок 1 – Блок-схема устройства

Магнитные свойства материала описываются характерной кривой гистерезиса. Эта передаточная функция генерирует более высокие гармоники исходного синусоидального сигнала. Преобразованный таким образом сигнал регистрируется приемной катушкой и разлагается на спектральные составляющие с помощью Фурье-преобразования. Низшая частота равна частоте исходного сигнала. Более высокие гармоники вызваны нелинейностью характеристики кривой гистерезиса. На рисунке 1 показана блок-схема устройства. На каждой стороне фольги находятся по три катушки. Рядом с катушками передачи и приема расположены компенсационные катушки. При этой конфигурации достигается оптимальное для исследования гомогенное распределение поля в фольге и достигается минимальная чувствительность к возмущающим воздействиям, таким как изменение расстояния, краевой эффект или влияние наклона плоскости фольги. Полученное распределение поля и расположение катушек показаны на рисунке 2.



Рисунок 2 – Распределение магнитного поля

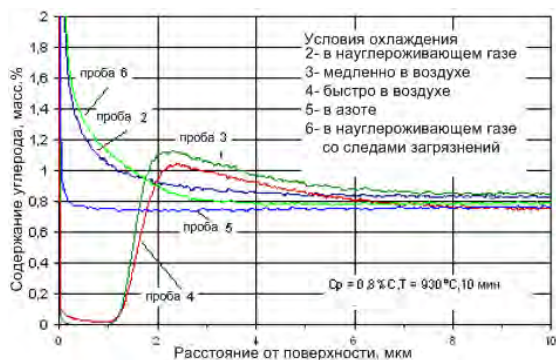


Рисунок 3 – Профили концентрации углерода при разных условиях охлаждения фольги

Для количественного определения содержания углерода в фольге, образцы фольги исследовались на содержание углерода лабораторным методом измерения. При этом важно учесть возможные ошибки, возникающие при способе извлечения фольговых образцов из печи. Некоторые возможные ошибки демонстрируются на рисунке 3.

Когда образцы фольги охлаждаются на воздухе, происходит окисление и изменение поверхностной концентрации углерода. Охлаждение в цементирующем газе имеет эффект дальнейшей цементации и приводит к более высокому содержанию углерода. К тому же зачастую не достигается однородная концентрация углерода по всей толщине фольги. Так что лучший способ извлечения фольги - выдержать ее достаточно долго в атмосфере цементации и медленно охладить в инертном газе.

Предлагаемым методом были обработаны 70 образцов фольги с параллельным определением содержания углерода лабораторным методом. Результаты статистической обработки

представлены на рисунке 4. Коэффициент корреляции оставляет 97,5% со стандартным отклонением 0,06 % С.

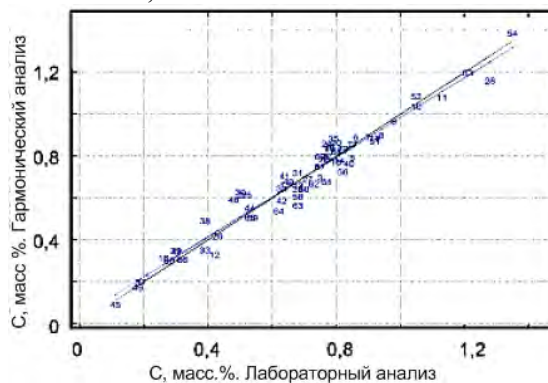


Рисунок 4 – Экспериментальная оценка точности и достоверности результатов измерений

При строгом соблюдении рекомендаций по извлечению фольги из печной атмосферы стандартное отклонение возможно еще снизить. Экспериментально определенная точность метода измерения достаточно высока для контроля углеродного потенциала в процессах цементации и может быть увеличена в дальнейшем.

1. Rose, E.; Mayr, P.: Analyse von PVD/CVD-Verschleißschutzschichten mit der Glimmentladungsspektroskopie (GDOS) // HTM – 1986- № 3, S.127.
2. Klümper-Westkam p.H.; Mayr, P.; Reimche, W.; Feiste, K.L.; Bernhard, M.; Bach, F.-W.: Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes in Aufkohlungsfolien // HTM - 2002- № 5, S. 364-372.

УДК 006.91.034:537.811 (045)(476)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НЭ РБ 26-15

Волынец А.С., Галыго А.В.

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Минск, Республика Беларусь

Введение

Плотность потока энергии (далее – ППЭ) — физическая величина, численно равная потоку энергии через малую площадку единичной площади, перпендикулярную направлению потока. Средства измерений ППЭ применяются в промышленности, экологии, медицине, обороне, научных исследованиях, транспорте и связи. В Республике Беларусь измерения ППЭ в первую очередь проводятся центрами гигиены и эпиде-

миологии при осуществлении контроля уровня электромагнитного поля на соответствие требованиям стандартов системы безопасности труда, санитарных правил и норм, устанавливающих предельно допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений на людей. Кроме того средства измерений ППЭ находят применение при проведении мониторинга уровней электромагнитных полей на местности и осуществлении контроля за использованием радиочастот-

ного спектра инспекциями, при проведении сертификационных испытаний продукции испытательными лабораториями, при проведении исследований по обеспечению защиты информации спецслужбами [1].

Состав и принцип работы эталона

Эталон предназначен для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы ППЭ в свободном пространстве. Единица ППЭ является производной от основных единиц, поэтому при ее воспроизведении используются средства измерений, заимствованные из поверочных схем для средств измерения длины и частоты, кроме того осуществлена взаимосвязь эталона единицы ППЭ с исходным эталоном единицы мощности электромагнитных колебаний ИЭ РБ 19-10.

Принцип действия эталона основан на методе эталонной антенны, в соответствии с которым значение ППЭ определяется с помощью эталонного измерителя ППЭ, а при передаче размера единицы ППЭ используется метод замещения эталонного преобразователя на исследуемый.

Эталон построен по блочному принципу. В состав эталона входят следующие основные блоки:

- а) излучающий блок эталона;
- б) измерительный блок эталона;
- в) устройство юстировки и перемещения излучающих модулей;
- г) устройство юстировки и перемещения измерительных модулей;
- д) экранированная безэховая камера 2,3x2,3x4,8 м;
- е) модифицированная экранированная полубезэховая камера Frankonia SAC – 3 Plus;
- д) управляющая персональная электронно-вычислительная машина (ПЭВМ) с прикладным программным обеспечением.

Источником сигнала служит широкополосный генератор сигналов с диапазоном рабочих частот от 0,3 до 39,65 ГГц. Регулировка ППЭ электромагнитного поля по уровню осуществляется регулировкой выходной мощности генератора. В диапазоне частот от 0,3 до 1,0 ГГц в качестве излучающей антенны используется широкополосная дипольная антенна Пб-62 с низким значением коэффициента усиления. Для создания электромагнитного поля большой амплитуды в данном диапазоне частот в высокочастотный тракт между генератором и измерительным мостом включается усилитель мощности Schaffner CBA 9433. В диапазоне частот от 1,0 до 18,0 ГГц излучателем является рупорная антенна ETS 3115, подключаемая к генератору через направленный ответвитель №05 или мост измерительный в зависимости от диапазона частот. В диапазоне частот от 18,0 до 25,86 ГГц к генератору через направленный ответвитель №03 под-

ключается рупорная антенна Пб-63, в диапазоне частот от 25,86 до 39,65 ГГц – рупорная антенна Пб-64 через направленный ответвитель №01. В целях контроля и обеспечения стабильности уровня мощности эталонного электромагнитного поля во вторичное плечо направленного ответвителя подключается измеритель мощности РМ 2 с термоэлектрическим преобразователем.

В состав измерительного блока входят идентичные излучающим эталонные измерительные антенны, к выходу которых подключаются к термоэлектрические преобразователи измерителя мощности РМ2. Крепление антенн осуществляется в устройствах юстировки и перемещения излучающих и измерительных модулей внутри экранированной безэховой камеры с помощью комплекта адаптеров для крепежа измерительных и излучающих антенн. Устройство юстировки и перемещения измерительных модулей, изготовленное из диэлектрического материала, позволяет в автоматическом режиме выполнять изменение расстояния между антеннами, осуществлять поперечное перемещение, вращение антенны по азимуту и вокруг своей оси.

В состав эталона входят две безэховые камеры, предназначенные для исключения переотражений электромагнитных волн от стен и конструктивных неоднородностей, а также защиты обслуживающего персонала от электромагнитного излучения [2].

Эталон функционирует следующим образом. Эталонные излучающие и измерительные антенны соответствующего диапазона устанавливаются в экранированной безэховой камере на расстоянии l , м, друг от друга. На эталонную излучающую антенну с генератора сигналов через направленный ответвитель подается сигнал требуемой частоты и мощности P_s . Эталонное значение ППЭ $П_{эм}$, Вт/м², создаваемого излучающей антенной, определяется эталонной измерительной антенной с подключенным к ней измерителем мощности по формуле

$$П_{эм} = \frac{P_{эм}}{S_{эм}}, \quad (1)$$

где $P_{эм}$ – мощность сигнала на выходе эталонной измерительной антенны, Вт;

$S_{эм}$ – эффективная площадь эталонной измерительной антенны, м².

Затем эталонная измерительная антенна заменяется на исследуемую антенну или измеритель ППЭ. Измеритель ППЭ подключается непосредственно к ПЭВМ через интерфейс Ethernet, RS-232 или USB в зависимости от типа интерфейса, используемого измерителем ППЭ для передачи данных. С генератора на излучающую антенну подается сигнал мощности P_s , при этом стабильность мощности сигнала контролируется

измерителем мощности РМ2, включенным во вторичный канал направленного ответвителя излучающего тракта. В случае изменения уровня выходной мощности генератора выполняется его корректировка. Далее производится регистрация показаний исследуемого измерителя ППЭ либо измерителя мощности, подключенного к выходу исследуемой измерительной антенны.

Если исследуемым средством измерений является измеритель ППЭ, относительная погрешность измерения δ определяется по формуле

$$\delta = \frac{P_{изм} - P_{эт}}{P_{эт}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $P_{изм}$ - значение ППЭ, измеренное исследуемым измерителем ППЭ, Вт/м².

Если объектом исследования является измерительная антенна, эффективная площадь исследуемой антенны $S_{эф}$, м², рассчитывается по формуле

$$S_{эф} = \frac{P_{изм} \cdot S_{эт}}{P_{эт}}, \quad (3)$$

где $P_{изм}$ - мощность сигнала на выходе исследуемой антенны, измеренный измерителем мощности, Вт;

$P_{эт}$ - мощность сигнала на выходе эталонной антенны, Вт;

$S_{эт}$ - эффективная площадь эталонной антенны, м².

Эталон обеспечивает воспроизведение единицы плотности потока энергии со среднеквадратическим отклонением результатов измерений не более 10 % при числе измерений $n=5$ и неисключенной систематической погрешностью от $\pm 10\%$ до $\pm 30\%$ в зависимости от диапазона частот и значения плотности потока энергии [3].

При оценке неисключенной систематической составляющей погрешности учтены следующие составляющие: погрешность измерения мощно-

сти измерителем мощности РМ на выходе эталонной измерительной антенны, погрешность эффективной площади эталонной измерительной антенны; погрешность за счёт рассогласования в тракте между измерительной антенной и измерителем мощности; погрешность за счёт переотражений между излучающей и измерительной антеннами; погрешность из-за неплоскостности электромагнитного поля в месте сличения антенн; погрешность замещения измерительной антенны на эталонную антенну; погрешность из-за непостоянства электромагнитного поля за время измерений; погрешность из-за переотражений электромагнитных полей от стен безэховой камеры и др.

Заключение

Эталон обеспечивает потребности республики при проведении метрологического контроля средств измерений ППЭ и измерительных антенн, эксплуатируемых отечественными предприятиями, используется в научных и исследовательских работах. В перспективе совершенствование эталона связано с исследованиями характеристик эталона с целью снижения неисключенной систематической погрешности, расширением динамического диапазона единицы плотности потока энергии, проведением международных сличений.

1. Создание и совершенствование эталонной базы в области радиочастотных электромагнитных измерений. В.А. Тищенко, М.В. Балаханов, В.И. Лукьянов. – Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2013. – 198 с.

2. Правила хранения и применения национального эталона единицы плотности потока энергии электромагнитного поля.

3. Паспорт национального эталона единицы плотности потока энергии электромагнитного поля.

УДК 658

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СМК СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Врублевская Е.А., Спесивцева Ю.Б.

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

КПД-1 ОАО «МАПИД» является одним из основных поставщиков услуг в строительстве нашей страны. В настоящее время перед предприятием поставлена задача актуализации и совершенствования СМК, которая должна соответствовать требованиям СТБ ISO 9001 с учетом изменений новой версии.

Одним из основных инструментов совершенствования СМК является оценка результативности, поскольку она позволяет принимать решения на основе фактов. Имеющаяся на предприятии методика имела ряд недостатков, поэтому была разработана новая версия, учитывающая лучшие стороны разных подходов.

Комплексная оценка результативности СМК ($R_{СМК}$) рассчитывается из полученных оценок результативности процессов, удовлетворенности потребителей и совершенствования СМК:

$$R_{СМК} = \frac{Y_{потр} + R_{проц} + R_{общ}}{3},$$

где $Y_{потр}$ – оценка удовлетворенности потребителя, %;

$R_{проц}$ – общая оценка результативности процессов СМК, %;

$R_{общ}$ – общая оценка совершенствования СМК, %.

При определении удовлетворенности потребителя, предлагается выставить оценку по каждому из влияющих факторов. Первым шагом осуществляется построение матрицы частот предпочтений, с использованием сгруппированных ответов потребителей по графе «Значимость».

Результаты оценок значимости критериев и группирование их по значимости:

- наиболее значимые факторы: качество оказанных услуг, уровень обслуживания (коэффициент значимости $k_i^{yo}=0,4$), наличие квалифицированного обслуживающего персонала, конкурентоспособные цены, соблюдение выполнения установленных требований ($k_i^{yo}=0,3$);

- факторы средней значимости: приемлемое время исполнения заказа, оперативность реагирования на запросы ($k_i^{yo}=0,2$);

- наименее значимые факторы: простота первоначального заказа ($k_i^{yo}=0,1$).

Полученные значения представляют собой весовые коэффициенты для факторов с точки зрения предпочтений потребителей.

Следующим шагом в оценке удовлетворенности потребителя является выставление клиентом оценки каждому фактору согласно предложенной шкале удовлетворенности:

- 5 – результат превзошел ожидания потребителя;

- 4 – потребитель удовлетворен услугой;

- 3 – потребитель частично удовлетворён услугой;

- 2 – потребитель больше не удовлетворен, чем удовлетворен услугой;

- 1 – потребитель полностью не удовлетворен услугой.

После анкетирования, которое должно проводиться раз в год проводится анализ полученных оценок. Для каждого фактора рассчитывается среднее значение удовлетворенности $u_{срi}$:

$$u_{срi} = \frac{\sum u_{ij}}{n},$$

где u_{ij} – значение балльной оценки i -го фактора j -м потребителем;

n – количество опрошенных потребителей.

Используя полученные коэффициенты значимости факторов и среднее арифметическое значение удовлетворенности по каждому фактору, получим оценку удовлетворенности потребителей:

$$Y_{потр} = \left(\frac{1}{5} \cdot \sum k_i^{yo} \cdot u_{срi} \right) \cdot 100 \%,$$

где k_i^{yo} – весовой коэффициент значимости фактора;

$u_{срi}$ – среднее значение удовлетворенности по каждому фактору;

$\frac{1}{5}$ – переводной коэффициент.

Результативность СМК зависит от результативности каждого из процессов, входящих в состав СМК. Критерий оценки показателя содержит плановое значение показателя процесса, выраженное в измеримых единицах, а также требование по условиям оценки фактического значения показателя.

В расчетах использованы имеющиеся в отчетах о функционировании СМК показатели результативности процессов.

Общий показатель результативности рассчитывается как среднее арифметическое показателей результативности всех процессов ОАО «МАПИД»:

$$R_{проц} = \sum_{i=1}^m k_i^{np} \cdot R_i,$$

где R_i – оценка результативности функционирования i -го процесса;

k_i^{np} – весовой коэффициент оценки процесса;

m – количество процессов в организации.

Коэффициенты весомости i -го процесса (k_i^{np}) СМК рассчитывается как соотношение числа корректирующих мероприятий для i -го процесса (KM_i) на общее число корректирующих мероприятий для всех процессов:

$$k_i^{np} = 1 - \frac{KM_i}{\sum_{i=1}^m KM_i}.$$

Подход позволяет оценить те процессы СМК, на которые необходимо выделить наибольшее количество ресурсов для достижения поставленных целей. Процессы, в отношении которых не определены корректирующие мероприятия, имеют коэффициент весомости равный 1.

Расчет результативности каждого процесса СМК осуществляется исходя из запланированных и реализованных целей каждого процесса:

$$R_i = \frac{\Pi_{реал}}{\Pi_{запл}} \cdot 100\%,$$

где R_i – результативность i -го процесса;

$\Pi_{реал}$ – количество реализованных целей по i -ому процессу;

$\Pi_{запл}$ – количество запланированных целей по i -ому процессу.

Потенциально возможно, что значение результативности одного из рассматриваемых процессов превышает 100%. В этом случае необходимо использовать значение 100%.

Повышение результативности – один из принципов совершенствования СМК, и это немаловажный пункт для анализа результативности СМК.

Оценку выполнения корректирующих и предупреждающих мероприятий по результатам аудитов определяем из соотношения

$$R_{\text{КиПМ}} = \frac{N_{\text{выпол}}}{N_{\text{общ}}} \cdot 100\%,$$

где $R_{\text{КиПМ}}$ – оценка результативности выполнения корректирующих и предупреждающих действий, %;

$N_{\text{выпол}}$ – количество выполненных мероприятий;

$N_{\text{общ}}$ – общее количество запланированных мероприятий.

Помимо корректирующих и предупреждающих мероприятий, проведенных по результатам аудиторских проверок, второй составляющей оценки результативности совершенствования СМК является выполнение предложений по совершенствованию СМК:

$$R_{\text{соверш}} = \frac{k_{\text{реал}}}{k_{\text{предл}}} \cdot 100\%,$$

где $R_{\text{соверш}}$ – оценка результативности реализации предложений по совершенствованию СМК, %;

$k_{\text{реал}}$ и $k_{\text{предл}}$ – количество реализованных и предложенных мероприятий соответственно.

Третьей составляющей является оценка результативности СМК за предыдущий отчетный период – $R'_{\text{СМК}}$.

Общая оценка совершенствования СМК будет выглядеть как среднее арифметическое полученных трех составляющих:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{КиПМ}} + R_{\text{соверш}} + R'_{\text{СМК}}}{3}.$$

Для оценки результативности используется шкала:

- СМК функционирует результативно и не требует разработки каких-либо действий, если $P_{\text{СМК}} = 100\%$;

- СМК функционирует результативно, но требует разработки предупреждающих действий, если $x_1 < P_{\text{СМК}} < 100\%$;

- СМК функционирует результативно, но требует разработки незначительных корректирующих действий, если $x_2 < P_{\text{СМК}} < x_1$;

- СМК функционирует недостаточно результативно и требует разработки значительных корректирующих действий, если $x_3 < P_{\text{СМК}} < x_2$;

- СМК функционирует нерезультативно и требует вмешательства высшего руководства, если $0\% < P_{\text{СМК}} < x_3$.

Величины x_1, x_2, x_3 устанавливаются при разработке СМК и должны находиться в диапазоне от 0 до 100%. В рамках деятельности ОАО «МАПИД» были установлены для величин x_1, x_2, x_3 значения 93%, 80%, 53% соответственно. Применение рекомендуемых оценок результативности для СМК позволяет определить степень воздействия, необходимого для корректировки.

Сравнительный анализ двух методик показал, что старая версия методики не корректно отражала результативность СМК ОАО «МАПИД» – каждый год наблюдался рост результативности. Такая тенденция отражает политику на мотивирование сотрудников для достижения целей процессов. Однако, такой подход не учитывал удовлетворенность потребителя, а данный показатель для организации, предоставляющей строительные услуги, является очень важным. Также политика постоянного улучшения, проводимая высшим руководством, не находила отражения в результатах оценки результативности, что не позволяло корректно судить о тенденции совершенствования СМК ОАО «МАПИД».

УДК 664

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Габец В.Л.¹, Зубеня А.А.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²ОАО «Скидельский сахарный комбинат»
Скидель, Республика Беларусь

Республика Беларусь является страной с развитым аграрным сектором и обладает большим потенциалом для увеличения производства сельскохозяйственной продукции для перерабатывающей отрасли, высокое качество которой обеспечивает ей конкуренто-

способность на внутреннем рынке и рынках соседних государств. В Беларуси функционирует сложившаяся система обеспечения качества и безопасности продуктов питания. Для реализации мероприятий по гармонизации национальных норм с ре-

комендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) необходимо знать и учитывать основные принципы их формирования в странах-участниках Всемирной торговой организации (ВТО). Это позволит создать эффективный механизм регулирования качества и безопасности сельскохозяйственной продукции и продукции перерабатывающих отраслей, что обеспечит необходимое высокое качество продуктов питания, облегчит процедуру вступления Республики Беларусь в ВТО. Кроме того, производители ставят задачи по расширению сбыта продукции на внешнем рынке в странах ближнего и дальнего зарубежья, поэтому требования стран-импортеров к такой продукции обязаны учитываться при производстве. Законы, ориентированные на внутренний рынок страны, могут также непреднамеренно повлиять на практику ведения бизнеса, принятую в компаниях, действующих за пределами государственных границ страны. Во многих случаях компании, продукция которых предназначена для реализации на внешнем рынке, вносят изменения в технологию производства, чтобы привести эту продукцию в соответствие с нормативами импортирующих стран, даже если операции, выполняемые компаниями, полностью соответствуют отечественному законодательству.

Мировое сообщество при устранении технических барьеров в торговле стремится к реализации принципа «один стандарт, одно испытание, одна оценка соответствия или испытаний одинажды принимается везде». Данный принцип во многом отражен в ряде положений ЕС, сущность которых заключается в четком разделении обязательных и добровольных требований к показателям качества продукции, гармонизации требований стандартов, технических регламентов и т. д. Законодательство по контролю продуктов питания в странах ЕС имеет трехуровневую структуру: европейские регулирующие положения (решения, директивы); национальные регулирующие положения (законы, положения); региональное законодательство (законы, положения, служебные предписания). В ЕС наиболее важные показатели безопасности сельскохозяйственной продукции и продукции перерабатывающих отраслей определены в постановлениях и директивах и направлены на охрану здоровья населения, интересов потребителя (предотвращение фальсификаций и мошенничества при реализации продуктов питания), защиту животных, растений и окружающей среды. Регулирующие положения

европейского законодательства определяют конкретные рамки применения национального и регионального законодательства. Они достаточно гибки и позволяют осуществлять собственное толкование национальных регулирующих положений в любой стране, являющейся членом ЕС, не противореча при этом европейскому законодательству. В странах ЕС постоянно разрабатываются новые директивы, дорабатываются перечни контролируемых веществ, устанавливаются максимально допустимые уровни (МДУ) их содержания в тех или иных продуктах питания или в сырье.

В ЕС получила развитие и продолжает совершенствоваться система сертификации производств сельхозпродукции. Сегодня невозможна реализация сельскохозяйственной и пищевой продукции на рынке ЕС без наличия на предприятии подтвержденной системы управления качеством и безопасностью на основе принципов HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point, что в переводе означает анализ рисков и критические точки контроля), которые являются ключевым элементом семейства международных стандартов ISO 22000. Предприятия по производству пищевых продуктов обеспечивают безопасность своей продукции и проводят собственный контроль. Функционирование системы самоконтроля предприятий проверяется государственным органом.

Автоматизация технологического процесса для комплексной оценки качества экстракта сахарной свеклы при производстве сахара на заводах республики должна способствовать обеспечению безопасности выпускаемой продукции.

В производственной лаборатории ОАО «Скидельский сахарный комбинат» установлена автоматизированная система для оптимизации лабораторных анализов, который работает по актуальным стандартам Международной Комиссии по Единым Методам Анализа Сахара (ICUMSA).

Система осуществляет весь спектр анализов (сырье, промежуточные и конечные продукты) для сахарного производства, а именно - анализ сырых, промежуточных и конечных продуктов сахарной промышленности на поляризацию; Vrix; кажущуюся чистоту; опционально на pH; проводимость золь; цвет раствора, влажность сахара и отраженный цвет.

Автоматизированная система включает комплекс с вычислительным устройством для автоматического анализа сахарной свеклы на сахарозу (Z), калий (K), натрий (Na) и альфа-аминокислотный азот.

Автоматизированная система представляет собой компьютеризированную лабораторную

систему для контроля качества и анализа сахарной свеклы в соответствии с официальными методами ICUMSA. Содержание сахара, оценённое по измерениям на поляриметре, не отражает реальный выход сахара, поскольку такие образующие мелассу ингредиенты свеклы, как калий, натрий и альфа-амино азот не учитываются в расчётах. Сахарные заводы могут использовать данную систему и дополнительные системы для оценки стоимости сырья, для улучшения качества поставляемой сахарной и, таким образом, увеличивать прибыльность производства из года в год.

Материалом проб является масса-экстракт сахарной свеклы, произведенной по методу «холодной дигестации»: Масса сахарной свеклы разбавляется в соотношении 26 гр / 177 мл с базисным раствором ацетата свинца. Смесь размешивается для экстрагирования растворимых составных частей и дальнейшей фильтрации. Фильтрат должен быть свободным от веществ, обуславливающих помутнение.

Для достижения хорошей точности замера, базисный раствор ацетата свинца не должен содержать мешающие концентрации калия и натрия. Осветляющее средство должно быть достаточно чистым и растворенным в дистиллированной или деминерализованной воде.

Основные технические характеристики к сахарной свекле как к сырью для выработки сахара должны характеризовать не только ее пригодность к переработке, но и для хранения. Введение в стандарт на свеклу требований к показателям физического состояния обусловлены тем, что примеси подвяленных, цветущих, подмороженных и сильно механически поврежденных корнеплодов вызывают не только ослабление к устойчивости ее к хранению, но и приводят к затруднениям в технологическом процессе переработки.

Абсолютное большинство сахарных заводов работает на сахарной свекле. И даже при выборе

оптимального режима переработки и рациональной организации производства технологические качества свеклы определяют характер и размеры потерь сахарозы – и, как следствие, выход кристаллического сахара.

Выход сахара (и хранимость свеклы) зависит от количественного элементного состава: сколько в сырье содержится калия (K), натрия (Na) и альфа-амино-азота, являющихся сильными мелассообразователями. Большая концентрация альфа-амино-азота приводит к термическому разложению сахарозы, нарастанию цветности, повышению кислотности соков и продуктов – а значит, к уменьшению сроков хранения свеклы и снижению количества готового продукта.

Аналитическое исследование свеклы при приеме ее в переработку и закладке на хранение помогает определить эффективность технологии производства на различных стадиях. Используя эти данные специалисты завода могут выработать технико-экономическую модель производства и сформировать комплекс рекомендаций по оптимизации режимов хранения и переработки.

Сахарные заводы могут использовать автоматизированную систему для улучшения качества поступающего для переработки сырья. Если платить за свеклу не по весу брутто, а в зависимости от содержания сахарозы и редуцирующих веществ, то хозяйствам, производящим сахарную свеклу хорошего качества, дается дополнительный стимул. И появляется объективная причина отказать в поставках тем, кто снабжает свеклой низкого качества – или хотя бы платить по справедливости меньше. А агротехнические предприятия, занимающиеся выращиванием семян, могут использовать автоматизированную систему для создания лучших сортов сахарной свеклы с высоким содержанием сахарозы.

УДК 625.7.08

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОРАДАРНОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Громыко А.В., Романов А.Ф., Ходасевич А.И., Чернобай И.А.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета*

Минск, Республика Беларусь

Разработанный авторами георадарно-акустический метод измерений прочности дорожных покрытий основан на измерении модуля упругости E слоев дорожного покрытия

путем измерения скоростей распространения v_1 , v_2 , ..., v_n акустических колебаний в каждом слое покрытия по параметрам распространения радиолокационных сигналов, отраженных от

границ слоев дорожных покрытий [1-4]. Модуль E_n определяется с учетом плотности ρ_n контролируемого покрытия, также определяемой по скорости акустических колебаний:

$$E_n = \rho_n \cdot v_n^2. \quad (1)$$

Измерения скорости распространения акустических колебаний реализуется по временам распространения $T_{P1}, T_{P2}, \dots, T_{Pn}$ акустических волн, определяемым по моментам выделения фазоамплитудных флуктуаций отраженных радиолокационных сигналов от каждой границы между слоями, вибрирующей в соответствии со сдвигом фаз, вызванным распространением акустических волн от излучателя через контролируемые покрытия. На основании полученных результатов для времен распространения вычисляются скорости распространения акустических волн в первом, втором, третьем ... и n -м слоях:

$$v_1 = \frac{l_1}{T_{P1}}; v_2 = \frac{l_2}{T_{P2} - T_{P1}}; \dots; \\ v_n = \frac{l_n}{T_{Pn} - T_{Pn-1}}, \quad (2)$$

где l_1, l_2, \dots, l_n - толщины каждого слоя, измеряемые посредством отраженных радиолокационных сигналов по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{c_0 t_1}{2\sqrt{\xi_1}}; \quad l_2 = \frac{c_0(t_2 - t_1)}{2\sqrt{\xi_2}}; \dots; \\ l_n = \frac{c_0(t_n - t_{n-1})}{2\sqrt{\xi_n}}, \quad (3)$$

где c_0 - скорость распространения электромагнитной волны в вакууме; t_1, t_2, \dots, t_n - отметки времени в наносекундах, измеряемые радиолокационным сигналом от момента времени излучения радиолокационного импульса до момента его приема при отражении от каждой границы между слоями дорожной одежды; $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ - величины диэлектрической проницаемости слоев.

Однако проведенные испытания показали, что метод наряду с его перспективностью имеет определенные ограничения за счет внешних помех, связанных со скоростью сканирования автомобильной дороги. Поэтому предложен эффективный метод компенсации динамических погрешностей георадарноакустических измерений, дающий возможность компенсировать влияния случайных и повторных отражений радиолокационных сигналов от любых конструктивных элементов, случайных и систематических неоднородностей, вариации

диэлектрических проницаемостей от разных элементов конструкций и т.п., находящихся в слоях автомобильной дороги. Компенсация базируется на адаптивном принципе обработки сигналов, позволяющем измерять, накапливать и сдвигать во времени информацию об изменяющихся характеристиках объекта контроля на величину автоматически регулируемой задержки с целью постоянной поддержки в измерительной системе наивысшей эффективности компенсации для получения максимально возможной точности измерения [5].

Компенсация динамических погрешностей измерений и обеспечение высокой помехоустойчивости при достаточно большой скорости сканирования автомобильной дороги достигается применением опорного, радиолокационного сигнала. Это осуществляется следующим образом.

Адаптивная обработка сигналов георадарноакустических измерений является основой метода компенсации динамических погрешностей. Существенным методическим приемом реализации метода является то, что осуществляют предварительное опорное зондирование покрытий автомобильной дороги импульсными радиолокационными сигналами и по разности между моментами формирования шумовых фазоамплитудных флуктуаций отраженных радиолокационных сигналов от каждой границы между слоями, формируют и запоминают комплексный опорный (шумовой) георадарноакустический профиль, который представляется в виде

$$P_u(t) = \sum_{i=1}^{i=n} G(j \varpi)_u, \quad (4)$$

где $i = n$ - количество границ между слоями дорожных одежд; G - функция интенсивности сигнала; $j \varpi$ - комплексный спектр частот, перекрывающий диапазон резонансных частот дорожных покрытий от $i = 1$ до $i = n$.

Измерение и запоминание шумового георадарноакустического профиля $P_u(t)$ осуществляют по ходу сканирования перед основным зондированием покрытий автомобильной дороги импульсными радиолокационными сигналами. В процессе основного зондирования по разности моментов формирования фазоамплитудных флуктуаций, отраженных радиолокационных сигналов от каждой границы между слоями, находящихся под воздействием акустических волн, формируют основной георадарноакустический профиль $P_o(t)$:

$$P_o(t) = \sum_{i=1}^{i=n} G(j \varpi)_o, \quad (5)$$

где $G(j\omega)_o$ – функция интенсивности основного сигнала в диапазоне частот ω .

Затем опорный (шумовой) георадарно-акустический профиль $P_u(t)$, соответствующий выражению (4), преобразуют в цифровой вид с оптимизированными весовыми коэффициентами. Этот профиль $P_u(t)$ по логике определения весового вектора с минимизацией погрешности измерений задерживают на время $\tau(n)$ в соответствии с выражением (3), причем время задержки $\tau(n)$ равно времени движения мобильного транспортного средства от центра опорного зондирования до центра основного зондирования. Параллельно формируют основной георадарноакустический профиль $P_o(t)$, соответствующий выражению (5), причем его также преобразуют в цифровой вид с теми же весовыми коэффициентами, затем из профиля $P_o(t)$ непрерывно вычитают опорный шумовой георадарноакустический профиль $P_u(t)$, причем полученный разностный георадарноакустический профиль является искомым измерительным профилем $P_u(t)$:

$$P_u(t) = \sum_{i=1}^{i=n} G(j\omega)_o - \sum_{i=1}^{i=n} G(\omega)_{u_0} = \sum_{i=1}^{i=n} G(\omega)_{u_1} \quad (6)$$

Полученный измерительный профиль, соответствующий выражению (6), обрабатывается согласно методики, позволяющей определять скорости распространения акустических волн в слоях дорожных покрытий. Для этого из $P_u(t)$ с учетом полученной по формулам (3) толщины l_1, l_2, \dots, l_n каждого слоя, измеренного посредством определения разности времен $T_{P1}, T_{P2}, \dots, T_{Pn}$ распространения отраженных от границ слоев радиолокационных сигналов с поправкой на диэлектрическую проницаемость слоя, вычисляют и определяют по формулам (2) скорости v_1, v_2, \dots, v_n распространения акустических волн в каждом слое дорожной одежды. По полученным величинам скорости распространения акустических волн уточняют

плотность материала слоев и вычисляют по формулам (1) модуль E_1, E_2, \dots, E_n в каждом из этих слоев, по которым оценивают и определяют их прочности.

1. Чернобай, И.А. Совершенствование георадарной технологии для определения качества автомобильных дорог / А.В. Громько, А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Материалы 4-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2011». – Минск, 2011. – С.295-296.

2. Чернобай, И.А. Георадарноакустическая аппаратура экспресс-контроля качества покрытий автомобильных дорог / А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. научн. тр. / Под ред. Н.П. Мигуна. – Минск, 2013. – 380 с. С. 296-304.

3. Чернобай, И.А. Функционирование георадарноакустического комплекса по определению прочности слоев автомобильных дорог / А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. научн. тр. / Под ред. Н.П. Мигуна. – Минск, 2013. – 380 с. С. 305-311.

4. Чернобай, И.А. Исследование точности функционирования георадарноакустического аппаратного комплекса по определению прочности дорожных покрытий / А.В. Громько, А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Материалы третьей Международной научно-практической конференции «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния». – Минск, 28-29 апреля 2015. – С. 208-213.

5. Теоретическое обоснование и реализация метода компенсации динамических погрешностей георадарноакустических измерений с разработкой аппаратного комплекса для мониторинга покрытий автомобильных дорог: отчет о НИР (заключ.) / НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» БГУ; рук. И.А. Чернобай; исполн.: Ходасевич А.И., Романов А.Ф., Громько А.В., Лисименко И.Ф., Позняк Н.К. [и др.]. – Минск, 2015. – 82 с. – № ГР 20143701.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ СПЕКТРАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ МОНОХРОМАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВЫЧИТАНИЕМ ДИСПЕРСИИ

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

Подход к получению мультиспектральных изображений пространственной области, предложенный в работе [1], основывается на вычитании дисперсии при обратном прохождении через ту же оптическую систему. Спектральная фильтрация обеспечивается пространственным выделением части дисперсионного изображения протяженного входного окна и устранением посредством вычитания дисперсии суперпозиции пространственно-спектральной информации. Преимуществами подхода являются взаимная независимость пространственного и спектрального разрешения, повышенный спектральный контраст [2], при разработке схемных решений могут быть использованы простые оптические элементы (сферические и плоские зеркала, плоская отражательная дифракционная решетка), разработан малоабберационный вариант оптической системы.

Как показано в [2], границы спектрального интервала, в котором точка объекта изображается системой, зависят от положения этой точки в проекции на направление дисперсии, причем смещение интервала является линейной функцией координаты. Для полного охвата спектрального интервала может потребоваться серия измерений при различных положениях (углах наклона) дифракционной решетки. Таким образом, в результате будет зарегистрирован массив данных вида $A(x'', y'', \alpha)$, где x'' , y'' – координаты точки на детекторе, α – угол поворота дифракционной решетки. Для практических целей необходимо иметь возможность получить из этого массива спектральную информацию для набора точек (x_0, y_0) входного окна $I(x_0, y_0, \lambda)$. При этом спектральное разрешение не будет превышать

$$\Delta\lambda = \frac{b \cos \beta_0}{kf_{cam}} \Delta d, \quad (1)$$

где b – постоянная решетки, k – порядок дифракции, Δd – ширина отверстия в маске в направлении дисперсии, f_{cam} – фокусное расстояние камерного объектива монохроматора. Отсчет координат в плоскости объекта и изображения проводится от осевого луча, который проходит через центры объективов, падает на

дифракционную решетку под углом α_0 , а дифрагирует под углом β_0 .

В первом приближении можно считать, что при регистрации сигнала $I_0(x, y, \lambda)$ на детекторе он модулируется функцией пропускания системы $\psi(x'', y'', \lambda, x, y, \alpha)$ и функцией пропускания детектора $\xi(x, y, \lambda)$.

$$A(x'', y'', \alpha) = \psi(x'', y'', \lambda, x, y, \alpha) \cdot \xi(x, y, \lambda) I_0(x, y, \lambda) \quad (2)$$

Чтобы из этого массива данных получить оценку оригинальной пространственно-спектральной информации, необходимо использовать калибровочную функцию κ , которая отображает каждую точку куба данных $A(x'', y'', \alpha)$ в точку куба данных $I(x_0, y_0, \lambda)$

$$\kappa : (x'', y'', \alpha) \rightarrow (x_0, y_0, \lambda). \quad (3)$$

В пренебрежении искажениями изображения входного окна на детектор функция κ учитывает только описанное выше соотношение между положением спектральной полосы и координатой точки на детекторе

$$\lambda = \kappa(x'', \alpha). \quad (4)$$

При существенной величине аберраций (в том числе, дисторсии) необходимо использовать более общий вид (3), включающий вторую пространственную координату.

Для построения калибровочной функции можно воспользоваться полученными в [2] соотношениями для границ выделяемой спектральной полосы:

$$\begin{cases} \lambda \geq \frac{b}{kq} \left(x'_1 + \frac{q}{p} x'' + qC \right) \\ \lambda \leq \frac{b}{qk} \left(x'_2 + \frac{q}{p} x'' + qC \right) \end{cases}, \quad (5)$$

где $p = \frac{f_{col}}{\cos \alpha_0}$, $q = \frac{f_{cam}}{\cos \beta_0}$, $C = \sin \alpha_0 + \sin \beta_0$, f_{col} –

фокусное расстояние коллиматорного объектива монохроматора.

Отсюда следует, что калибровочная функция может быть представлена в виде

$$\lambda = \frac{b}{k} (\sin \alpha_0 (1 + \cos \psi) - \sin \psi \cos \alpha_0) + \frac{b}{kf_{cam}} x'_m + \frac{b}{kf_{col}} x'' \cos \alpha_0, \quad (6)$$

где x'_m – координата центра отверстия маски в промежуточной плоскости изображения, также для удобства вместо угла β_0 введен угол $\psi = \alpha_0 - \beta_0$. Этот угол является параметром системы (угол между оптической осью системы перед падением на дифракционную решетку и после дифракции), поэтому более предпочтителен для использования в калибровочных расчетах. Формула получена при рассмотрении в качестве длины волны λ центральной длины волны спектральной полосы. При калибровке определить положение центра спектральной полосы возможно только для полос, которые целиком помещаются на детекторе, то есть при достаточно узкой щели в промежуточной плоскости изображения. К примеру, при численном моделировании процедуры калибровки использована решетка с $b = 1200$ штр./мм, ширина маски составляет 0.33 мм, при этом ширина изображения на детекторе при монохроматическом излучении с $\lambda = 500$ нм составляет 0.9 мм. В первом приближении можно считать, что расширение отверстия в маске не приведет к искажениям калибровочной функции, так что можно использовать полученные результаты для измерений при другой ширине.

При проведении реальных измерений углы и координаты в формуле (6) могут быть измерены с ограниченной точностью. Поэтому представляет интерес возможность их приблизительного задания с последующей корректировкой посредством процедур нелинейной аппроксимации. В таком случае можно ввести следующие параметры: α_p – базовый угол падения на дифракционную решетку, x''_p – базовая координата в плоскости детектора, $B = \frac{b}{kf_{cam}} x'_m$, так что формула

(6) примет вид

$$\lambda = \frac{b}{k} (\sin(\alpha_p + \alpha)(1 + \cos \psi) - \sin \psi \cos(\alpha_p + \alpha)) + B + \frac{b}{kf_{col}} \cos(\alpha_p + \alpha)(x''_p + x). \quad (7)$$

Представляет интерес получение величин параметров α_p, ψ, x''_p, B при проведении калибровки, включение их в калибровочную функцию и дальнейшее использование при обработке результатов измерений. При таком подходе устраняется необходимость точного измерения углов α (фактически, угла поворота дифракционной решетки) и ψ в системе, что представляет собой достаточно трудоемкую задачу при массовом изготовлении спектральных приборов.

Получение величин указанных параметров может быть проведено посредством построения нелинейной регрессии с оценкой разброса результатов при помощи МНК. В общем виде для данной процедуры желательно использование весовых коэффициентов или параметризации для уравнивания вкладов отдельных параметров в общий результат.

На первом этапе была проведена оценка вклада слагаемых в формуле (6) и влияния ошибок измерения угловых величин и линейных координат на результат оценки длины волны. Вклад первого слагаемого существенно преобладает, что будет учтено при построении регрессии. Была построена нелинейная регрессия, позволяющая восстановить только параметры x''_p, B при фиксированных параметрах α_p, ψ .

1. Гулис, И. М. Двойной монохроматор изображения с вычитанием дисперсии / И. М. Гулис, А. Г. Купреев, А. Г. Костюкевич // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 1. – 2011. – № 2. – С. 19–23.
2. Гулис, И. М. Спектральная селекция в монохроматоре изображения с вычитанием дисперсии / И. М. Гулис, А. Г. Купреев // Вестник Белорусского государственного университета. Серия 1. – 2014. – № 3. – С. 3–7

Nd³⁺:Ca₁₀Li(VO₄)₇ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Демеш М.П., Гусакова Н.В., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В.

НИЦ Оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из важных проблем лазерной физики является генерация лазерного излучения в виде импульсов предельно малой длительности. Решение этой проблемы открывает пути создания лазеров, обладающих высокой интенсивностью излучения. Другим обстоятельством, мотивирующим развитие лазеров ультракоротких импульсов, является необходимость измерения предельно коротких интервалов времени, что позволяет исследовать различные быстропротекающие процессы и создавать лазерные стандарты частоты. Также перспективно применение таких лазеров в медицине (оптическая когерентная томография) и прецизионной обработке металлов.

Кристаллы твердых растворов на основе ванадата кальция Ca₉Ln(VO₄)₇ (Ln = La³⁺, Y³⁺, Gd³⁺, Lu³⁺, Bi³⁺) и Ca₁₀A(VO₄)₇ (A = Li, K) [1] с ионами РЗЭ привлекательны как активные среды для получения импульсов ультракороткой длительности, что связано с уширением их спектральных линий и, соответственно, полос усиления. Первоначально интерес к данным кристаллам был обусловлен их нелинейно-оптическими свойствами. Однако, исследование спектроскопических свойств данных кристаллов показало их перспективность как активных сред твердотельных лазеров [1-3].

Кристалл Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ относится к тригональной сингонии, пространственная группа симметрии – R3c. В оптическом отношении эти кристаллы являются одноосными, причем оптическая ось совпадает с осью симметрии третьего порядка (ось c). Концентрация ионов неодима составляет $9,2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

В докладе представлены основные спектроскопические характеристики новой активной среды – кристалла Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ и первые результаты экспериментального получения лазерной генерации на этом материале.

С точки зрения получения лазерной генерации наибольший интерес представляет переход $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ в области 1 мкм. На рис. 1 представлены спектры сечений поглощения σ_{abs} и стимулированного испускания σ_{em} кристалла Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ для σ – поляризации, так как они имеют более высокие значения чем для π поляризации. Значение сечения поглощения в максимуме полосы составляет $8,2 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$, а стимулированного испускания – $6,4 \cdot 10^{-20} \text{ см}^2$.

Измеренное время жизни верхнего лазерного уровня $^4F_{3/2}$ равняется 140 мкс. Близкое к этому значение имеет и радиационное время жизни,

рассчитанное по методу Джадда-Офельта [1]. Это свидетельствует о том, что квантовый выход люминесценции близок к единице.

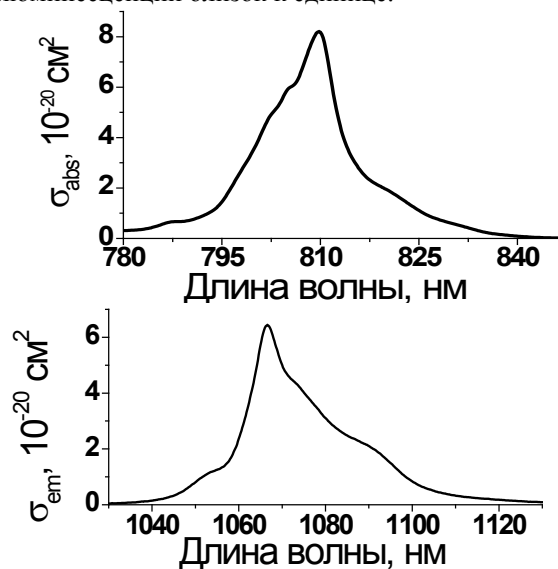


Рис. 1 Спектры сечений поглощения и стимулированного испускания кристалла Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇ (σ – поляризация)

Для проведения эксперимента была собрана экспериментальная установка лазера с полусферическим резонатором, расчет которого проводился методом ABCD матриц. Мощность усиленного спонтанного излучения на длине волны ≈ 1 мкм, регистрировалась при помощи фотоприемника G5851 (HAMAMATSU) с усилителем за выходным зеркалом резонатора. Выходная мощность регистрировалась измерителем мощности 3A-P (Orphir). Для накачки использовался 25 Вт лазерный диод FocusLigth с длиной волны 802 нм, излучение которого фокусировалось в перетяжку диаметром 450 мкм. В схеме лазера входное зеркало с радиусом кривизны 1000 мм имело диэлектрическое покрытие, обеспечивающее высокое пропускание для излучения на длине волны накачки (≈ 802 нм) и высокое отражение ($> 99,9\%$) на длине волны генерации 1065 нм. В качестве выходных использовались плоскопараллельные зеркала с коэффициентами пропускания 1,5% и 5% на длине волны генерации. Активный элемент представлял собой плоскопараллельную пластину толщиной 0,7 мм и был закреплен на медном теплоотводе. Температура активного элемента поддерживалась на уровне 15°C с помощью элемента Пельтье. На рабочие поверхности элемента были нанесены

просветляющие покрытия как на длине волны накачки, так и на длине волны генерации. В ходе экспериментов был реализован режим свободной генерации. При этом длительность импульса накачки равнялась 2 мс, а частота следования импульсов – 1 Гц. Наибольшая выходная мощность лазера 0,75 Вт была получена при пропускании выходного зеркала 1,5%. Экспериментально определенные выходные характеристики лазера представлены на рисунке 2. Дифференциальная эффективность составила при этом 40,7%.

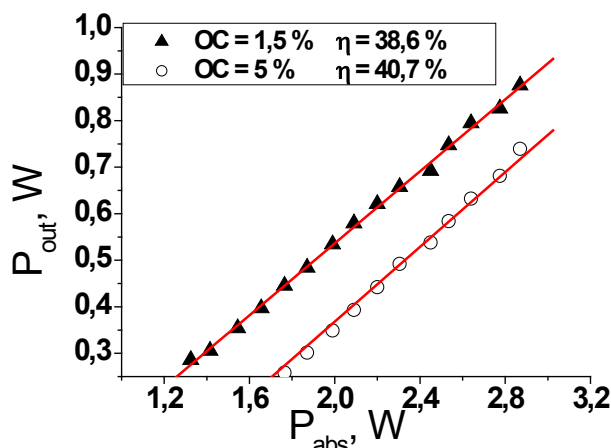


Рис. 2. Выходные характеристики лазера на кристалле Nd:Ca₁₀Li(VO₄)₇

Спектр лазерного излучения представлен на рисунке 3 для $T_{oc} = 5\%$. Длина волны, соответствующая максимуму спектра генерации, составила 1065,2 нм.

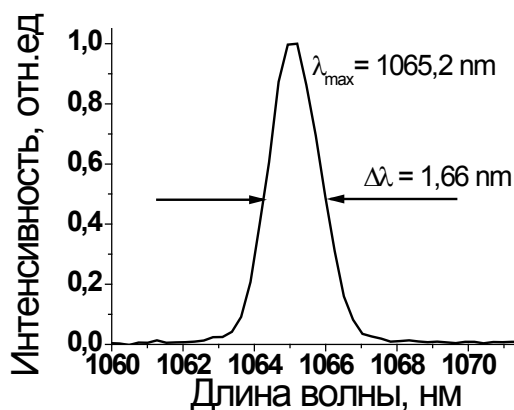


Рис. 3. Спектр генерации лазера в режиме свободной генерации

На рисунке 4 представлено распределение энергии в пятне излучения. Качество пучка составляло $M^2 \approx 1,1$.

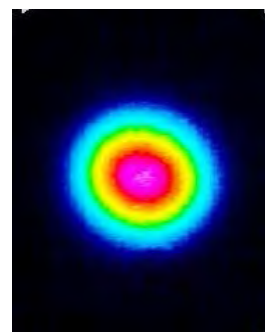


Рис. 4. Пространственный профиль излучения на длине волны 1065 нм

При переходе к непрерывному режиму работы лазера уменьшалась эффективность генерации с последующим ее срывом. Такое поведение мы связываем с влиянием термолинзы на устойчивость резонатора. При увеличении мощности накачки происходило разрушение активного элемента. Это можно объяснить остаточными послеростовыми напряжениями в кристалле. В дальнейшем планируется проведение экспериментов после высокотемпературного отжига выращенных кристаллов для снятия механических напряжений.

Таким образом, исследованы основные лазерные спектроскопические характеристики нового лазерного материала Ca₁₀Li(VO₄)₇:Nd и впервые на этом кристалле был реализован режим генерации. Определены направления дальнейших исследований лазерных характеристик данного кристалла.

1. Loiko P.A., Yasukevich A.S., Gulevich A.E. et al. Growth, spectroscopic and thermal properties of Nd-doped disordered Ca₉(La/Y)(VO₄)₇ and Ca₁₀(Li/K)(VO₄)₇ crystals // *Journal of Luminescence*, 2013, vol. 137, pp. 252-258.
2. M.B. Kosmyna, B.P. Nazarenko, et al. Ca₁₀Li(VO₄)₇:Nd³⁺, a promising laser material: growth, structure and spectral characteristics of a czochralski-grown single crystal // *Journal of Crystal Growth*, 2016, vol. 445 pp. 101-107.
3. M.B. Kosmyna, B.P. Nazarenko, et al. Growth and spectroscopy of new laser crystals Ca₁₀Yb_{0,3}K_{0,1}(VO₄)₇ // *Functional Materials*, 2012, vol. 19, pp. 552-554.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Джежора А.А.¹, Рубаник В.В.²

¹Витебский государственный технологический университет

²ГНУ «ИТА» НАН Беларуси,

Витебск, Республика Беларусь

Нетканые материалы широко используются в повседневной жизни, медицине, легкой промышленности. Им присущ целый ряд уникальных свойств по сравнению с традиционными тканями из хлопка и льна. Они обладают более высокими барьерными свойствами для микроорганизмов, имеют более высокий коэффициент воздухопроницаемости, и т.д. Структура нетканых материалов характеризуется сложным иерархическим строением и представляет собой статистический ансамбль микро и макроэлементов, различных по своим физико-химическим свойствам, размерам и форме расположения волокон. Задачей является не только создание технологий получения волокнисто-пористых нетканых материалов с прогнозируемыми свойствами, но и разработка неразрушающих неинвазивных методов и средств диагностирования структуры нетканых материалов, контроль ее на различных стадиях создания изделий из них. Наиболее важными показателями качества материалов являются упругие и деформационные показатели, такие как разрывная нагрузка образца P_p , напряжение при разрыве σ_p , относительное удлинение при разрыве ε_p .

Сравнивая эффективность и технические возможности различных методов и средств неразрушающего контроля, можно констатировать, что среди большого многообразия методов и средств контроля: электромагнитного, микрорадиоволнового, ультразвукового, теплового, оптического наиболее эффективным и экономичным является электроемкостный метод контроля [1]. Он характеризуется высокой чувствительностью, точностью, малым уровнем мощности, быстродействием, низкой себестоимостью. Электроемкостный метод контроля позволяет осуществлять диагностику прочностных и деформационных свойств материалов и изделий, изучать структуру контролируемых объектов в широком частотном диапазоне.

Разнообразие конструктивных и схемотехнических решений, применяемых в электроемкостном методе контроля, вызвано многообразием объектов контроля, функционально-техническим назначением средств измерения и требованиями, предъявляемыми к метрологическим, эксплуатационно-техническим характеристикам. Непрерывное повышение этих требований: точности,

разрешающей способности, воспроизводимости, стабильности обуславливает необходимость дальнейшего совершенствования конструкций емкостных датчиков, схем их подключения и технологий изготовления с учетом успехов в области микроэлектроники, компьютерных технологий.

В настоящее время проектирование электроемкостных датчиков полностью полагается на численные методы.

В ГНУ «ИТА» НАН Беларуси был создан пакет программ, не уступающих их зарубежным аналогам, а часто и превосходящий их по точности результатов расчета, по требованиям к машинному ресурсу, по длительности расчета. Численный метод расчета полей электроемкостных датчиков основан на использовании интегральных уравнений Фредгольма первого рода совместно с методом зеркальных отображений [2].

Новый концептуальный подход в теории расчета электроемкостных датчиков позволил улучшить чувствительность датчиков к контролируемым параметрам, поднять силу сигнала (рабочей емкости датчика). С помощью меандрового экранированного накладного измерительного конденсатора в плоскости контролируемых образцов создавалось плоскопараллельное поле. Расчетная картина электрического поля представлена на рисунке 1.

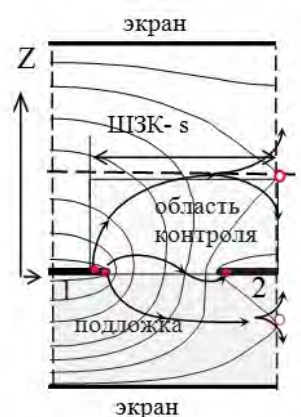


Рисунок 1 - Расчетная картина электрического поля ЭИЖ:
1, 2 – потенциальные электроды.

Датчик был выполнен на подложке из тефлона ($\varepsilon = 2,1$) толщиной 2 мм, его металлизация составила 0,5, ширина электродов 2 мм, их тол-

щина 30 мкм, погонная длина электродов составила $l=140$ мм. К датчику подключался измеритель иммитанса E7-20 с возможностью подключения через интерфейс RS-232C и математической обработки результатов измерений. Это средство измерений имеет широкий диапазон рабочих частот (25 Гц ÷ 1 МГц), класс точности 0,1 и высокую скорость измерений.

Исследованиям подвергались образцы искусственной кожи «NUBUK». Они представляет собой нетканый армированный материал с полиуретановым покрытием. В состав нитей входят полиэфирные волокна - лавсан. Механические свойства ИК NUBUK изучались с помощью разрывной машины ИП 5158-5 на образцах прямоугольной формы 180x20 мм с рабочей частью 100x20 мм со скоростью перемещения нижнего зажима 70 мм/мин. Образцы выкраивались в двух направлениях вдоль (В) и поперек (П) основы. Линейные размеры образцов определялись по ГОСТ 17073-71 [3] с помощью металлической измерительной линейки (ГОСТ 427-75) с ценой деления 1 мм и толщиномером типа TP 10-60 (ГОСТ 11358-7) с точностью 0,01 мм при давлении измерительной площадки на образец 4,9-14,8 кПа. Масса элементарных проб измерялась на весах Nagema тип 34.003 с погрешностью не более 0,01 г. За результат определения поверхностной плотности образца принимали значение округленное до 1 г/м². Поверхностная плотность образца, но не материала в целом, позволяет косвенно оценить однородность ИК вдоль и поперек рулона.

Все образцы сканировались меандровым экранированным накладным измерительным конденсатором в направлении основы материала и поперек. В качестве измеряемого параметра бралась емкость накладного измерительного конденсатора, так как она является интегральной характеристикой и наиболее полно отражает прочностные и деформационные свойства контролируемых образцов. Было установлено:

- материал NUBUK практически не обладает дисперсией диэлектрических свойств в частотном диапазоне 10 кГц ÷ 1 МГц;

- ему присуща слабая анизотропия диэлектрической проницаемости в плоскости материала. Коэффициент анизотропии диэлектрической проницаемости не превышает 1,07;

- нетканый слой вносит в структуру материала беспорядок.

Результаты предварительных исследований

физико-механических свойств образцов ИК NUBUK приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели физико-механических свойств материала NUBUK

№	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²		Разрывная нагрузка P _p , Н		Относительное удлинение при разрыве ε _р , %		Значение емкости, пф	Значение емкости, пф
		В	П	В	П	В	П		
1	1,38	614	634	321	444	25	32	0,604	0,600
2	1,35	593	555	376	273	19	26	0,638	0,634
3	1,37	593	586	329	263	25	24	0,620	0,598
4	1,36	579	603	288	252	24	27	0,601	0,600
5	1,40	559	559	372	406	25	28	0,623	0,602
6	1,54	631	634	414	337	35	28	0,647	0,626

Ее анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) несмотря на архаичный характер строения материала NUBUK между емкостью датчика и разрывной нагрузкой P_p в направлении основы существует взаимосвязь:

$$P_p = 9418,6C_v^2 - 9510,1C_v + 2619,9;$$

$$R^2 \approx 0,86;$$

2) определение деформационных свойств нетканых материалов требует дополнительных исследований с накоплением статистических данных об электрических параметрах на более представительной выборке образцов материала.

- Xiaobei B. Li, Sam D. Larson, Alexei S. Zyuzin, and Alexander V. Mamishev "Design Principles for Multichannel Fringing Electric Field Sensors," IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 6. № 2, 2006. pp. 434 – 440
- А. А. Джежора Модель накладного измерительного конденсатора / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // Весці НАН Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2010, N 3. – С. 99-103
- ГОСТ 17073-71 Кожа искусственная. Метод определения толщины и массы 1 м². – введ. 01.07.72. – Минск: Белстандарт, 1996. – 15 с.

ДАТЧИК КОНТРОЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Джежора А.А.¹, Чернов Е.А.¹, Свистунов Б.Л.³, Царенко Ю.В.²¹Витебский государственный технологический университет²ГНУ «Институт технической акустики» НАН Беларуси

Витебск, Республика Беларусь

³Пензенский государственный технологический университет

Пенза, Российская Федерация

Для контроля уровня нефтепродуктов широко используют однопараметровые датчики уровня топлива (ДУТ) [1] различных модификаций. Принцип их работы основан на линейной зависимости емкости коаксиального конденсатора от высоты уровня жидкого диэлектрика. Емкость ДУТ определяется целым рядом параметров: диэлектрической проницаемостью топлива, диэлектрической проницаемостью паров над уровнем топлива, высотой уровня топлива, геометрическими параметрами самого конденсатора. Так как диэлектрическая проницаемость топлива определяется сортовыми параметрами топлива, температурой топлива, наличием присадок, сторонних добавок, абсорбированной влаги, то погрешность определения уровня топлива посредством однопараметрового ДУТ велика и может достигать десятка процентов.

Этого недостатка лишен двухпараметровый датчик уровня жидких сред [2, 3]. Конструктивно датчик представляет собой составной коаксиальный цилиндрический конденсатор рис. 1.

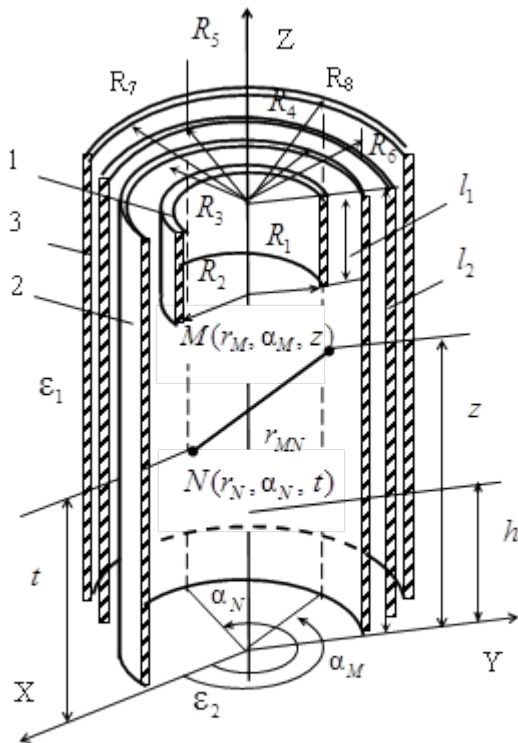


Рис.1 Поперечное сечение датчика уровня нефтепродуктов

При создании математической модели датчика каждый из четырех электродов рассматривался в виде соосных бесконечно тонких цилиндрических эквипотенциальных поверхностей с различной плотностью заряда $\sigma_s(R_s, t)$. Такой подход позволил учесть реальные геометрические размеры электродов, их толщину и исследовать характер распределения поля вне межэлектродного зазора. В силу этого, поверхностная плотность заряда для каждой из эквипотенциальных поверхностей электродов цилиндрического датчика является функцией одной переменной t вдоль оси OZ $\sigma_s(R_s, t)$. В качестве исходного выражения при составлении интегральных уравнений использовалась зависимость для потенциала:

$$V_M = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_1} \int_s \sigma(s) \frac{1}{r_{MN}} ds, \quad (1)$$

где $\sigma(s)$ – поверхностная плотность заряда на электродах, s – поверхность интегрирования.

С учетом того, что расстояние в цилиндрической системе координат между точкой наблюдения $M(r_M, \alpha_M, z)$ и переменной точкой $N(r_N, \alpha_N, t)$ определяется:

$$r_{MN} = \sqrt{(t-z)^2 + r_M^2 + r_N^2 - 2r_M r_N \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}, \quad (2)$$

для электродов цилиндрического датчика, расположенного в двухслойной среде,

$$\epsilon(z) = \begin{cases} \epsilon_1 \text{ при } z > h, q = 1, \\ \epsilon_2 \text{ при } z < h, q = 2, \end{cases} \quad (3)$$

система интегральных уравнений примет вид

$$\int_0^{L_m} \sigma_s(R_s, t) R_s dt \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{r_{MN_s}} = 4\pi\epsilon_0\epsilon_q V_m, \quad (4)$$

где R_s – радиусы внутренних и внешних поверхностей цилиндрических электродов, ϵ_q – диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся электроды либо часть электродов, V_m – потенциалы на электродах, $s = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$; $m=1,2$

Решение системы интегральных уравнений осуществлялось методом Крылова–Боголюбова. Для дискретизации функций $\sigma_s(R_s, t)$ цилиндрические поверхности электродов разбивались на кольца, в пределах которых поверхностная плот-

ность заряда принимала постоянные значения.

Исходя из найденных дискретных значений σ_i рассчитывалась емкость датчика. Ошибка расчета емкостей датчика численным методом не превосходила 1%. Несколько выше ошибка расчета емкостей с помощью классического аналитического выражения. Но и эта ошибка не превышала 1%. Этот факт говорит о том, что в случаях, когда межэлектродные зазоры датчика R_3-R_2 , R_5-R_4 и R_7-R_6 на порядок меньше длин цилиндрических электродов l_1 и l_2 , с достаточно высокой степенью точности для решения прямых и обратных задач может быть использовано аналитическое выражение емкости цилиндрического конденсатора $2\pi\epsilon_0\epsilon_1 l / (\ln R_{s+1}/R_s)$.

Емкость датчика C_1 определяется глубиной погружения электродов в жидкость $h - (l_2 - l_1)$, емкость C_2 определяется глубиной погружения $-h$. Различия в глубинах погружения позволяют определять диэлектрическую проницаемость контролируемой жидкости через разность нормированных емкостей $C_1(h)/C_1(0)$, $C_2(h)/C_2(0)$, а затем определить глубину погружения электродов h в контролируемую жидкость.

Глубина погружения электродов h зависит только от дного неизменяемого параметра – диэлектрической проницаемости газообразной среды ϵ_1 . Колебания ϵ_1 незначительны и могут быть усредненным ($\epsilon_1 \approx 1,0006$).

Так как глубина погружения электродов в жидкость описывается аналитическими выражениями, то рассмотренный датчик может выполнять калибровку самостоятельно, в независимости от диэлектрической проницаемости жидкости. Для всех исследуемых жидкостей (дизельное топливо, подсолнечное и рапсовое масла) ошибка расчета уровня не

превышала 1,5 мм. В зоне краевого эффекта, когда $h = l_2 - l_1 = 100$ мм, ошибка определения уровня составила 2,0 мм.

Аналитические выражения, связывающие показатели детонационной стойкости с электрическими параметрами топлив [4], позволяют определять детонационную стойкость топлив.

Конструкция двухпараметрового датчика уровня топлива имеет ряд преимуществ:

- двухпараметровый датчик содержит в себе два датчика с различной глубиной погружения электродов в жидкость h и

$$h - (l_2 - l_1);$$

- датчик позволяет контролировать диэлектрические свойства жидких сред, а значит позволяет проводить оценку сортности топлива;

- датчик не требует калибровки, он осуществляет ее самостоятельно;

- он имеет такие же размеры как и однопараметровый датчик уровня топлива.

1. Боднер, В.А. Авиационные приборы. - М.: Машиностроение, 1969. - 467 С.
2. Джежора, А. А. Двухпараметровый датчик уровня жидкости / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1(4). – С. 56-61.
3. Мастепаненко М.А. Информационно-измерительная система непрерывного контроля уровня топлива в емкостях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.А. Мастепаненко. – Волгоград, 2014. – 20 С.
4. Силов Е. А. Приборы и методы импедансных измерений детонационной стойкости углеводородных топлив: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Силов. – Самара, 2011. – 16 с.

УДК 006.032.531.7

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Дмитерчук Е.А., Соколовский С.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Поскольку первые методики измерения шероховатости появились в начале 1930-х годов, измерение текстуры поверхностей было основано на профильных методах измерения, т.е. по сути на 2D-профилометрии и использовании главным образом контактных измерительных приборов, по крайней мере, до двух последних

десятилетий. И лишь в начале 1980-х годов начали появляться более совершенные приборы для измерения шероховатости топографическим методом, такие как 3D-профилометры [1].

Первая важная работа по методологии 3D-измерения текстуры поверхности была проведена в рамках европейской программы под руково-

дством профессора Стаута из Бирмингемского университета. Эта программа, которая выполнялась в период с 1990 по 1993 год, закончилась публикацией известного издания «BlueBook», и определением так называемых 14 бирмингемских параметров [2]. Окончательный доклад послужил в качестве справочного материала для почти всех производителей измерительных приборов, предназначенных для контроля параметров текстуры поверхностей, в течение 90-х годов.

Результаты данной научно-исследовательской работы были, затем, транспонированы для дальнейшего изучения в другую европейскую программу, называемую программой SurfStand. Она выполнялась в период с 1998 по 2001 год консорциумом университетов и промышленных партнеров во главе с профессором Л. Блантом. Последняя программа закончилась публикацией «GreenBook», её итоги кроме всего прочего содержали предлагаемую структуру для будущих стандартов ИСО. Результаты программы были представлены ISO в январе 2002 года в ходе Мадридской встречи и официально переданы в технический комитет TC213, чтобы начать процесс стандартизации.

В июне 2002 года TC213 проголосовал за создание новой рабочей группы [TC213/ N499] и поставил перед ней задачу разработки будущих международных стандартов, регламентирующих вопросы измерения параметров текстуры поверхностей. К концу 2005 года группой был разработан первый стандарт этой серии, которому был присвоен номер ISO 25178.

Сегодня параметры профиля и топографические параметры поверхностей определены в нескольких международных стандартах, а большинство национальных или отраслевых стандартов практически полностью им соответствуют в главном, за исключением некоторых локальных частных отличий.

В течение долгого времени был известен и широко использовался только один параметр профиля, обозначаемый как Ra (среднее арифметическое отклонение профиля) или CLA (среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии) или даже AA (среднеарифметическое). Потом появились параметры RMS или Rq, Rz и Rmax, а позже многие другие параметры [3].

На сегодняшний момент параметры профиля разделены на три группы в зависимости от типа профиля, для которого они вычисляются: 1) параметры P вычисляются для основного профиля; 2) параметры R рассчитываются для профиля шероховатости; 3) параметры W рассчитываются для профиля волнистости.

ISO 4287 - Термины, определения и параметры текстуры поверхности

Это основной стандарт для параметров профиля в системе ISO GPS. Он определяет условия и содержит определения общих параметров.

Амплитудные параметры

Rt, полная высота профиля: высота между самой глубокой впадиной и самым высоким пиком на длине оценки. Этот параметр соответствует параметру Rmax из ГОСТ 2789.

Rp, максимальная высота пика профиля: высота самого высокого пика от средней линии, определяется на длине выборки.

Rv, максимальная глубина впадины на профиле: глубина самой глубокой впадины от средней линии, определенной на длине выборки.

Rz, максимальная высота профиля. Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет, этот параметр не соответствует параметру Rz (высота неровностей профиля, определяемая по 10 точкам) из ГОСТ 2789.

Ra, среднее арифметическое отклонение оценочного профиля: определяемый по длине выборки Ra используется в качестве глобальной оценки амплитуды шероховатости на профиле. Параметр идентичен параметру Ra из ГОСТ 2789.

Rq, среднеквадратичное отклонение оценочного профиля: соответствует стандартному отклонению распределения высоты, определенной на длине выборки. Rq обеспечивает ту же информацию, что и Ra.

Rsk, асимметричность оцениваемого профиля: асимметрия распределения высот, определяется на длине выборки. Этот параметр имеет важное значение, поскольку он дает информацию о морфологии поверхности текстуры. Тем не менее, этот параметр не дает никакой информации об абсолютной высоте профиля, в отличие от Ra. Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет.

Rku, островершинность оцениваемого профиля: распределение остроты высот, определяется на длине выборки. Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет.

Rc, средняя высота профиля: определяется на длине оценки. Он аналогичен параметру геометрических узоров R в ISO 12085 и в этом смысле его следует рассматривать в качестве параметров отличительных признаков (ISO 25178). Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет.

Шаговые параметры

Rsm, средняя ширина элемента профиля, определяемая на длине оценки. Этот параметр соответствует параметру Sm из ГОСТ 2789.

Гибридные параметры

RLq, среднеквадратичное наклон оценочного профиля, определяемый на длине выборки.

Rps, количество пиков на единицу длины. Данный параметр характеризует плотность пиков на единицу длины.

Функциональные параметры

R_{mg} , относительный коэффициент смятия. Этот параметр в определенной степени соответствует параметру tr – относительной длине профиля (опорная) по ГОСТ 2789.

ISO 12085 - Параметры геометрических узоров

Этот стандарт является международной версией французского стандарта, установленного CNOMO, консорциумом с участием PSA Peugeot Citroen и Renault, в течение 80-х и 90-х годов. Метод нормирования текстуры основан на графической сегментации профиля в геометрические узоры, которые затем рассчитываются по параметрам высоты и ширины. Оригинальностью и преимуществом этого метода является то, что была установлена корреляция между значениями параметров и функциональными требованиями. Это обычно называют французским методом геометрических узоров или R&W параметрами.

Недостатком этого подхода является его нестабильность, поскольку он основан на характерных признаках поверхности вместо математической модели.

ISO 13565-2 и ISO 13565-3 - Поверхности с послойным распределением функциональных свойств.

Эта серия стандартов специально направлена на стратифицированную структуру поверхности, получаемую поэтапно. Первая часть этой серии, ISO 13565-1, определяет специальный фильтр двойного прохода, который обеспечивает своего рода устойчивость к глубоким искажениям, которые являются общими в стратифицированных слоях. Рассматриваемые стандарты определяют набор параметров, называемых R_k параметрами, которые являются производными от графического построения на кривой Аббота-Фаерсторма. Параметры R_k должны рассчитываться только тогда, когда кривая Аббота имеет S-образную форму, в противном случае графическое построение может дать сбой и значения параметров не будут информативными.

ASMEB46.1

Этот американский стандарт сегодня соответствует стандартам ISO в большей мере, чем предыдущие версии, за исключением некоторых отличий. Основное различие состоит в длине выборки и усредненных параметрах. В соответствии с требованиями ASME, все параметры профиля определяются и рассчитываются по длине оценки.

VDA 2006

Этот стандарт немецкой автомобильной промышленности объединяет параметры, определенные в ISO 4287 и ISO 13565 и вводит несколько правил, которые отличаются от ISO. Основное различие касается использования фильтров микронеровностей λ_s , которые здесь исключены. Он также вновь вводит параметр R_{max} который когда-то был частью ISO 4287 и является хорошим дополнением к R_z .

VDA 2007

Этот стандарт определяет специальные параметры для оценки периодических поверхностей, особенно в области сопрягаемых поверхностей. Их, как правило, называют доминантами волнистости. Он определяет три параметра, вычисляемых после применения специального нулевого полосового фильтра:

- 1) WDS_m , горизонтальная волнистость.
- 2) WDC , средняя высота волнистости элементов профиля.
- 3) WDT , общая высота волнистости профиля.

1. Стаут К. et al., The development of methods for the characterization of roughness in three dimensions /европейский доклад EUR 15178N, 1993.
2. Вайтхаус, Д.Дж. Handbook of surface metrology // Институт физических изданий, Бристоль, 1994.
3. Ф. Блатэйрон New 3D Parameters and Filtration Techniques for Surface Metrology // Digital Surf, France, 2006.

ВОПРОСЫ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЛАСТИ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Иванова Н.Н.

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

На практике существуют два закона зависимости интенсивности раздражителя от силы ощущений при экспертном оценивании:

- закон Фехнера: интенсивность ощущения прямо пропорциональна логарифму интенсивности раздражителя;

- закон Стивенсона: интенсивность ощущения прямо пропорциональна степенной зависимости от интенсивности раздражителя

Интенсивность раздражителя есть ни что иное, как степень выраженности оцениваемого свойства объекта, и проявляется через изменение величины оцениваемого свойства, а сила ощущений выражается оценкой эксперта этого свойства.

Подробный анализ данной предметной области показал, что Фехнер использовал шкалу разности (вопрос «на сколько свойство одного объекта отличается от свойства другого?», а Стивенсон – шкалу разности и отношений («на сколько/во сколько?»), таким образом можно предположить, что при комбинации различных методов экспертного оценивания на выходе могут получаться различные законы восприятия экспертом оцениваемого объекта (как логарифмические, так и степенные).

Особый интерес также представляет исследование относительных методов экспертного оценивания, так как данные методы находят широкое применение в области экспертного оценивания объектов, как например метод анализа иерархий (метод Саати).

Эксперимент был проведен по методике, описанной в [1] и включал в себя опрос экспертов 4 методами УКСП, РКСП, УКСО, РКСО.

На рисунках 1-2 представлены некоторые результаты эксперимента: по оси ОХ нормализованные средние значения экспертных оценок по каждой фигуре и по ОУ – нормализованные действительные значения оцениваемых параметров.

Можно сделать вывод, что при оценке разности свойств объектов (вопрос: «на сколько свойство одного объекта больше свойства другого?»), оценки будут изменяться по логарифмической зависимости (закон Фехнера). При оценке отношения свойств объектов (вопрос: «во сколько свойство одного объекта больше свойства другого?») оценки будут изменяться при изменении уровня качества объектов по степенной зависимости (закон Стивенсона).

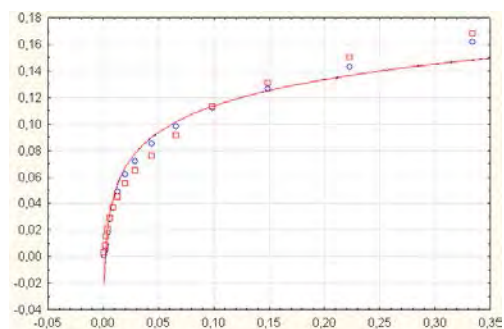


Рисунок 1 – Результаты оценивания по методу РКСП (оценка разности)

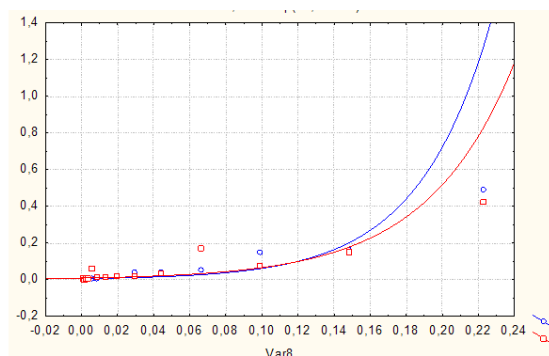


Рисунок 2 – Результаты оценивания по методу РКСП (оценка отношения)

Кроме того, зная функциональную связь между интенсивностью ощущения и вызывающего его раздражителя, можно учитывать это как методическую составляющую в комплексной оценке неопределенности методов экспертного оценивания.

Для более детального исследования гипотезы о законе психофизического восприятия в экспертном оценивании и определения степени доверия к экспертным оценкам определялась через значение рассеяния результатов экспертного оценивания, полученных в процессе реализации эксперимента.

Степень доверия к экспертным оценкам, полученным тем или иным методом, определялась через значение среднего квадратического отклонения (далее – СКО) результатов экспертного оценивания, полученных в процессе реализации модельного эксперимента. Эксперимент для каждого метода ($i, i = 1 \dots 8$) и каждого уровня оцениваемой величины ($j, j = 1 \dots 15$) проводился в соответствии с иерархическим планом (рисунок 3), рекомендуемым СТБ ИСО 5725-2

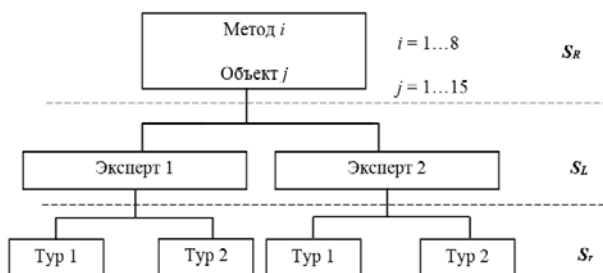


Рисунок 3 – Схема расчета СКО методов экспертного оценивания

СТБ ИСО 5725–3 допускает использование методики дисперсионного анализа ANOVA для определения оценок составляющих суммарной дисперсии воспроизводимости метода. В нашем случае дисперсионный анализ был проведен при помощи программного обеспечения Excel.

Для каждой фигуры (в нашем случае круг) была составлена матрица с нормализованными оценки площади фигуры каждым экспертом в 2-ух турах. С помощью надстройки Excel «Анализ данных» нами был проведен дисперсионный анализ значений матрицы (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица оценок площади первого круга

Эксперты № тура	Эксперт 1	Эксперт 2
Тур 1	0,0011	0,0019
Тур 2	0,0014	0,0015

Результаты дисперсионного анализа значений матрицы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты дисперсионного анализа оценок экспертов для первого круга

Источник вариации	Значение среднего квадрата MS
Между группами, $MS_{\text{эффект}}$	0,000020
Внутри групп $MS_{\text{ошибка}}$	0,000023

В данной таблице представлены компоненты дисперсии, вызванной межгрупповым разбросом (средним квадратом эффекта или $MS_{\text{эффект}}$) и компоненты дисперсии, обусловленной внутригрупповым разбросом (средним квадратом ошибки или $MS_{\text{ошибка}}$). В нашем случае значения $MS_{\text{эффект}}$ и $MS_{\text{ошибка}}$ соответственно являются аналогами межгрупповой и внутригрупповой дисперсии.

На основании проведенного анализа методов попарного сравнения типа «на сколько?» и «во сколько?» составлен рейтинг методов экспертного оценивания, представленный на рисунках 4-5.



Рисунок 4 – Рейтинг методов парного сравнения типа «на сколько?»



Рисунок 5 – Рейтинг методов парного сравнения типа «во сколько?»

Можно сделать вывод, что более «бедная» информативно шкала разности (интервалов) дает более достоверные результаты, чем информативно «богатая» шкала отношений.

По результатам расчетов внутригрупповой и межгрупповой дисперсий можно сделать выводы:

- вклад внутригрупповой составляющей дисперсии (дисперсии каждого эксперта (тур 1 – тур 2)) в СКО метода, в целом больше чем вклад межгрупповой составляющей дисперсии при случайном предъявлении объектов, т.е. в рандомизированных методах (дисперсии группы экспертов (эксперт 1 – эксперт 2));
- в методах парного сравнения типа «во сколько?» дисперсия резко возрастает на этапах оценки последних фигур, в связи с тем, что в «относительных» методах оценки экспертов подчиняются закону геометрической прогрессии.

Используемые источники

1.Серенков П.С., Романчак В.М., Гиль Н.Н. Повышение достоверности методов экспертного оценивания в рамках системы менеджмента качества. Метрология и приборостроение №6 – Минск, 2015. – 18 с.

ВОПРОСЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

Иванова Н.Н., Чувашева Е.В., Якушик Е.А.
*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Согласно Директиве 93/42/ЕЕС медицинское оборудование — изделия медицинской техники, назначение которых — обеспечить оптимальные условия для больного, а также для медицинского персонала при проведении мероприятий лечебно-диагностического характера и по уходу за больными.

Медицинское оборудование включает в себя медицинские столы, кресла, средства транспортировки больных, стерилизационное оборудование, тележки, подъемники, столики, кровати, медицинские шкафы, светильники, моечное и дезинфекционное оборудование.

Авторами была рассмотрена классификация медицинского оборудования согласно Директиве 93/42/ЕЕС и выделены следующие классификационные группы:

- кратковременное (непрерывно используется в течение не более 60 минут).
- краткосрочное (непрерывно используется в течение не более 30 дней).
- долгосрочное (непрерывно используется в течение более 30 дней).
- инвазивное (которые полностью или частично вводятся внутрь тела человека либо через естественное отверстие в теле, либо через поверхность тела).
- хирургическое (которые вводятся в тело через поверхность тела с помощью или при хирургической операции).
- имплантируемое (которое предназначено для полного ввода в тело человека или замены любой эпителиальной поверхности или поверхности глаза посредством хирургического вмешательства, и которое должно оставаться на месте после завершения процедуры).
- активное (которое использует для своей работы источники электроэнергии).

Все медицинские изделия подразделяют в зависимости от степени потенциального риска их применения в медицинских целях на четыре класса. Классы имеют обозначения 1, 2а, 2б и 3.

Каждое медицинское изделие может быть отнесено только к одному классу:

- 1) к классу 1 - медицинские изделия с низкой степенью риска;
- 2) к классу 2а - медицинские изделия со средней степенью риска;
- 3) к классу 2б - медицинские изделия с повышенной степенью;

4) к классу 3 - медицинские изделия с высокой степенью риска.

Медицинские изделия для диагностики (*in vitro*) могут быть отнесены к классам 1, 2а, 2б или 3 в зависимости от потенциального риска результатов их использования.

В зависимости от присваемого медицинскому изделию класса риска, отличаются возможные для применения схемы подтверждения соответствия согласно Приложениям (Аппех) Директивы. Неправильный выбор схемы подтверждения соответствия, а также класса риска медицинского изделия значительно усложняет процедуру подтверждения соответствия.

При классификации медицинских изделий учитывают их функциональное назначение и условия применения.

При классификации медицинских изделий учитывают следующие критерии:

- 1) длительность применения медицинские изделия;
- 2) инвазивность медицинские изделия;
- 3) наличие контакта с человеческим телом или взаимосвязи с ним;
- 4) способ введения медицинские изделия в тело человека (через анатомические полости или хирургическим путем);
- 5) применение для жизненно важных органов и систем (сердце, центральная система кровообращения, центральная нервная система);
- 6) применение источников энергии.

Кроме того, с Директивой 93/42/ЕЕС связано порядка 1500 гармонизированных Европейских стандартов, что усложняет понимание требований и составления классификации медицинских изделий. Также, необходимо учитывать, что медицинское оборудование, как правило, попадает под несколько Директив, как минимум три - Директива по медицинскому оборудованию, Директива по низковольтным системам, Директива по электромагнитной совместимости. В организации, выпускающей медицинское оборудование, в обязательном порядке должна быть внедрена система менеджмента качества ISO 13485. Внедрение данной системы качества позволяет уже на стадии проектирования продукции избежать ошибок, которые могут повлечь к выпуску продукции, с не соответствующими заявленными параметрами и могут причинить вред здоровью и окружающей среде.

Для первоначальной (предварительной) оценки процедуры сертификации CE по медицинскому оборудованию, необходимо предоставить следующую информацию:

- подробное описание изделия,
- чертежи, схемы изделия,
- копии протоколов испытаний,
- перечень применявшихся гармонизированных стандартов (европейские стандарты) Европейского Союза, если применялись,
- контактные данные ответственного лица

В рамках работы над данной темой был составлен алгоритм, позволяющий путем ответов на простые вопросы выйти на класс риска медицинского изделия. Часть алгоритма представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Алгоритм определения класса риска медицинского изделия

№ пункта	№ правила	Вопрос	Ответ	Вывод	
				обозначение класса	переход к пункту
1	1	Является ли медицинское изделие (далее – МИ) инвазивным?	Да	-	9
			Нет	-	2
2	2	Предназначено ли МИ для хранения органов, частей органов или хранения или введения в организм пациента крови, других жидкостей, газов, паров или тканей?	Да	-	3
			Нет	-	4
3	2	Используют ли МИ совместно с МИ класса 2а и более высокого класса?	Да	2а	32
			Нет	2а	32
4	3	Предназначено ли МИ для изменения биологического или физико-химического состава и свойств крови, других физиологических жидкостей или жидкостей, которые должны поступать в организм?	Да	-	5
			Нет	-	6

Окончание таблицы 1

5	3	Заключается ли действие МИ только в фильтрации, обработке на centrifуге или газо- или теплообмене?	Да	2а	32
			Нет	2б	32
6	4	Соприкасается ли МИ с поврежденной кожей?	Да	-	7
			Нет	1	32
7	4а	Используют ли МИ как механический барьер, для компрессии или для абсорбции экссудатов?	Да	1	32
			Нет	-	8
8	4б 4в	Используют ли МИ преимущественно для ран, которые можно вылечить только посредством вторичного заживления?	Да	2б	32
			Нет	2а	32
9	5	Является ли инвазивное МИ хирургическим?	Да	-	15
			Нет	-	10
10	5	Предназначено ли МИ для присоединения к активному МИ класса 2а и более высокого класса?	Да	2а	32
			Нет	-	11
11	5а	Предназначено ли инвазивное МИ для кратковременного применения?	Да	1	32
			Нет	-	12
...					

Таким образом, в рамках работы над данной темой была изучена классификация медицинских изделий, требования Директивы 93/42/ЕЕС, а также предложен алгоритм, помогающий определить класс риска медицинского изделия, классификационное правило и схему подтверждения соответствия. Данный алгоритм необходим для организаций, которые собираются экспортировать производимые медицинские изделия в Европейский союз.

1. 93/42/ЕЕС Medical Devices Directive

СОЛНЕЧНЫЙ СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТР ССП-600

Катковский Л.В., Мартинов А.О., Крот Ю.А., Бручковская С.И., Ломако А.А., Силюк О.О.,
Станчик В.В., Хомищев А.Д.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

В ходе работы по проекту «Мониторинг-СГ» союзного государства «Россия-Беларусь» отделом аэрокосмических исследований НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ был изготовлен экспериментальный образец Аппаратно-программного комплекса (АПК) «Калибровка» [1], предназначенного для наземных и авиационных измерений.

Задача АПК «Калибровка» состоит в одновременном использовании различных способов спектрометрии: комплексирование спектрометров различных спектральных диапазонов; регистрация изображений спектрометрируемого объекта с пространственной привязкой поля зрения спектрометра к изображению; географическая привязка снимаемых объектов; одновременная съемка спектров отражения подстилающей поверхности и освещающего излучения с высоким спектральным разрешением; возможность измерения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) и спектрального альбедо; регистрация спектрально-угловых зависимостей рассеянного в атмосфере излучения Солнца в большом числе спектральных каналов [2]. АПК «Калибровка» объединяет в своем составе пять спектральных приборов, покрывающих в совокупности спектральный диапазон 0,4 – 2,5 мкм и позволяющих измерять угловые зависимости спектров отражения подстилающих поверхностей, прямого и рассеянного атмосферой солнечного излучения. В докладе представлен входящий в АПК солнечный спектрополяриметр ССП-600.



Рисунок 1 – ССП-600

ССП-600 предназначен для измерения прямого солнечного и рассеянного атмосферой под различными углами излучения в диапазоне 350-650 нм. Изготовленный макет ССП-600 (рисунки 1-2) включает в себя полихроматор с приемником излучения на ПЗС линейке с 3648 элементами. Перед проекционным объективом разме-

щена бленда, уменьшающая в 1000 раз уровень паразитной засветки. ССП-600 снабжен визиром для наведения поля зрения на соответствующие участки неба с помощью поворотного кронштейна треноги.

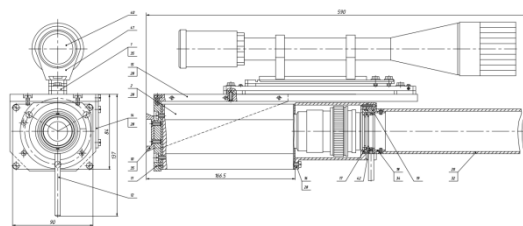


Рисунок 2 – Сборный чертеж ССП-600

Технические характеристики ССП-600:

Проекционный объектив	«МС Гелиос 44–3М»
Фокусное расстояние, мм	58,0
Угол поля зрения, °	40
Диспергирующий элемент	вогнутая голографическая дифракционная решетка
Число штрихов, штр/мм	315
Рабочий спектральный диапазон, нм	330 – 1050
Спектральное разрешение, нм	1,2 – 2,0
Приемник излучения	ПЗС линейка фирмы Toshiba TCD 1304DG
Число рабочих элементов приемника	3648

Была проведена калибровка ССП-600 по спектральной плотности энергетической яркости и калибровка по длинам волн на метрологическом комплексе «Камея-М» (рисунки 3-4). В целях верификации проведенных калибровок, апробации аппаратуры, а также получения атмосферных данных проводились измерения спектров атмосферы по следующей схеме (рисунок 5). В безоблачный день установленный на крыше здания на высоте 30 м над уровнем земли ССП регистрировал спектры (рисунок 6) с определенным шагом по углу в альмукантарате Солнца и в плоскости солнечного вертикала.

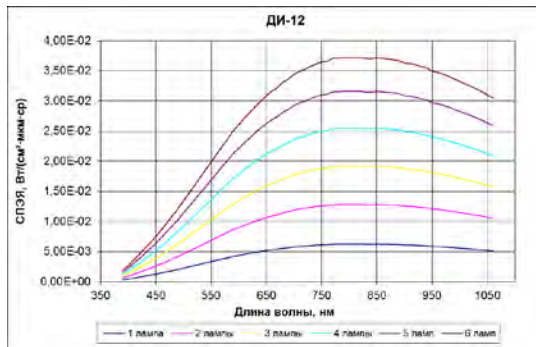


Рисунок 3 – Градации яркости фотометрической сферы

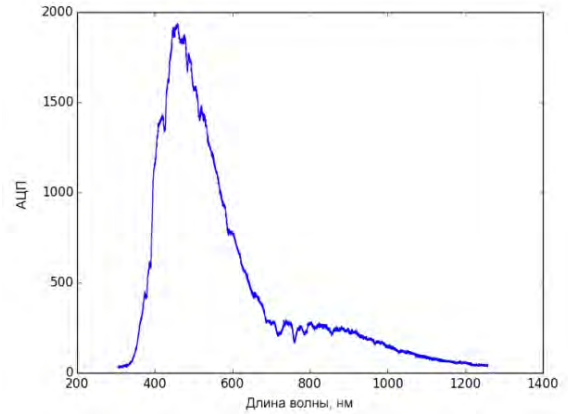


Рисунок 6 – Спектр АЦП неба

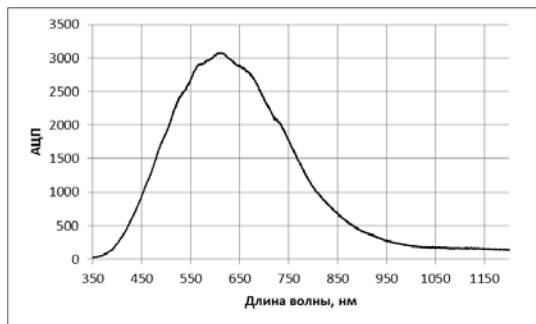


Рисунок 4 – Отклик ССП-600 в отчетах АЦП для одной из градаций яркости фотометрической сферы

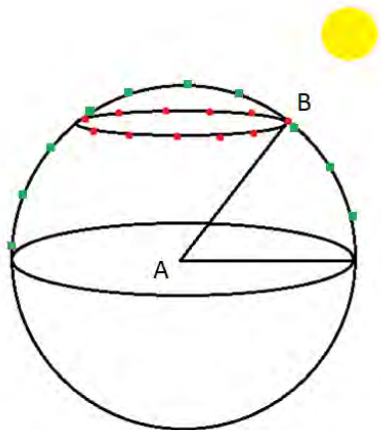


Рисунок 5 – Методика проведенного эксперимента

АВ – направление на Солнце; круглые маркеры – точки регистрации спектров в плоскости альмукуантарата; квадратные маркеры – точки регистрации спектров в плоскости солнечного вертикала.

Проведены сравнения измеренных спектров и рассчитанных для условий измерений по известным программам расчета переноса излучения. Измеренные спектры будут использованы для решения обратной задачи для определения параметров аэрозольной атмосферы над г. Минском.

Наряду с измерениями отраженного подстилающей поверхностью излучения другими спектро радиометрами АПК «Калибровка» эти данные обеспечивают наземную информацию для полетных калибровок спутниковых сенсоров.

1. Разработка комплекса наземной спектральной аппаратуры для обеспечения полетных калибровок спутниковых съемочных систем / Б.И. Беляев [и др.] // Шестой Белорусский космический конгресс: Материалы конгресса. В 2 т. (28-30 октября 2014 года, Минск). – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014. – Т.1. – С. 234-237.
2. Беляев, Б.И. Анализ спектральных данных дистанционного зондирования водных поверхностей / Б.И. Беляев [и др.] // Тринадцатая Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Сборник тезисов докладов конференции. Москва, ИКИ РАН, 16-20 ноября 2015.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Крышнев М. М.

*Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь*

На сегодняшний день практически на каждом предприятии измерения являются неотъемлемой составляющей производства, контроля и оценки продукции. Для этих целей, большинство предприятий прибегают к созданию собственных лабораторий, и стремятся повысить уровень доверия к результатам испытаний со стороны потребителя. Для этого лаборатория не может обойтись без утвержденной в установленном порядке методик выполнения измерений (далее - МВИ). В связи с этим, все большее внимание уделяется процедурам и методам подтверждения пригодности МВИ.

Для практически всех количественных МВИ при подтверждении пригодности проводится эксперимент по оцениванию показателей точности. При оценке показателей точности данных МВИ необходимо установить значения оценки смещения и стандартного отклонения в различных условиях прецизионности, которая достигается посредством изменения факторов, вносящих изменчивость в результат измерения. Поэтому при подтверждении пригодности МВИ лабораториям приходится проводить значительное количество измерений в рамках эксперимента по оцениванию показателей точности. Из этого следует, что весомый вклад в стоимость данного эксперимента вносят затраты, связанные с использованием образцов при измерениях и амортизацией оборудования, поэтому у лабораторий существует потребность в обоснованном и целесообразном сокращении количества измерений при проведении эксперимента по оцениванию показателей точности, что повлечет за собой снижение стоимости самого эксперимента, уменьшение трудоемкости и времени на выполнение работ по подтверждению пригодности МВИ.

При оценке показателей точности МВИ в общем случае используется серия стандартов СТБ ИСО 5725. При оценке показателей прецизионности наиболее часто используются иерархические планы: план с полной группировкой и план со ступенчатой группировкой. Согласно СТБ ИСО 5725-3 n-факторный эксперимент с полной группировкой требует получения $2n-1$ результатов измерений от каждой лаборатории, что может оказаться чрезмерным требованием для лабораторий. Это главный аргумент в пользу плана со ступенчатой группировкой. Этот план требует меньшего количества результатов, чтобы полу-

чить такое же количество стандартных отклонений, хотя анализ является более сложным и имеется большая неопределенность в оценках стандартных отклонений из-за меньшего количества результатов измерений.

Алгоритм повышения эффективности метрологического подтверждения пригодности МВИ путем обоснованного сокращения количества измерений в плане эксперимента по оценке показателей точности МВИ состоит из восьми этапов:

этап 1: Планирование эксперимента путем составления полного иерархического плана эксперимента по оценке показателей точности;

этап 2: Проведение эксперимента по оценке показателей точности по полному иерархическому плану;

этап 3: Обработка экспериментальных данных по полному иерархическому плану;

этап 4: Составление иерархического плана со ступенчатой группировкой, используя данные полученные в ходе математической обработки результатов эксперимента по полному иерархическому плану;

этап 5: Проведение эксперимента по оценке показателей точности, используя план со ступенчатой группировкой;

этап 6: Обработка экспериментальных данных для иерархического плана со ступенчатой группировкой;

этап 7: Сравнение показателей точности двух планов;

этап 8: Использование иерархического плана со ступенчатой группировкой для оценивания показателей точности других аналогичных МВИ.

Данный метод может применяться в строго указанных пределах, так как значение дисперсии повторяемости и воспроизводимости увеличивается при использовании плана со ступенчатой группировкой.

Осуществление оценки метрологических характеристик методик, проверку приемлемости и контроль стабильности результатов измерений является трудоемким и сложным процессом, который требует от сотрудников лаборатории соответствующей квалификации и знания в области математической статистики и теории вероятности. Помимо сложных статистических расчетов, при которых необходимо использовать табличные значения статистических функций и приписанных характеристик методик, необходимо вести множество контрольных карт, при

этом отслеживая состояние каждой из них, и постоянно уточнять нанесенные на карты контрольные пределы. С этой целью многие лаборатории применяют специализированные компьютерные программы, основными недостатками которых является их высокая стоимость и ограниченность в применении, и поэтому возникает необходимость создания программного приложения которое:

- при создании не требовала знаний в области программирования;
- имело бы возможность максимального распространения на рабочих местах операторов;
- создавалось по рекомендациям пользователей.

Решением данной задачи стало создание программного приложения в пакете Microsoft Office, который широко используется при работе с электронными документами.

Программное приложение представляет собой электронную книгу с поддержкой макросов (формат .xlsm) в программе MS Excel. В ячейках записаны формулы, которые позволяют обработать информацию и построить логику вычислений. Также предоставляется возможность экспортировать полученные результаты в текстовый документ, который впоследствии можно редактировать. На рисунке 1 представлены модули приложения по обработке экспериментальных данных.

Модули приложения по обработке экспериментальных данных	1	"Оценивание наличия статистических разбросов и выбросов"
	2	"Определение показателей точности МВИ"
	3	"Оценивание устойчивости МВИ к воздействию влияющих факторов"
	4	"Оценивание стабильности СКО в повседневных измерениях"
	5	"Оценивание стабильности правильности в повседневных измерениях"
	6	"Оценивание неопределенности результатов измерений"
	7	"Определение аналитических характеристик МВИ"

Рисунок 1 - Модули приложения по обработке экспериментальных данных

Первый модуль приложения по обработке экспериментальных данных разработан для оценки наличия разбросов и выбросов в выборке по критерию Кохрена и Граббса согласно СТБ ИСО 5725-2-2002.

Второй модуль приложения по обработке экспериментальных данных позволяет определять показатели точности: правильность (оценку

смещения) и прецизионность (оценки дисперсии в условиях повторяемости, воспроизводимости и в промежуточных условиях прецизионности) для полного и ступенчатого иерархического плана согласно СТБ ИСО 5725-3-2002 и СТБ ИСО 5725-4-2002.

Третий модуль приложения по обработке экспериментальных данных используется для оценки значимости влияния факторов и проверки устойчивости (робастности) метода к изменению факторов с помощью метода дисперсионного анализа и метода регрессионного анализа.

Четвертый и пятый модуль приложения по обработке экспериментальных данных представляет собой контрольные карты с рассчитываемыми границами, применяемые для оценивания стабильности среднеквадратического отклонения результата измерений в условиях прецизионности, и правильности. Данные карты разработаны согласно рекомендациям СТБ ИСО 5725-6-2002.

Шестой модуль приложения по обработке экспериментальных данных разработан для оценки неопределенности результатов измерений. При разработке данного модуля использовалось "Руководство по выражению неопределенности измерения".

Седьмой модуль приложения по обработке экспериментальных данных применяется для определения аналитических характеристик таких как: предел обнаружения, предел количественного определения, линейность и чувствительность метода.

Данное приложение позволяет графически интерпретировать результаты, редактировать и печатать отчеты, обеспечивает гибкость (возможность перенастройки под себя, для удовлетворения потребностей лаборатории), простоту в использовании.

Таким образом, в связи с всеобщим внедрением компьютеризации практически во все области человеческой деятельности, организации, занимающейся проведением измерений, испытаний и контроля, необходимо постоянно повышать эффективность своей работы, для того чтобы обеспечить непрерывное развитие и финансовую стабильность, что, в свою очередь, является подтверждением актуальности данной темы.

1. Серия стандартов СТБ ИСО 5725-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2, 3, 4, 6.
2. Руководство по выражению неопределенности измерения: Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. – ГП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С.-Петербург, 1999. - 134 с.

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ СЛИЧИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ КВАЛИФИКАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Матюш И.И.¹, Савкова Е.Н.¹, Гайдаш Е.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Частное предприятие «ЛабГарант»

Минск, Беларусь

Межлабораторные сличения как инструмент подтверждения компетентности (проверки квалификации) аккредитованных испытательных лабораторий приобретают все большую актуальность, поскольку позволяют оценить характеристики функционирования участников по заранее установленным критериям.

В настоящее время в Республике Беларусь более трех тысяч аккредитованных испытательных лабораторий. Для обеспечения регулярных межлабораторных сличений создаются провайдеры проверки квалификации – организации, которые несут ответственность за все задачи по разработке и выполнению программы проверки квалификации. Одно из таких предприятий – ЧП «ЛабГарант», на базе которого осуществлялись работы по организации межлабораторных сличительных испытаний грунтов. Были привлечены 17 аккредитованных лабораторий. В ходе испытаний определялись параметры грунтов – влажность, плотность, коэффициент фильтрации, грансостав.

По результатам нескольких туров межлабораторных сличений в достаточной степени верно можно судить о стабильности функционирования системы измерений того или иного участника (лаборатории). В случае выявления выбросов значений критериев оценки в ходе проверки участникам могут быть предложены корректирующие действия. Нормативные документы, действующие в этой области также предлагают различные способы графической интерпретации результатов расчетов, что упрощает понимание положения того или иного участника по отношению к другим (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1 значения количественного показателя z участников I и L выходят за границы интервала значений $[-2; +2]$. Согласно СТБ ISO 13528 данные результаты следует интерпретировать как предупреждающий сигнал. Выбросовыми считаются значения количественного показателя z' выходящие за границы интервала значений $[-3; +3]$.

Выбор статистик функционирования, значения которых будут использоваться в выводах, зависит от того, какие данные были предоставлены участниками в ходе проверки квалификации.

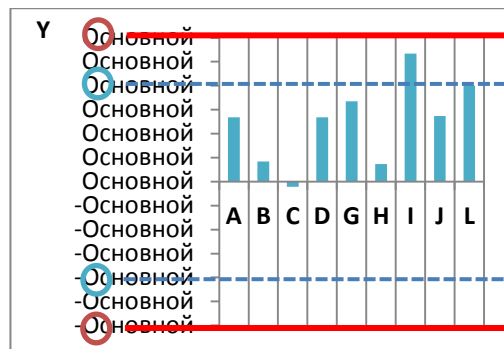


Рисунок 1. Столбиковая диаграмма количественного показателя z , рассчитанного для участников A, B, C, D, G, H, I, J, L в ходе первого тура межлабораторных сличений (измеряемая величина – удельное сопротивление грунта)

Исходя из блок-схемы алгоритма действий по применению статистических методов при реализации программы проверки квалификации приведенной в СТБ ISO 13528 в случае с участниками A, B, C, D, G, H, I, J, L из восьми предлагаемых для вычисления статистик функционирования были рассчитаны количественные показатели z . Количественный показатель z вычисляется по формуле:

$$z = (x - X) / \hat{\sigma}$$

где x – результат заявленный участником;
 X – приписанное значение;
 $\hat{\sigma}$ – стандартное отклонение для оценки квалификации.

В качестве приписанного в данном случае было использовано согласованное значение от экспертных лабораторий. СТБ ISO 13528 предлагается также вариант, когда приписанное значение определяется как робастное среднее. Его можно использовать в расчетах и в дальнейшем считать их корректными только в случае, когда количество участников достаточно велико. Стандартное отклонение для оценки квалификации может быть также получено разными способами до или после проведения проверки квалификации. Так, стандартное отклонение для оценки квалификации $\hat{\sigma}$ при оценке характеристик функционирования участников на основании обработки результатов измерения удельного сопротивления грунта не было определено до проведения проверки квалификации, было рас-

считать робастное стандартное отклонение результатов s^* (пункт 6.6 СТБ ISO 13528) по алгоритму А приложения С СТБ ISO 13528 которое в дальнейшем было использовано в качестве $\hat{\sigma}$. Учитывая, что в качестве стандартного отклонения для оценки квалификации $\hat{\sigma}$ используются робастное стандартное отклонение результатов s^* , формула для расчета количественных показателей изменяется следующим образом:

$$z = (x - X)/s^*,$$

где x – результат заявленный участником;
 X – приписанное значение;
 s^* – робастное стандартное отклонение результатов.

Расчет стандартного отклонения для оценки квалификации $\hat{\sigma}$ на примере первого тура межлабораторных сличений (измеряемая величина – удельное сопротивление грунта) осуществлялся следующим образом. Расчет значений робастного среднего x^* и робастного стандартного отклонения s^* в соответствии с СТБ ISO 13528. Начальные значения x^* и s^* как:

$x^* =$ медиана x_i ;

$s^* = 1,483 \cdot$ медиана $|x_i - x^*|$,

$i = 1, 2, \dots, p$

где x_i – результат i -го участника;

p – количество всех участников;

Значения медианы совокупности результатов

$x_i (i = 1, 2, \dots, p)$ и медианы разностей $|x_i - x^*| (i = 1, 2, \dots, p)$ представлены в таблице 1

Таблица 1 – Значения медиан совокупности результатов x_i и разностей $|x_i - x^*|$

код участника	x_i	медиана $x_i (x^*)$	$ x_i - x^* $	медиана $ x_i - x^* $
A	52,75	52,75	2,75	1,25
B	51,00		1,85	
C	50,00		1,75	
D	52,75		0	
G	53,38		0	
H	50,90		0,05	
I	55,26		0,63	
J	52,80		1,25	
L	54,00		2,51	

Таким образом получаем:

$x^* = 52,750$;

$s^* = 1,483 \cdot 1,25 = 1,854$.

Далее полученные значения x^* и s^* необходимо откорректировать, вычислив их новые значения:

$$x^* = \sum x_i^* / p;$$

$$s^* = 1,134 \cdot \sqrt{\sum (x_i^* - x^*)^2 / (p - 1)},$$

где x_i – результат i -го участника;

p – количество всех участников;

x_i^* – расчетные значения для каждого x_i (таблица 2)

Для каждого x_i вычисляют x_i^* следующим образом:

$$x_i^* = \begin{cases} x^* - \delta, & \text{если } x_i < x^* - \delta \\ x^* + \delta, & \text{если } x_i > x^* + \delta \\ x_i, & \text{в других случаях} \end{cases}$$

где x^* – начальное значение робастного среднего, δ вычисляют по формуле

$$\delta = 1,5 \cdot s^*,$$

где s^* – начальное значение робастного среднего отклонения.

Таблица 2 – Расчетные значения для нахождения откорректированных x^* и s^*

код участника	x_i	x^* (нач.)	s^* (нач.)	x_i^*	$(x_i^* - x^*)^2$
A	52,75	52,75	1,854	52,75	0,00
B	51,00			51,00	3,06
C	50,00			50,00	7,56
D	52,75			52,75	0,00
G	53,38			53,38	0,40
H	50,90			50,90	3,42
I	55,26			55,26	6,30
J	52,80			52,80	0,00
L	54,00			54,00	1,56
Σ				472,84	22,31

Таким образом получаем новые (откорректированные) значения:

$$x^* = \frac{472,84}{9} = 52,54;$$

$$s^* = 1,134 \cdot \sqrt{\frac{22,31}{8}} = 1,893708.$$

Опыт планирования и организации межлабораторных сличительных испытаний показал, что значительными факторами изменчивости могут являться субъективная составляющая (начиная от отбора, упаковки и транспортировки образцов и заканчивая обработкой результатов), а также неоднородность образцов для испытаний.

ПРОВЕРКА КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРОЧНЫХ И КАЛИБРОВОЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Миранович-Качур С.А., Пастухова С.А.

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Минск, Республика Беларусь

Уже ни одну лабораторию не удивляет требование Органа по аккредитации подтверждать свою компетентность через постоянное участие в программах проверки квалификации. Соблюдение требований СТБ ИСО/МЭК 17025 (п.5.9) по обеспечению качества результатов измерений на сегодняшний день является правилом «хорошего тона». И хотя у многих лабораторий еще не сформировалось четкое понятие, что такое «проверка квалификации» и «с чем ее едят», международные требования к деятельности провайдеров проверки квалификации, а также к разработке и реализации программ проверки квалификации представлены на национальном уровне в виде ГОСТ ISO/IEC 17043 и СТБ ISO 13528.

Именно положениями этих документов и руководствуется БелГИМ при выполнении возложенных на него функций Провайдера проверки квалификации поверочных, калибровочных и испытательных лабораторий.

Проверки квалификации поверочных и калибровочных лабораторий имеют ряд отличительных признаков, по сравнению, например, с проверками квалификации испытательных лабораторий.

1 Метрологическая прослеживаемость измерений

Одной из важных особенностей при проведении программ проверки квалификации в поверочных и калибровочных лабораториях, позволяющих обеспечить требования ГОСТ ISO/IEC 17043 (п.4.4.5.1), является возможность четкого подтверждения метрологической прослеживаемости измерений приписанного значения. Только в таком случае приписанное значение, установленное в эталонной лаборатории, является надежной основой для оценивания лабораторных смещений участников. БелГИМ, выступая в качестве эталонной лаборатории, устанавливает приписанные значения измеряемых в программах проверки квалификации величин с использованием эталонов, которые воспроизводят единицы измерений величин, прослеживаемые до национальных и международных эталонов единиц величин с точностью, подтверждаемой результатами участия в региональных и международных ключевых сличениях с размещением наилучших измерительных возможностей на официальном сайте Международного бюро мер и весов (BIPM).

2 Количество участников

Программы проверки квалификации поверочных и калибровочных лабораторий отличаются небольшим количеством участников. Как правило, в турах проверки квалификации участвует от 6 до 15 лабораторий. Однако, небольшое количество участников мало влияет на статистики функционирования и выводы по результатам участия в проверках квалификации, поскольку они основываются на приписанном значении, установленном независимо от результатов измерений участников.

3 Образец для проверки квалификации

При проведении проверок квалификации в поверочных и калибровочных лабораториях используется программа проверки квалификации типа «последовательная». Образец для проверки квалификации передается от одного участника другому. При таком типе программы очень важны вопросы обеспечения сохранности образца для проверки квалификации и стабильности измеряемых при поверке/калибровке характеристик. Для того чтобы сделать правильные выводы о функционировании участников при конкретной реализации программы проверки квалификации, провайдер проверки квалификации должен периодически проверять в эталонной лаборатории с документальным оформлением результатов стабильность измеряемых при поверке/калибровке характеристик.

Еще одной особенностью программ проверки квалификации поверочных и калибровочных лабораторий является длительность их реализации (от нескольких месяцев до пару лет): доставка образца для проверки квалификации участнику, который может находиться в другой стране, и возврат образца провайдеру, периодические исследования на стабильность измеряемых характеристик.

4 Соответствие назначению

Поверка и калибровка, в отличие, например, от области испытаний, всегда имеют четко установленные требования к точности измерений, законодательно закрепленные, например, в поверочных схемах или иерархиях калибровки. Всем известно основное правило метрологии, касающееся точности измерений при поверке:

$$\left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}\right) \Delta \leq T, \quad (1)$$

где T – допуск на измеряемый параметр (измеряемую величину);

Δ – предел допускаемой погрешности измерений (или, если говорить на языке концепции неопределенности, целевая неопределенность – максимальная расширенная неопределенность измерения).

Только при выполнении неравенства (1) можно с заданной вероятностью (известным уровнем доверия) сделать заключение о соответствии установленным требованиям на измеряемый параметр и использовать средства измерений по назначению.

На основании заданных требований к точности измерений (например, ГОСТ 8.461, ГОСТ OIML R 111-1) можно обоснованно устанавливать значение стандартного отклонения для оценки квалификации и по характеристикам функционирования делать выводы о соответствии точности измерений, выполненных лабораторией, заданным требованиям.

5 Неопределенность измерения

Неопределенность измерения является важной характеристикой качества измерений, выполняемых при калибровке. Требование о представлении результатов измерений калибровки с неопределенностью измерения прописано в СТБ ИСО/МЭК 17025 (пп.5.4.6, 5.10.4). Хотя при проведении поверки эта характеристика качества также присутствует, только в неявном виде.

При проверках квалификации калибровочных лабораторий кроме оценивания характеристик функционирования решается задача подтверждения заявленной участниками неопределенности измерения.

6 Характеристики функционирования

Основная задача проверки квалификации – оценивание характеристик функционирования участников. Если для поверочных лабораторий, как и для испытательных лабораторий, используется широко распространенная характеристика функционирования – количественный показатель z , основанная на соответствии назначению, то смысл характеристик функционирования для калибровочных лабораторий немного отличается. Для калибровочных лабораторий характеристики функционирования – показатель E_n и количественный показатель ξ , основаны на той оценке точности измерений, которую заявляет сам участник в виде расширенной или стандартной неопределенности, а не на принятом провайдером соответствии назначению. В этом случае возможные причины получения неудовлетворительной характеристики функционирования могут заключаться не только в технических ошибках реализации процедуры калибровки, но и в

неправильной оценке участником своего уровня точности, выраженного количественно в виде неопределенности измерения.

Заключение

Проверки квалификации играют важную роль при подтверждении компетентности поверочных и калибровочных лабораторий. При качественной реализации они позволяют решить сразу несколько метрологических задач:

- оценивание лабораторного смещения (подтверждение метрологической прослеживаемости измерений);
- соответствие установленным требованиям по точности измерений;
- подтверждение заявленной участниками неопределенности измерения.

Качественная реализация проверки квалификации поверочных и калибровочных лабораторий требует наличия соответствующей технической базы и квалификации Провайдера. БелГИМ как Национальный метрологический институт является хранителем национальных и исходных эталонов единиц величин, имеет высококвалифицированных специалистов в соответствующих видах метрологического подтверждения пригодности средств измерений и теоретической метрологии, участвует в ключевых сличениях и может предоставить надежные приписанные значения величин, что позволяет качественно и в соответствии с международными требованиями организовывать проверки квалификации в области поверки и калибровки.

1. ГОСТ 8.461-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.
2. ГОСТ OIML R 111-1-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов точности E (индекса 1), E (индекса 2), F (индекса 1), F (индекса 2), M (индекса 1), M (индекса 1-2), M (индекса 2), M (индекса 2-3) и M (индекса 3). Часть 1. Метрологические и технические требования.
3. СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
4. СТБ ISO/IEC 17043-2013 Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации.
5. СТБ ISO 13528-2011 Статистические методы, применяемые при проверке квалификации лабораторий посредством межлабораторных сличений.

ТЕХНИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТЯХ ВЫСОКОГРАДИЕНТНЫХ ПОЛЕЙ

Павленко Д.В., Сидоренко М.В., Лятуринский В.А.
Запорожский национальный технический университет
Запорожье, Украина

Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на надежность и долговечность изделий и конструкций. Поэтому разработка методов их измерения является важной и актуальной задачей.

На сегодняшний день более других распространены механические методы измерения, основанные на измерении деформаций при удалении некоторого объема напряженной детали, а так же метод рентгеновской дифракции.

Для разработки был выбран метод сверления глухого отверстия, как наиболее методически обеспеченный и стандартизованный ASTM E837-08 [1]. К его временным несовершенствам можно отнести отсутствие методических рекомендаций для измерения напряжений в областях высокоградиентных полей (например, таких как зона термического влияния вблизи сварного шва), а так же относительно высокая стоимость рекомендуемых расходных материалов.

Внедрение магнитных методов, кроме чувствительности магнитных параметров к различным факторам (структуре, шероховатости и т.д.), сдерживает так же малое количество сравнительных исследований, при которых остаточные напряжения уже определены одним из доступных методов. Как правило, сравнительные исследования выполнены в лабораторных условиях при растяжении или изгибе образца, то есть мало отличаются от градуировки рабочего датчика.

Таким образом, развитие метода сверления глухого отверстия, то есть малоразрушающего метода, измерения остаточных напряжений кроме прямого назначения выбрано нами так же для дальнейшего развития магнитного метода неразрушающего контроля.

Установка (рис. 1) создана на базе системы SINT RESTAN MTS 3000 (Италия). Выбран тензометрический метод определения деформаций, как более подходящий для полевых условий. Использовались высокочастотные режимы сверления (300000 об / мин), что согласно [2] позволяет пренебречь влиянием процесса сверления на результаты тензометрирования.

Последовательность проведения эксперимента достаточно подробно описана в [1, 3 и др.].

Для упрощения математической обработки результатов эксперимента и получения отверстий цилиндрической формы, использовались сверла обратной конусности. Для обеспечения высокой точности подачи в механическом устройстве системы используется шаговый двига-

тель и микрометрическая винтовая передача. С достаточной для практики точности обосновано применение сверл от высокоскоростных бормашин. Износ сверла после испытания оценивался путем его осмотра и измерения геометрических параметров на инструментальном микроскопе. Кроме того периодически производился контроль глубины сверления пошагово бесконтактной системой Keyence LC-2400A.

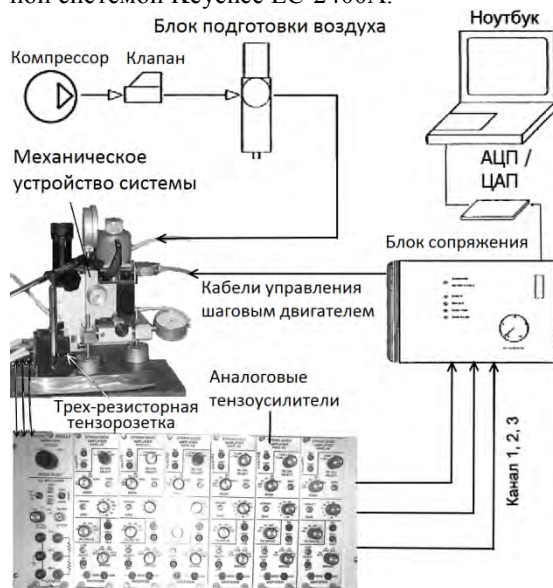


Рис. 1. Схема системы измерения остаточных напряжений

Так же, с целью снижения стоимости расходных материалов, были применены отличные от предложенных трехкомпонентные тензорозетки. Для анализа влияния габаритов решетки на расчетные напряжения были созданы трехмерные конечно-элементные модели напряженных пластин с траекторией витков тензорешеток при разной ориентации решетки относительно 1-го главного напряжения (0° , 45° , 90°). Сверления отверстий различных диаметров моделировалось путем деактивации конечных элементов.

Расчет проводился по методике [1]. Были рассчитаны погрешности в определении первого главного напряжения и 2-го главного напряжения (фиктивного).

Установлено что для устранения ошибки, вызванной отличием габаритов решетки от рекомендуемых в [1], независимо от соотношения диаметров розетки и отверстия $D_{роз} / D_{отв}$, достаточным есть внесение поправочного коэффициента k к радиусу тензорозетки при расчете оста-

точных напряжений. Внесение $k = 1,04$ для оригинальной тензорозетки, использованной в экспериментах, позволило уменьшить погрешность с 7,5 до $\leq 0,5\%$ при любых типовых диаметрах отверстий ($D_{отв} = 1,2 \dots 2,5$ мм).

Известны исследования [4 и др.] в которых определялись геометрические ограничения, налагаемые на образцы при использовании метода глухого отверстия. Согласно [1], с использованием предложенного типа тензорозеток, расстояние от центра отверстия до препятствия должна составлять не менее $0,5D_{роз}$, минимальное расстояние до края детали по рекомендациям [4] составляет $5D_{отв}$, по [1] – $1,5D_{роз}$. Близость валика углового шва до точки измерений в литературе отдельно не рассматривалась.

Методом конечных элементов проводилось моделирование деформаций при состоянии типичном для сварных соединений (растяжение вдоль шва, сжатие – поперек [5]). Установлено, что с использованием имеющихся тензорозеток, отверстие можно выполнять на минимальном расстоянии $\Delta_{кр} = 1,2$ мм (рис. 2), при условии, что $B_{реш} < 2R_{отв}$ (рис. 2). Доказано, что даже выполнение отверстия вплотную ($\Delta_{кр} = 0$) приведет к погрешности показаний ближайшей к шва решетки (показано на рис. 2) в пределах 5%. На показания других решеток тензорозетки близость валика не влияет.

Недостатком метода сверления отверстия, с позиции анализа остаточных напряжений сварных соединений, является снижение его точности при появлении пластической деформации контура отверстия. Известно, что для глухого отверстия с $H = D_{отв}$ (рис. 2) при остаточных напряжениях, превышающих $\sigma_T/3$, на контуре отверстия уже появляются пластические деформации [5]. Согласно [1] результаты эксперимента можно считать численно верными если расчетные остаточные напряжения не превышают 60% от предела текучести σ_T материала.

Моделировалось сверления отверстия с $D_{отв} = 2$ мм в образце с одноосными остаточными напряжениями, приближающимся к σ_T . Пластическое поведение материала описывалась экспериментально определенной кривой дилатометрические теста Стали 20. Использовался критерий пластичности Мизеса. Была обнаружена значительная неравномерность распределения деформаций в витках тензорешетки приближенных к участкам пластического деформирования, в этих резисторах $\Delta\epsilon/\epsilon$ достигает 25%.

Установлено, что использование предполо-

жений упругого деформирования в методике расчета напряжений [1] приводит к существенной погрешности ($> 5\%$) их определения только при $\sigma_{max} > 0,8\sigma_T$.

Проведенный на тензобалочке ряд экспериментов подтвердил корректность выводов конечно-элементных расчетов касающихся поправочного коэффициента k , усреднения деформаций на базе резистора, а также по анализу высоких остаточных напряжений.

Таким образом, получил дальнейшее развитие метод сверления глухого отверстия с тензометрированием для анализа остаточного либо действительного напряженного состояния изделий с высоким уровнем и градиентами напряжений, что характерно для сварных соединений.

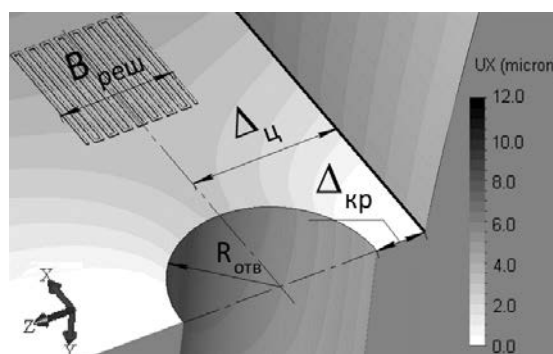


Рис. 2. Перемещение тензорешетки вблизи шва

1. ASTM E837-08. Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the HoleDrilling Strain-Gage Method. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
2. Nau A., Scholtes B. Evaluation of the High-Speed Drilling Technique for the Incremental Hole-Drilling Method / Experimental Mechanics, 2012, Vol. 53, PP. 531-542.
3. Schajer G.S. Relaxation Methods for Measuring Residual Stresses: Techniques and Opportunities // Experimental Mechanics, No 10, 2010; pp. 1117-1127.
4. Preckel U. Erweiterung der Verfahrensgrenzen beim Bohrlochverfahren zur Ermittlung von Eigenspannungen // Industrie Anzeiger, Kurzberichte der Hochschulgruppe Fertigungstechnik 108, Nr. 8, 1986, PP. 18-26.
5. Чернышев Г.Н. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах / Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев, И.И. Пономарев. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 240 с.

ОЦЕНКА КОМПЕТЕНТНОСТИ ВНУТРЕННИХ АУДИТОРОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Павлов К.А., Охрименко Е.О.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Система менеджмента качества (далее – СМК) является важной частью общей системы управления организацией. Предприятие должно определить свои системы и процессы, содержащиеся внутри них, чтобы давать возможность системе быть управляемой и улучшенной. [1]

Для ряда организаций сертификация СМК не является обязательным условием, к примеру, для деятельности аккредитованных испытательных лаборатории (СМК рассматривается как одно из условия прохождения аккредитации). Поэтому в данном случае высокое доверие к результативности самой СМК лаборатории опирается на доверии к работе внутренних аудиторов. Для того чтобы процедура внутренних аудитов осуществлялась результативно и эффективно для организации необходимо учитывать следующие факторы:

- компетентность внутренних аудиторов;
- остаточность внутренних аудиторов для проведения необходимого количество аудитов в запланированные интервалы времени. [2]

Так как эффективность и результативность внутренних аудиторов СМК аккредитованных лабораторий напрямую зависит от компетентности самих аудиторов, а также ввиду того, что в СТБ ISO 9001 и СТБ ISO 19011 не регламентируется процедура оценивания компетентности и результативности деятельности внутренних аудиторов, то появляется необходимость разработки универсальной методики, позволяющей производить регулярный мониторинг компетентности внутренних аудиторов, и создавать основы для формирования кадрового резерва внутренних аудиторов из числа сотрудников лаборатории и для формирования системы мотивации внутренних аудиторов, коррелирующую с результатами оценки и мониторинга компетентности аудиторов.

В рамках дипломного проекта для одного из аккредитованных испытательных центров Республики Беларусь – ВСУ «Могилёвской облветлаборатории», была разработана поэтапная методика оценивания компетентности внутренних аудиторов:

- 1 этап – Оценка соответствия кандидата на должность внутреннего аудитора;

- 2 этап – Оценка результативности работы внутреннего аудитора.

В рамках первого этапа производится оценивания уровня профессионализма аудиторов, а также их личностные качества. Для этого были определены критерии соответствия лиц на должность внутреннего аудитора, а также методы их оценки.

Требования к уровню профессионализма лиц, претендующих на должность внутреннего аудитора, в Республике Беларусь регламентируются правилами аудиторской деятельности «Образование аудитора». [3]

Данные правила устанавливает следующие элементы образования аудитора:

- базовое образование;
- практический опыт;
- профессиональное образование;
- свободное владение одним из государственных языков.

Базовое образование в соответствии с действующим законодательством включает в себя высшее техническое или экономическое образование, полученное в учебном учреждении Республики Беларусь, имеющем государственную аккредитацию, либо в учебном учреждении иностранного государства, дипломы которого имеют юридическую силу в Республики Беларусь.

Практический опыт работы определяется стажем работы не менее трех лет по специальности, соответствующей техническому и (или) экономическому образованию.

Профессиональное образование основывается на базовом образовании и включает в себя:

- специальное профессиональное образование физических лиц, претендующих на должность внутреннего аудитора полученное по специальности «Эксперт по внутренним аудиторах СМК»;

- образование, полученное аудиторами в процессе повышения квалификации.

Важным элементом профессионального образования аудитора является самостоятельное обучение (самообразование).

В процессе трудовой деятельности претендент на должность аудитора должен приобретать навыки (интеллектуальные, коммуникативные и навыки общения), которые являются совокупным результатом обучения и профессионального опыта.

Свободное владение одним из государственных языков Республики Беларусь подразумевает

владение русским и (или) белорусским языками в объеме, необходимом для изучения нормативных правовых актов Республики Беларусь, обеспечения оказания аудиторских услуг, соблюдения порядка осуществления аудиторской деятельности, а также делового общения с заказчиками.

Кандидат на должность внутреннего аудитора должен обладать личными качествами (этичность, честность, дипломатичность, наблюдательность, проницательность, гибкость, настойчивость, самостоятельность и т.д.), которые помогут ему действовать в соответствии с принципами аудита, приведенными в СТБ ISO 19011.

Для оценки выделенных требований к компетентности внутренних аудиторов стандарт СТБ ISO 19011 предлагает следующие методы:

- анализ документов (записей);
- положительная и отрицательная обратная связь;
- собеседование;
- наблюдение;
- тестирование;
- анализ деятельности после аудита.

Для каждой группы критериев и соответствующих оценок предлагаются шкалы оценки (пятибалльные или семибалльные). Итоговая оценка компетентности кандидатов выражается в относительных единицах (процентах). По итоговой оценке принимается решение по кандидату:

- до 40 % – кандидатура отклоняется;
- от 40 % до 80 % – кандидату на должность предлагают пройти стажировку;
- от 80 % до 100 % – по решению высшего руководства назначается на должность внутреннего аудитора.

Данные границы могут изменяться с учетом требований организации к внутренним аудиторам.

На втором этапе осуществляется оценка компетентности действующих внутренних аудиторов лаборатории.

При оценке проводится анализ отчетов по внутренним аудитам за отчетный период.

В результате экспертного оценивания был разработан перечень возможных события при проведении внутренних аудитов, которые мог допустить аудитор:

S_1 – случай ошибочной классификации несоответствия;

S_2 – случай нарушения процедуры проведения внутреннего аудита;

S_3 – случай нарушение при оформлении документации по внутреннему аудиту;

S_4 – случай неопределенности результатов аудита;

S_5 – случай неполного проведения аудита.

Тогда оценка компетентности внутренних аудиторов вычисляется в относительном выражении (%) по следующей формуле

$$K_{\text{ауд}} = (\sum K_i \times S_i) \times 100 \%,$$

где K_i – коэффициент значимости события.

S_i – одно из пяти вышеописанных событий, оценки которых определяется по формуле

$$S_i = 1 - N_i / \sum N,$$

где N_i – количество событий S_i ,

N – количество всех событий S_i .

Коэффициенты значимости K_i событий S_i определяются экспертным методом.

Принятие решений о результативности работы внутренних аудиторов принимается на основании критериев:

а) для действующих внутренних аудиторов

- до 65 % – исключение аудитора из реестра;

- от 65 % до 85 % – аудитор должен пройти переекспертацию;

- от 85 % до 100 % – по решению высшего руководства выделение поощрения аудитору;

б) для стажеров

- до 80 % – продолжение стажировки;

- свыше 80 % – при наличии в реестре вакансии, стажер проходит первичную аттестацию.

Данные границы могут изменяться с учетом требований организации к внутренним аудиторам.

Оценку действующих внутренних аудиторов и стажеров осуществляет главный внутренний аудитор (главный инженер по качеству), а его оценку проводит представитель органа по сертификации на договорной основе.

1 Никифоров, А.Д. «Управление качеством»: учеб. пособие для вузов/А.Д. Никифоров. М.: Дрофа, 2004. - 720 с.

2 СТБ ISO 19011-2013 «Руководящие указания по аудиту систем менеджмента качества и/или систем экологического менеджмента».

3 Правила аудиторской деятельности «Образование аудитора», утвержденные постановлением Министерства финансов Республики Беларусь от 28.03.2003 № 45.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ ОСНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ТУРКМЕНИСТАНА В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

Павлов К.А., Хемракулыев Д.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Основные направления современной внешней политики Туркменистана определены в «Декларации о внешнеполитическом курсе Туркменистана в XXI веке на принципах постоянного нейтралитета, миролюбства, позитивного добрососедства и демократии», (утверждена 27 декабря 1999 года).

По настоящее время официальный Ашхабад сохраняет нейтралитет относительно неформального соперничества Казахстана и Узбекистана за неофициальное региональное первенство, поэтому, развивая двусторонние отношения со многими державами мира, официально Ашхабад руководствуется прежде всего прагматичными интересами – укрепить свои позиции в Центральной Азии, получить максимальную выгоду как от имеющихся в Туркменистане огромных по запасам природных ресурсов (углеводородов), так и от его удобного геополитического положения на пересечении транзитных путей.

Положения по развитию политических, экономических и торговых отношений Туркменистана с другими странами обязывает вести политику в направлении гармонизации требований к продукции и услугам, которыми экономически обмениваются эти страны.

На сегодняшний день правовая база Туркменистана и стран, с которым ведется сотрудничество, составляет более 1000 договоров и соглашений, в том числе и о взаимном признании результатов испытаний и сертификации продукции или услуг. Сотрудничая со многими высокоразвитыми партнерами, предприятия Туркменистана обязаны соответствовать требованиям нынешнего рынка.

В настоящее время вопросы оценки соответствия, стандартизации и метрологии в Туркменистане находятся на стадии стремительного развития. За последние годы претерпела изменение законодательная база страны по вопросам метрологии, стандартизации и сертификации. Руководство страны совместно с институтом по метрологии, стандартизации и сертификации постоянно совершенствует положения, реагируя, тем самым, на новые требования торговых и политических соглашений, но и защищая свой внутренний рынок и отечественных производителей.

Одной из важной особенностью политики Туркменистана в области оценки соответствия является наличие одной процедуры подтверждения соответствия продукции – это обязательная сертификация. Стоит также заметить, что в стране пару последних лет проходит «жесткая» политика по сертификации систем менеджмента (СМК, СОУТ, СОУС, НАССР и др.) государственных организаций. Выделяется материальная поддержка организациям на реализацию этой программы. [1]

В рамках развития политики в области стандартизации, метрологии и сертификации руководство Туркменистана совместно с государственной структурой в сфере образования осуществляет следующие программы [2]:

- привлечение квалифицированных кадров для обучения персонала государственных организаций по вопросам сертификации, метрологии и стандартизации;

- направление на обучение граждан Туркменистана в другие страны, в которых данные направления государственного регулирования находятся на более высоком уровне (Российская Федерация, Республика Беларусь и страны ЕС);

- привлечение научных сотрудников для преподавания в государственных высших учебных заведениях Туркменистана.

Программа по обучению граждан за рубежом функционирует уже более 6 лет, и уже сегодня обученный персонал, получивший образование по специальностям – инженер, технолог, оператор и т.д., возвращается в страну для работы на отечественных предприятиях. Анализ их работы показал, что существует ряд проблем, главными из которых являются:

- различие законодательных основ Туркменистана и стран, в которых проводилось обучение;

- обучение граждан Туркменистана в других странах проходят по учебным программам самих стран, без учета специфики развития Туркменистана по ряду научно-практических и промышленных задач и др.

Решением данных задач является гармонизация законодательных, нормативно-правовых основ Туркменистана и стран, где проводится обучение. Результат гармонизации позволит обученным специалистам быстрее и без

особых трудностей применять полученные навыки для совершенствования деятельности отечественных организаций, что в свою очередь позволит Туркменистану уверенно и стабильной определить свое место на мировом рынке.

Для достижения этих целей необходимо реализовать следующие задачи:

- осуществить перевод Законов Туркменистана о стандартизации, метрологии и сертификации на русский язык, что позволит более корректно понять различия требований законодательства между этими странами (Закон Туркменистана «О стандартизации» имеется на русском языке);

- провести сравнительный анализ законодательных основ Республики Беларусь и Туркменистана в области стандартизации, метрологии и сертификации, что позволит понять в отношении какой продукции или услуг могут возникать спорные вопросы при импорте или экспорте для Туркменистана.

Во время анализа были выявлены различия в законодательных основах в области стандартизации, метрологии и сертификации между странами, а также определены общие положения по некоторым вопросам – к примеру, в вопросах формирования и управления национальными эталонными базами стран, в вопросах проведения метрологического контроля средств измерений, в вопросах основополагающих принципов стандартизации и т. д.

Одним из отличий в законодательстве стран по вопросам признания соответствия требованиям технических нормативных правовых актов (для Республики Беларусь) и нормативных документов (для Туркменистана) [3], является то, что в Туркменистане принята единая форма признания – обязательная сертификация, в то время как в Республике Беларусь существуют две формы – сертификация и декларирование соответствия. Данное различие имеет важное значение для налаживания торговых отношений между странами на государственном уровне, а также для предпринимателей двух стран, занимающихся экспортированием или импортированием товаров на внутренние рынки. Это касается и систем менеджмента организации – для всех государственных и частных предприятий, независимо от вида деятельности, в Туркменистане под обязательную сертификацию попадают: СМК, СУОТ, СУОС, НАССР, а также система энергетического менеджмента (на соответствие требованиям международных стандартов ISO серии 50000) и др. В свою очередь, для многих организаций Республики Беларусь данные системы под обязательную сертификацию не

попадают, а относительно вопросов энергетического менеджмента – только в начале 2016 года вышло постановление о необходимости разработки, внедрения и сертификации этой системы.

Еще одним существенным отличием в законодательных основах является отсутствие в Законе «О стандартизации» Туркменистана понятия «технических регламентов». Обязательными для применения в стране являются международные стандарты. В Республике Беларусь согласно законодательству технические регламенты являются обязательными как внутри страны, а также и согласно положению о Таможенном Союзе данный вид документа является обязательным к применению для всех участников этого сотрудничества стран. Относительно вопросов присоединения Туркменистана к Таможенному союзу, а следовательно и изменения положений относительно применения технических регламентов, официальный Ашхабад имеет четкую позицию – присоединения не будет. С этой позиции, данное различие в рамках торговых отношений между странами не столь важно.

Таким образом, в ходе анализа было выявлено более 40 различий в законодательных основах Республики Беларусь и Туркменистане по вопросам метрологии, стандартизации и сертификации. Многие из них носят принципиальный характер (как по вопросам сертификации продукции, услуг и систем), остальные – определяют специфику законодательства двух стран.

Данные результаты должны быть использованы при проведении обучения по дисциплинам метрология, стандартизации и сертификация, а также внесены в учебные программы вузов стран, в которые направлены для получения соответствующей квалификации граждане Туркменистана.

1. <http://www.gosstandart.gov.by/txt/Actual-info/docs/garluk-poryadoc.pdf>
2. Национальная Программа "Стратегия экономического, политического и культурного развития Туркменистана на период до 2020 года" (Одобрена и принята решением совместного заседания XIV Государственного Совета старейшин Туркменистана, Халк Маслахаты и Общенационального движения "Галкыныш" 15 августа 2003 года).
3. Закон Туркменистана «О сертификации продукции и услуг».

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛЯННЫХ ТРУБОК

Петрусенко П.А., Шумская А.П.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Стекланные трубки используются в электро-технической, радиотехнической, фармацевтической, приборостроительной, пищевой промышленности. Современные требования к качеству продукции вызывают необходимость уменьшения допусков параметров на всех этапах технологического процесса. В работе приведен анализ техпроцесса изготовления стеклотрубок на Брестском электроламповом заводе и предложены мероприятия по совершенствованию контрольных операций техпроцесса и снижению уровня брака. В настоящее время на большинстве предприятий, производящих стеклотрубки используется технология горизонтального вытягивания - способ Даннера. Он обеспечивает наибольшую производительность по сравнению с другими технологиями, позволяет механизировать процесс производства, обеспечивает возможность получать трубки с наружным диаметром 2...60 мм и толщиной стенок 0,2...5 мм. Основными технологическими единицами этого способа являются участок подготовки шихты, стекловаренная печь, участок вытягивания, участок резки и окончательной обработки заготовки. Основные элементы технологического процесса производства стеклянных трубок представлены на рисунке 1

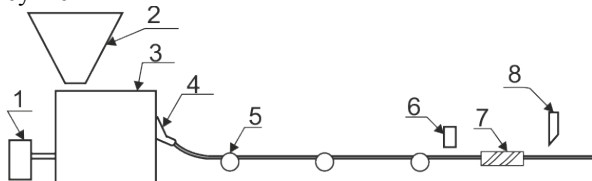


Рисунок 1 – Основные элементы технологического процесса

Устройство 1 предназначено для создания формовочного воздуха, давление которого определяет внутренний диаметр трубки. В загрузочный бункер 2 помещается шихта для стекловаренной печи 3. На выходе печи расположен вращающийся мунштук 4, выходное отверстие которого формирует наружный диаметр трубки. Далее трубка поступает на рольганг, состоящий из транспортирующих роликов 5, выполненных из графита. Перемещение сформированной трубки производится транспортирующим элементом машины вытягивания 7, который определяет линейную скорость перемещения трубки. После этого трубка подается на резательную машину, снабженную твердосплавными ножами 8. Лазерный датчик 6 предназначен для контроля

величины наружного диаметра трубки. Управление производством ведется в условиях недостаточной информации о текущих параметрах технологического процесса. Контроль качества изготовленных трубок производится выборочным методом путем ручного замера готовых отрезанных трубок спустя минуту или более после формирования. В существующей технологической линии на центральном пульте управления отсутствует информация о давлении воздуха, подаваемого на раздув трубки, скорости вытягивания, температуре стекломассы в зоне формирования и других параметрах процесса, определяющих качество готовой продукции.

Управление технологическим процессом в таких условиях производится в основном на основании опыта и интуиции операторов.

В настоящее время разработаны датчики на основе лазерных технологий, позволяющие контролировать непосредственно на технологической линии толщину стенок и внутренний диаметр стеклянных трубок. Это позволяет внедрить в существующий техпроцесс дополнительные элементы контроля параметров и тем самым повысить эффективность управления и качество выпускаемой продукции.

В связи с этим появилась необходимость модернизации существующей технологической линии с использованием современных методов контроля и управления технологическим процессом. На первом этапе работы произведена идентификация объекта управления, составлена математическая модель динамической системы, рассмотрена возможность использования элементов автоматизированного управления этапами технологического процесса. Структура технологического процесса показана на рис. 2.



Рисунок 2 – Структура технологического процесса

Сложность составления математической модели заключается в том, что на выходной

параметр влияет большое количество факторов x_i , которые для упрощения моделирования необходимо разделить на существенные и несущественные. В литературе отсутствует информация об аналитических связях между входными и выходными параметрами технологического процесса в стекольной промышленности. Алгоритмы обработки информации в существующих линиях горизонтального вытягивания производителями не раскрываются, поэтому при математическом моделировании процесса основные влияющие факторы в основном выбирались на основе опыта работы операторов линии. На основе анализа влияния этих факторов на конечные параметры трубок, нормированные техническими условиями, установлено, что технологическая линия представляет из себя двухмерный объект с перекрестными связями, коэффициенты передач которых являются функциями управляющих параметров. Объект управления является колебательным элементом, имеющим значительные транспортные запаздывания t_i . Период основных колебаний зависит от:

- времени транспортирования трубки от начала формования до конца линии вытяжки;
- времени реакции системы на изменение давления формовочного воздуха;
- времени реакции системы на изменение скорости вытягивания. Для уменьшения амплитуды этих колебаний предложено использовать дополнительный датчик измерения наружного и внутреннего диаметра трубок, расположенный вблизи начала рольганга, а также введение управляемой системы регулирования давления формовочного воздуха.

Одним из нормируемых параметров качества является наличие посторонних включений и воздушных пузырей в стекле. Контроль этого параметра производится визуально перед загрузкой трубок в упаковочную тару. При этом количество отбракованных трубок не учитывается, что не позволяет вести точный учет количества произведенной продукции. Для устранения этого недостатка предложено использовать специализированную систему технического зрения, видеокамера которой расположена рядом с датчиком контроля наружного диаметра. Это позволяет отбраковывать трубки на ранней стадии техпроцесса, а также увеличивает точность учета готовой

продукции. Для реализации разработанной системы предложена элементная база фирмы «OMRON», приборы которой надежно работают в цеховых условиях при значительных перепадах температуры на всех этапах технологического процесса. Структурно предлагаемая система контроля и управления будет состоять из центрального диспетчерского пункта, в который будет поступать информация о текущих значениях параметров технологического процесса, а также накапливаться для учета произведенной продукции за отчетный период времени. На информационном табло на схеме технологической линии будут отображаться текущие и предельные значения контролируемых параметров, а также их изменения в течение задаваемого оператором промежутка времени.

Кроме этого на каждом технологическом участке будут установлены отдельные информационные панели, позволяющие оперативно оценивать результаты управления техпроцессом.

Для обмена информацией в системе предлагается использовать протокол ProfiSafe, имеющий функции диагностики, защиты информации, обнаружения ошибок и самокоррекции.

На основании проведенной работы составлено техническое предложение по модернизации технологической линии производства стеклянных трубок на Брестском электроламповом заводе.

1. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попон. — Изд. 4-е, перераб. и доп. — СПб, Изд-во «Профессия», 2003. - 752 с.
2. Поляк В.В. и др. Технология строительного и технического стекла и шлакоситталов. М.: Стройиздат.1983.
3. Технология стекла. Под ред. И.И. Китайгородского. М.: Стройиздат,1967.
4. Химическая технология стекла и ситталов. /Под ред. Павлушкина Н.Н. М.: Стройиздат,1983.
5. Зайков Ю.Б. Проекционный способ измерения линейных размеров стеклянной трубки. А.с. № 510641 /СССР/. Опубл. в Б.И.,1976, № 14.
6. Мацкевич О.И. и др. Устройство для измерения геометрических размеров стеклянной трубки. А.с. № 511519 /СССР/, Опубл. в Б.И., 1976, № 15.

УДК681

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БУМАЖНО-КАРТОННОЙ ПРОДУКЦИИ

Письменский П.И., Сальников Ю.А., Новосельская О.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В настоящее время, несмотря на интенсивное развитие цифровой техники, выпуск различных видов бумаги и картона постоянно увеличивается, как в Республике Беларусь, так и в мире. При этом постоянно разрабатываются новые виды бумажно-картонной продукции, которая подвергается испытаниям с применением общепринятых методов и средств, а также разрабатываются новые виды физико-механических испытаний с использованием различного оборудования и средств контроля, которые затем применяются лабораториями на предприятиях и других организациях.

Основной проблемой в нашей стране является отсутствие единой нормативной базы методик проведения физико-механических испытаний бумажно-картонной продукции. При этом производство новых видов продукции

предусматривает проведение испытаний не только стандартными разрушающими методами, но и с использованием новых специализированных методов.

Необходимость создания единой базы, которая будет в себя включать перечень современных средств измерений, а также международных, государственных и отраслевых стандартов на каждый конкретный вид физико-механических испытаний бумажно-картонной продукции, весьма актуальна, так как это позволит сотрудничать со всеми мировыми производителями бумажно-картонной продукции. А также позволит решить основную задачу единства измерений.

В таблице представлена информация о некоторых видах физико-механических испытаниях бумажной продукции.

Виды физико-механических испытаний бумажно-картонной продукции

Тип испытания 1	Стандарт 2	Вид материала 3
Сопротивление продавливанию	ISO 2758; ISO 2759; ГОСТ 13525.8; TAPPI T 403; TAPPI T 807; TAPPI T 810	Писчие и печатные виды бумаги; бумага для гофрирования, гофрокартон, картон и изделия из них
Определение жесткости при сгибании статическими методами	ISO 5628; ISO 11093; ISO 11093-6	Многослойные виды бумаги; гофрокартон, картон и изделия из них; писчие и печатные виды бумаги
Измерение толщины	ISO 534; EN 20534; ГОСТ 27015; ISO 3034; TAPPI T 411	Писчие и печатные виды бумаги; картон и изделия из него; многослойные виды бумаги; гофрокартон и изделия из него
Испытание гофрированных материалов	ISO 7263; TAPPI T 809; TAPPI T 9582; TAPPI T 20682; ГОСТ 7263; ГОСТ 13648.2	Бумага для гофрирования
Определение сопротивления проколу (по PET)	ISO 3036; TAPPI T 803	Картон и изделия из него; гофрокартон и изделия из него
Испытание на продавливание (по LPET)	–	Картон и изделия из него; гофрокартон и изделия из него; писчие и печатные виды бумаги
Определение сопротивления раздиранию (методом Элмендорфа)	ISO 1974; ГОСТ 13525.3; EN 21974; TAPPI T 414	Писчие и печатные виды бумаги; бумага для гофрирования. гофрокартон и изделия из него
Испытание на плоскостное сжатие	ISO 3035; EN 23035; TAPPI T 825; ГОСТ 20681; ГОСТ 20682; ГОСТ 20683	Картон и изделия из него
Определение сопротивления расслаиванию (метод Скотта)	TAPPI 569	Картон и изделия из него; многослойные виды бумаги
Прочность внутренних связей (растяжение по оси z)	TAPPI T 541	Картон и изделия из него
Определение сопротивления торцевому сжатию	EN ISO 3037; TAPPI T 811 ГОСТ 20683	Гофрокартон и изделия из него

Окончание таблицы

1	2	3
Определение коэффициента трения	ISO 15359 ;TAPPI T 549; TAPPI T 816	Писчие и печатные виды бумаги; картон и изделия из него; многослойные виды бумаги
Определение прочности при сжатии по кольцу	ISO 12192; TAPPI T 822; ГОСТ 10711	Бумага для гофрирования
Испытание тары	ISO 12048; EN 22872; TAPPI T 804; ГОСТ 18211	Гофрокартон и изделия из него
Испытание на устойчивость к образованию трещин	DIN 54516	Писчие и печатные виды бумаги; картон и изделия из него
Испытание на штабелирование с использованием динамометра	EN 22874	Гофрокартон и изделия из него
Испытание полосы на сжатие	ISO 9895; TAPPI T826	Бумага для гофрирования
Испытание на водопоглощение (метод Кобба)	ISO 535; TAPPI T 441; EN 20535; ГОСТ 12605	Бумага для гофрирования
Распространение разрыва на кромочных сгибах	ISO 11897	Многослойные виды бумаги
Определение прочности растяжения(Zero span test)	TAPPI T 231; TAPPI T 273	Писчие и печатные виды бумаги
Испытание на растяжение (во влажном состоянии)	ISO 3781; TAPPI T 456	Санитарно гигиенические виды бумаги
Испытание на растяжение (в сухом состоянии)	EN ISO 1924; TAPPI T 494	Писчие и печатные виды бумаги; бумага для гофрирования

В таблице представлены наиболее распространённые виды испытаний, которым подвергаются различные виды бумаги и картона, а также изделия из них. При этом как видно из таблицы подавляющее большинство испытаний производится в соответствии с международными стандартами, однако представлены методы испытаний, которые выполняются в соответствии с TAPPI, DIN, EN.

В настоящее время производители испытательного оборудования тесно сотрудничают с производителями бумаги и картона, а также крупными полиграфическими предприятиями. Это сотрудничество позволяет разрабатывать более совершенные методы испытания продукции и испытательного оборудования. Наиболее известными мировыми марками являются: TMI Group (Testing Machines, Inc.), Testometric, IGT Testing Systems, Konica Minolta, MOCON, Emtec и др. при этом каждый производитель производит узко-специализированное испытательное оборудование.

На современном этапе развития целлюлозно-бумажного производства Республики Беларусь, происходит активная модернизация действующих и строительство новых предприятий, которые часто покупают уникальное оборудование, которое позволяет проводить комплексную оценку показателей качества бумаги или картона, при этом на предприятиях упускается из виду вопрос о наличии в комплекте методики проведения того или иного вида испытаний.

Для минимизации затрат на предприятиях осуществляют подбор оптимальных параметров прове-

дения испытаний в соответствии с особенностью собственного производства и в связи с этим на начальных этапах работы возникают различные трудности, так как при проведении испытаний в аккредитованных лабораториях очень часто результаты не совпадают. Также при покупке нового испытательного оборудования часто возникают трудности с проведением его поверки, так как оно является уникальным для нашей страны.

В связи со всем выше сказанным необходимо проведение тщательного анализа всех существующих методов проведения физико-механических испытаний бумаги и картона с целью разработки общих рекомендаций для отечественных предприятий. Данные рекомендации позволят реализовать принцип единства измерений, а также расширить возможности отечественных предприятий по реализации продукции в ближнем и дальнем зарубежье.

1. Махотина, Л. Г. Современные тенденции в технологии бумаги для печати. / Л.Г. Махотина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 3. – С. 52-55.
2. Технология целлюлозно-бумажного производства: справочные материалы : в 3 т. Т.3. Наилучшие доступные технологии в целлюлозно-бумажной промышленности, ч.3. / Всерос. науч.-исслед. ин-т целлюлоз.-бум. пром-сти; [редкол.: Осипов П. С. (отв. ред.) и др.]. – Санкт-Петербург: Политехника, 2012. – 294 с.
3. <http://www.zwick.ru>
4. <http://www.sigma-micron.ru>

УДК681

ПРИМЕНЕНИЕ ШКАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ В ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ПЕЧАТНЫХ ВИДОВ БУМАГИ

Письменский П.И., Новосельская О.А., Сальников Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Любое измерение или количественное оценивание чего-либо осуществляется, используя соответствующие шкалы. Из всех известных типов шкал: наименований, порядка, интервалов, отношений для оценки качества таких сложных объектов, как бумага и ее печатные свойства, подходят только шкалы интервалов и отношений. Шкала интервалов – порядковая шкала с известными расстояниями между двумя любыми числами на шкале. Нулевая точка шкалы и оценочная единица выбираются произвольно. Пригодна для количественных признаков. Шкала отношений – интервальная шкала с фиксированной нулевой точкой. Отношение любых двух точек шкалы не зависит от оценочной единицы [1].

В полиграфии приняты разновидности шкал интервалов и отношений, которые представляют собой тест-объекты контроля печатания, состоящие из отдельных элементов различного назначения. Сигнальные элементы служат для визуального контроля нарушения нормального протекания процесса печатания, измерительные – для контроля качества печати с помощью приборов, например денситометров [2]. Так для стандартизации офсетного процесса по ISO 12647-2:2013 или ГОСТ Р 54766-2011 служат шкалы Ugra Fogra-MediaWedge V3.0, ECI/bvdm TVI 10 v1, DuPont EuroStandard Cromalin Digital, ОКП-1 – разработана ВНИИ полиграфии. Однако все разработанные тестовые шкалы применяются только на сертифицированных для данных печатающих устройств бумагах и не могут в полной мере охарактеризовать их печатные свойства.

В связи с этим была разработана комплексная тестовая шкала (рисунок 1), которая имеет более высокую чувствительность к изменению свойств поверхности за счет минимального шага контрольных элементов с учетом технологических особенностей изготовления бумаги для печати. Так были введены элементы оперативного контроля разрешающей способности и скольжения (кольцевая мира), выделяющей способности (гильош, а также позитивный и негативный микротекст), красковосприятия и пыления (плашка), деформации бумаги вследствие увлажнения (приводные кресты), контраста печати и растискивания (ступенчатый градиционный переход), контроля равномерности подачи увлажняющего раствора (плавный градиент, плашка).

Дополнительно в тестовую шкалу включили элементы контроля бинарных наложений красок, а также изображение лошади, содержащее трудновоспроизводимые цвета, позволяющие контролировать нарушения в самом печатном процессе.

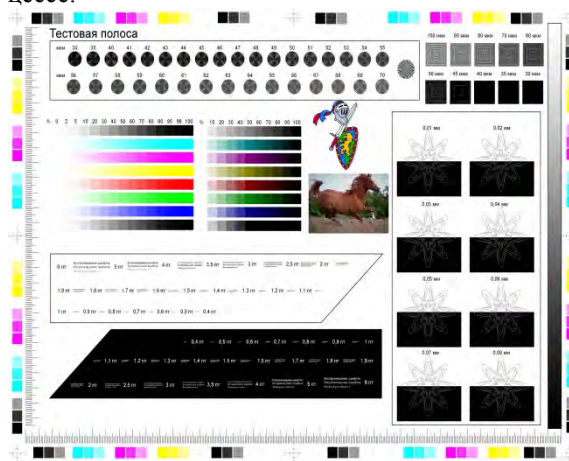


Рисунок 1 – Вид комплексной тестовой шкалы

Для того, чтобы проверить, работает ли эта шкала на бумаге с неизменным и изменяющимся композиционным составом, осуществляли запечатывание стоп бумаги, вырабатываемой по стандартной технологии, и с изменяющимся композиционным составом по волокну, виду наполнителя и типу поверхностной проклейки. Результаты изменения оптической плотности по полям шкалы представлены на рисунке 2 и 3.

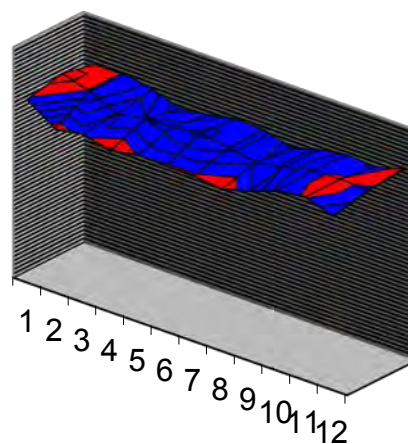


Рисунок 2 – Изменение оптической плотности по полям шкалы для неизменного композиционного состава бумаги a

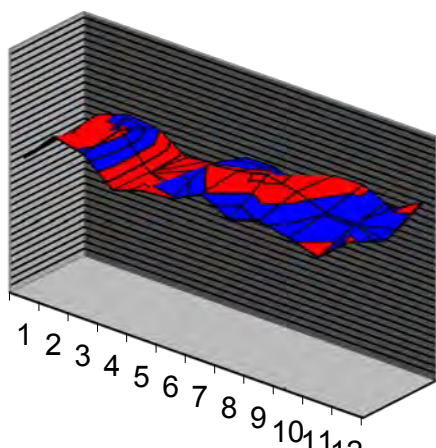


Рисунок 3 – Изменение оптической плотности по полям шкалы для бумаги с изменяющимся композиционным составом

Как видно из рисунков 2 и 3 на полях шкалы заметно увеличение плотности по краям оттиска (красные области) как при печати на стандартной бумаге, так и бумаге с разным композиционным составом. Это объясняется изменением влажности бумаги либо сложностями в запечатывании крайних ее областей. Оттиски с изменяющимся композиционным составом содержат красные области не только в крайних областях, но и в центральной части изображения, что не допустимо для качественной печати и свидетельствует о сильной неоднородности структуры (разброс значений превышает $\pm 0,1$ Б, интервал оптических плотностей составляет 1,10–1,45 Б).

Аналогичным образом были изучены и другие показатели, такие как растискивание, контраст печати, разрешающая и выделяющая способность поверхности бумаги, воспроизводимость шрифтов. Анализ показал, что при воспроизведении комплексной тестовой шкалы на бумаге с изменяющимся композиционным составом разброс показателей увеличивается и их значения снижаются.

В связи с возможностью оценки показателей качества одновременно по нескольким критериям тестовой шкале и было присвоено название комплексной. Для снижения размерности анализа по показателям качества оттисков было принято решение воспользоваться приемом объединения всех критериев в один – на основе расчета обобщенной функции желательности. С этой целью была введена оценочная шкала для каждого из показателей отдельно для бумаги офсетной и газетной, так как требования к качеству у этих видов печатной бумаги различны.

Обработка экспериментальных данных с расчетом обобщенной функции желательности проведена в программе «Решение многокритери-

альных задач», разработанной в УО БГТУ. Расчет велся по формуле [3]:

$$D = \left(\prod_{u=1}^p d_u^{\delta_u} \right)^{\frac{1}{\sum_{u=1}^p \delta_u}},$$

где δ_u – статистический вес (значимость) u -го критерия.

Заданы веса для каждого из показателей с учетом важности для воспроизведения изображений поверхностью бумаги. Максимальный вес 1,0 присвоен показателю оптической плотности, минимальный 0,6 для показателя скольжения. Для негативного изображения шрифтов и выделяющей способности вес уменьшен на 0,05 по сравнению с позитивным, поскольку применяется сравнительно редко.

Расчет обобщенной функции желательности для композиции бумаги с различным видом и содержанием целлюлозы, видом наполнителя и составов для поверхностного проклеивания показал, что наибольшего значения (0,4–0,5) функция достигает при применении 80% сульфатной и 20% сульфитной целлюлозы, наполнении микрокальцитом, модифицированным катионным крахмалом, и поверхностной проклейкой на основе композиций крахмала и гидрофобизирующего полимера.

Таким образом применение комплексной тестовой шкалы позволяет не только оценить печатные свойства бумаги. Расчет обобщенной функции желательности снижает размерность задачи прогнозирования печатных свойств бумаги. Результаты анализа позволяют направленно повысить свойства поверхности с получением бумаги с улучшенными показателями качества печатного изображения: оптической плотности оттиска, однородности печати, воспроизводимости шрифтов, разрешающей и выделяющей способности, величины растискивания и скольжения.

1. Фомин, В. Н. Квалиметрия. Управление качеством. / В. Н. Фомин. — М.: ЭКМОС, 2008. — С. 14.
2. Handbook of print media: technologies and production methods. / Н. Kipphan. — Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokio: Springer, 2001. — 1207 p.
3. Колесников, В.Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем: учеб. пособие. / В.Л. Колесников, И.М. Жарский, П.П. Урбанович. — Минск: БГТУ, 2004. — 532 с.

УДК 543.424.4

НЕПРЕРЫВНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ И ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Проценко С.В.¹, Воропай Е.С.¹, Белкин В.Г.²

¹Белорусский государственный университет

²Общество с ограниченной ответственностью «Аквар-систем»

Минск, Республика Беларусь

Введение

Современный технологический процесс представляет собой комплекс различных измерительных систем, работающих непрерывно, информация от которых используется для повышения качества выпускаемой продукции. Влажность является одной из важнейших характеристик при производстве сыпучих и порошкообразных материалов. Привычные лабораторные методы измерения влажности в силу длительности проведения анализа не подходят для решения поставленной задачи и используются только для проведения контрольных измерений. Выходом из сложившейся ситуации является использование информации из спектров диффузного отражения о величине поглощения воды, что позволяет использовать спектроскопию диффузного отражения для построения систем, работающих непрерывно в технологическом процессе для измерения влажности сыпучих и порошкообразных материалов [1].

Кафедра лазерной физики и спектроскопии БГУ совместно с ООО «Аквар-систем» в последние годы осуществляет работы по разработке и проведению испытаний измерителей влажности, работающих по принципу приема отраженного инфракрасного излучения [1, 2, 3].

Определение влажности по спектрам диффузного отражения

Для определения влажности сыпучих и порошкообразных материалов по спектрам диффузного отражения в инфракрасной области спектра используют две полосы поглощения воды на длине волны 1445 нм и 1934 нм соответственно. Следует отметить, что получаемый спектр диффузного отражения на указанных длинах волн содержит информацию не только о поглощении воды, но и о других компонентах входящих в состав рассматриваемого материала [1]. В некоторых случаях данный эффект усложняет определение влажности и требуется предварительная математическая обработка спектра диффузного отражения.

Измерение влажности торфа

Непрерывное измерение влажности торфа в технологическом процессе позволяет регулировать мощности сушильных установок, тем самым оптимизируя энергозатраты, а также осуществ-

лять контроль готовой продукции, уменьшая тем самым количество бракованной продукции.

Спектры диффузного отражения торфа в диапазоне 1000-2700 нм при различных влажностях представлен на рисунке 1. На рисунке 2 приводятся градуировочные уравнения на полосах поглощения 1445 и 1934 нм соответственно [2].

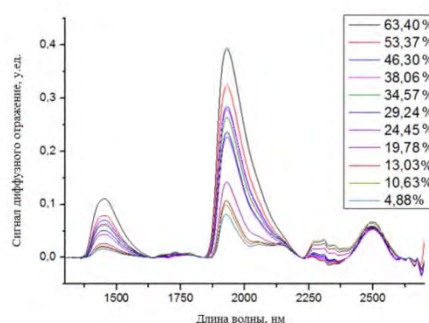


Рис. 1 – Спектр диффузного отражения торфа в диапазоне влажности 4-64%

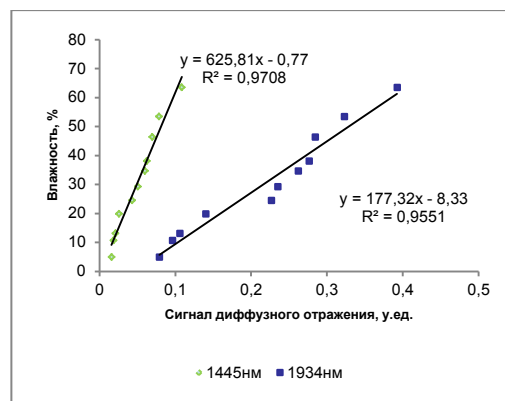


Рис. 2 – Градуировочные уравнения для определения влажности торфа на полосах поглощения 1445 и 1934 нм

Измерение влажности кормовых сельскохозяйственных культур

Важность непрерывного определения влажности кормовых сельскохозяйственных культур во время их заготовки объясняется необходимостью корректировки объемов вносимого консерванта, предотвращающего распад питательных веществ в период силосования.

Спектры диффузного отражения кормовой кукурузы в диапазоне 1000-2700 нм при различных влажностях представлен на рисунке 3. На

рисунке 4 приводятся градуировочные уравнения на полосах поглощения 1445 нм и 1934 нм соответственно [1, 3].

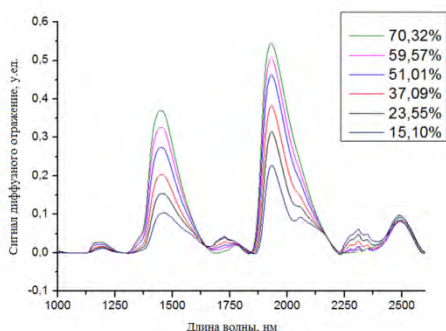


Рис. 3 – Спектр диффузного отражения кормовой кукурузы в диапазоне влажности 15-71%

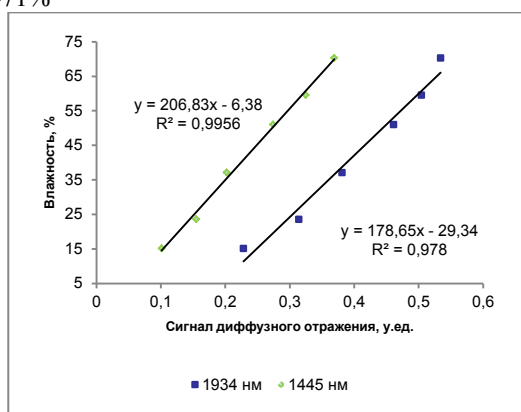


Рис. 4 – Градуировочные уравнения для определения влажности кормовой кукурузы на полосах поглощения 1445 и 1934 нм

Построенные градуировочные уравнения для торфа и кормовой кукурузы подтверждают возможность использования спектров диффузного

отражения для определения влажности без предварительной математической обработки. Также наблюдается увеличение коэффициента детерминации при измерении на длине волны 1445 нм относительно длины волны 1934 нм.

Заключение

Проведены исследования спектров диффузного отражения торфа и кормовой кукурузы в диапазоне длин волн 1000-2700 нм. Для каждого материала построены градуировочные уравнения для полосы поглощения 1445 нм и 1934 нм. Результаты исследований могут быть использованы для разработки и последующего внедрения измерителей, работающих непрерывно по спектрам диффузного отражения.

Список литературы

1. Влияние влажности зеленой массы на ее спектры диффузного отражения в ближней инфракрасной области / В.Г. Белкин, С.В. Проценко //Вестник БГУ, серия1: Физ. Мат. Информ. 2014. №3. С.22-25
2. Анализ спектров диффузного отражения торфа / Е.С. Воропай, В.Г. Белкин, С.В. Проценко, К.В. Говорун, Е.А. Колова //Вестник БГУ, серия1: Физ. Мат. Информ. 2016. №1. С.16-20
3. Проценко С.В. Разработка макета инфракрасного датчика влажности зеленой массы / С.В. Проценко, В.Г. Белкин // Физика конденсированного состояния: материалы XXIV международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 21 апреля 2016 г., ГрГУ им Я. Купалы – С. 174-176.

УДК 542.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРА «ПЕРСОНАЛ» ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Савкова Е.Н., Астапчик О.С., Жиженко Е.О.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время особую актуальность приобретают вопросы качества поверхностных вод, поскольку их загрязнение приводит к дефициту воды даже в регионах, в достаточной мере обеспеченных водными ресурсами, которые представлены водоемами, водотоками и родниками [1]. С развитием системы мониторинга поверхностных вод существует необходимость в разработке рекомендаций по контролю качества гидробиологических проб поверхностных вод. Наиболее "проблемным" направлением исследова-

ний представляется разработка методов определения параметров достоверности и надежности результатов в качественном анализе гидробиологических показателей поверхностных вод, их учета при проведении контроля качества продукции, а также принятия решения о классе качества водоема, что подтверждает актуальность и важность выбранной тематики доклада. Во всем мире используют три методики определения индексов качества водоемов, но в рамках Национальной системы мониторинга окружаю-

щей среды Республики Беларусь используют методику определения индекса сапробности, согласно которой водоемы распределяют на 5 классов качества воды с определенным цветовым кодом [2]. Определение классов качества осуществляется путем сравнения величин гидробиологических показателей по сообществам фитопланктона, определенных для исследуемого водоема с их заданными величинами [3]. Сообщества фитопланктона подразделяются на 5 групп и 1000 видов. Если учесть, что в одной пробе могут наблюдаться все группы, то становится ясно, что процесс действительно трудоемкий, так как каждый раз сопоставлять изображения, наблюдаемое в окуляре микроскопа, с изображениями из определителя достаточно затруднительно. А это значит, что необходимо перейти от визуального контроля к другой измерительной операции, которая позволила бы исключить этот фактор. Учитывая особенности регистрационного контроля, основанного на идентификации, а следовательно на шкале наименований была разработана документированная процедура планирования и организации внутрилабораторного контроля текущих факторов, влияющих на результат в терминологии СТБ ИСО МЭК 17025 применимо к фактору «Персонал», включающая четыре этапа и предполагающая создание и утверждение в качестве стандартного образца предприятия (СОП) вторичных образцовых веществ – проб воды, характеризующихся на предварительном этапе различными классами качества водоемов, проведение и обработку результатов.

Согласно СТБ ИСО/МЭК 17025 руководство лаборатории должно гарантировать компетентность всех сотрудников, которые работают на специальном оборудовании, проводят испытания, оценивают результаты, подписывают протоколы испытаний. Должна быть проведена оценка квалификации персонала, выполняющего специальные задачи (учитывается образование, подготовка, опыт работы и (или) продемонстрированное мастерство). Персонал, ответственный за заключения специалистов и разъяснения результатов, включенные в протоколы испытаний, кроме соответствующих квалификации, подготовки, опыта работы и удовлетворительных знаний по проводимым испытаниям должен также обладать: необходимыми знаниями технологии, применяемой для изготовления испытываемых изделий, материалов и знаниями о дефектах или ухудшении характеристик, которые могут возникать во время, или в процессе эксплуатации; знаниями требований, выраженных в законодательных актах и стандартах; пониманием значимости обнаруженных несоответствий требованиям, установленным для изделий, материалов о которых идет речь. В этой связи была разработана

документированная процедура внутрилабораторного контроля, основанная на двухэтапной методике. На первом этапе мы оцениваем всех операторов и дисперсию между ними, т.е. в качестве образцов были приняты 3 пробы с известными (аттестованными) характеристиками. Эксперимент заключался в том, что каждую пробу исследовали и идентифицировали 3 оператора, регистрируя значения. Операторам предлагалось определить линейные размеры микроорганизмов, расписать оценки прецизионности и сравнить с критериями, установленными в отделе для выявления критичного оператора. На втором этапе мы предлагаем критичному оператору выполнить всю процедуру исследований в лаборатории, а обработка результатов учитывается с весовыми коэффициентами (устанавливают в лаборатории).

Оценка фактора влияния "Персонал" проходит в несколько шагов, которые представлены в таблице 1

Таблица 1– Шаги оценки фактора влияния "Персонал"

Этап (уровень) оценки	Определяемый показатель
1 Качественная оценка (визуальный, регистрационный контроль)	Констатация наличия/отсутствия признака (микроорганизмов в пробе) ("да"/ "нет")
2 Количественная оценка (измерительный контроль) 2.1 Измерение размеров объекта	Линейные размеры микроорганизмов
3 Качественная оценка (анализ) 3.1 Идентификация и классификация микроорганизмов	Определение вида фитопланктона: - диатомовые; - зеленые; - синезеленые; - пиррофитовые.
4 Комплексная оценка (анализ)	Оценка фактора "Персонал" по шкале: - "очень хорошо"; - "хорошо"; - "допустимо"; - "плохо"; - "очень плохо".

Для каждого образца установлен уровень приемлемости Q , т.е. минимальное количество обнаруженных в образце микроорганизмов, при котором оператор считается компетентным. Уровень приемлемости задается самой лабораторией. Количество объектов обнаруженных в СОП – m_j . Для каждого образца находится среднее значение \bar{m} . Критерий приемлемости определяется по формуле: $m_j \geq Q_j$,

где m_j – количество правильно классифицированных микроорганизмов в СОП; Q_j – уровень приемлемости, устанавливаемый для каждого СОП.

При проведении первого уровня контроля для оценки операторов пользуются шкалой, градации в которых определяются в зависимости от потребностей лаборатории.

Каждый последующий шаг оценки оператора строится по схожей схеме, сверяя данные полученные оператором и заранее известные показатели заложенные в СОП.

Для получения комплексной оценки фактора "Персонал" необходимо провести комплексирование полученных ранее показателей по процентам. Расчёт выполнять по следующей формуле

$$\delta = k_1 A_1 + k_2 A_{x,y} + k_3 A_{x,y,z} + k_4 A_h,$$

где $k_1 \dots k_4$ – коэффициенты весомости;

$A_1 \dots A_h$ – оценка показателя в процентах.

При этом для оценки операторов пользуются шкалой, градации в которых определяются в зависимости от потребностей лаборатории. Предлагаемая шкала представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Шкала оценивания оператора по комплексному показателю.

Градации	Комплексная оценка	%
Очень хорошо	$a \leq \delta \leq b$	100
Хорошо	$b \leq \delta \leq c$	80
Допустимо	$c \leq \delta \leq Q$	60
Плохо	$Q \leq \delta \leq d$	40
Очень плохо	$d \leq \delta \leq e$	20

Показатели a, b, c, d, e, Q – определяются лабораторией. Если m_j меньше Q_j , то вводят дополнительную проверку операторов.

При дополнительной проверке операторов необходимо выяснить, какой из операторов вносит большой вклад в изменчивость результатов. При дополнительной проверке операторов вводится дополнительный уровень, на котором проверяется качество выполненных операций контроля и соответствие их требованиям нормативной документации на контроль.

Оценку фактора влияния "Персонал" можно также проводить по правильности и степени заполнения технологической карты и заключения по контролю. При таком контроле каждое поле в технологической карте имеет свою значимость. Для конечной оценки количество ошибок в каждом поле умножается на коэффициент значимости. Показатели по каждому полю складываются, а комплексный показатель оценивается по шкале, градации которой задаёт сама лаборатория.

1. Водный кодекс Республики Беларусь // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. — 2014. — № 193, 2/2147.
2. Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г., № 13 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2015. – 25 апреля (№ 8/29808).
3. Лурье, Ю.Ю. Унифицированные методы исследования качества вод / Ю.Ю. Лурье // Москва. – 1977. – № 1-3. – С. 16-17.

УДК: 535.3

СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИИ

Савкова Е.Н., Карпиевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время цифровая обработка и последующее распознавание изображений – одно из интенсивно развивающихся направлений научных исследований. Так колориметрия высокого разрешения представляет собой методологию определения цветовых характеристик объектов на основе анализа их цифровых изображений. Поэтому для получения достоверных результатов необходимо учитывать все операции преобразования данных в информационном канале: префильтрация, дискретизация, квантование, кодирование, декодирование, постфильтрация, каждая из которых одновременно является

источником получения информации и источником ее потерь.

Дискретизация и квантование. Для получения цифрового сигнала из непрерывного необходимо произвести дискретизацию по времени и квантование по амплитуде. В результате этих операций возникают потери информации, характеризующие отличие исходного изображения от восстановленного. Для случая дискретизации изображений применима теорема Котельникова [1], которая позволяет осуществить дискретизацию и восстановить изображение без потерь. Для цифровых изображений важнейшей операцией,

определяющей визуальную избыточность, является квантование изображения по яркости. Квантование заменяет множество непрерывных входных значений яркости последовательностью дискретных значений, каждое из которых присваивается группе близких к нему значений яркости. Обычно шаг квантования постоянен – равномерное квантование. Чем больше шаг, тем меньше энтропия получаемого изображения [2].

В системах цифровой обработки изображений стремятся уменьшить число уровней и порогов квантования, так как от их количества зависит объем информации, необходимый для кодирования изображения. Однако при относительно небольшом числе уровней на квантованном изображении возможно появление ложных контуров. Они возникают вследствие скачкообразного изменения яркости проквантованного изображения и особенно заметны на пологих участках ее изменения. Существующие

устройства осуществляют обычно равномерное квантование сигналов [1].

Алгоритмы квантования. Вопросы квантования на текущий момент достаточно хорошо проработаны международными организациями по стандартизации кодирования видео и изображений:

- ITU-T – Группа экспертов кодирования видео (VCEG) - Телекоммуникационный сектор стандартизации (ITU-T, организация ООН, ранее МККТТ - CCITT), Исследовательская группа 16, Вопрос 6 (Study Group 16, Question 6);

- ISO/IEC - Группа экспертов подвижных изображений (MPEG), Объединенный технический комитет 1, Подкомиссия 29, Рабочая группа 11.

Всего на сегодняшний день разработано более 130 НД и ТНПА, касающихся обработки цифровых изображений (подвижных и неподвижных). Основные алгоритмы квантования представлены на рисунке 1 [3].

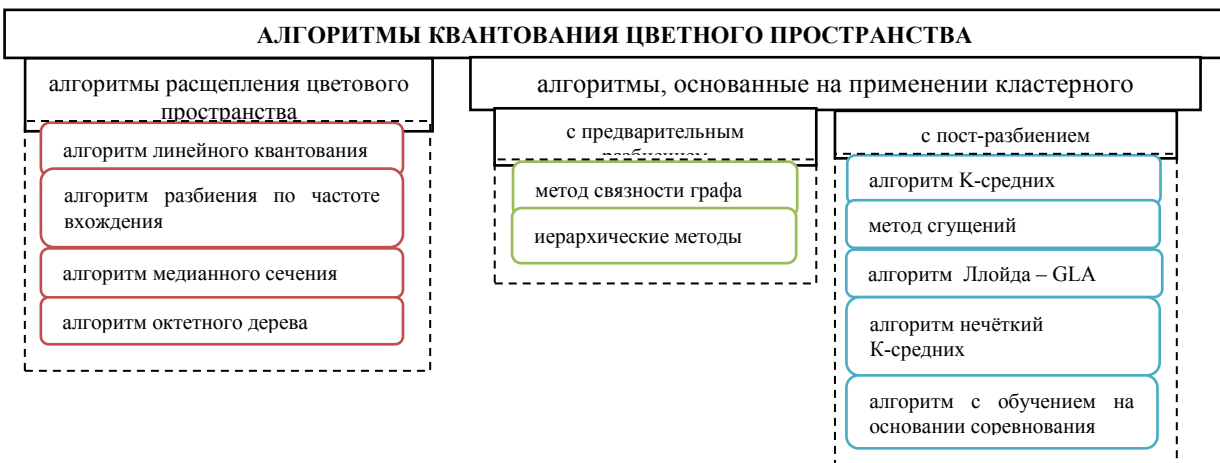


Рисунок 1 – Алгоритмы квантования цветного пространства

Во всех данных алгоритмах задается определенное количество уровней квантования. Проблему задания числа уровней квантования решают несколькими способами: 1) заданием числа уровней квантования равным 256 для представления изображения в палитровом формате; 2) определением числа уровней квантования пороговым способом, проводя экспериментальный подбор пороговых значений на анализе определенных классов изображений.

Взаимосвязь информационной энтропии и неопределенности. Для объективной оценки потерь, будем меру количества информации – энтропию H . Энтропийный интервал неопределенности охватывает ту часть распределения, в которой сосредоточена основная часть возможных значений случайной погрешности, в то время как некоторая их доля остается за границами этого интервала. Поэтому для любого рас-

пределения может быть указано такое значение доверительной вероятности, при котором энтропийное и доверительное значения погрешности совпадают [4]. Формальным определением энтропийного значения случайной величины является соотношение:

$$H(X/X_N) = \ln(2\Delta) \quad (1)$$

где $H(X/X_N)$ – полная остаточная энтропия, бит; X, X_N - текущие значения измеряемой величины и результата; Δ - погрешность, бит.

Отсюда энтропийный интервал погрешности: $d = 2\Delta = e^{H(X/X_N)}$, и $\Delta_j = \frac{1}{2} e^{H(X/X_N)}$.

Представленные выражения были расширены и адаптированы к понятию «неопределенность». Взаимосвязь энтропии и неопределенности представлена на рисунке 2.

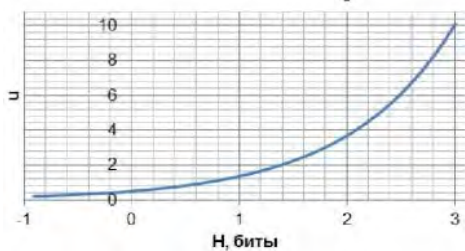


Рисунок 2 – Взаимосвязь энтропии и неопределенности

Взаимосвязь между энтропией и неопределенностью имеет вид:

$$H = 2 \ln U, U(H) = e^H / 2 \quad (2)$$

где H – полная остаточная энтропия, бит; $U(H)$ – энтропийный интервал неопределенности, бит.

На основе данных распределений авторами построены зависимости, отражающие взаимосвязь информационной энтропии и неопределенности (рисунок 3). Установлено, что наиболее точным является равномерное распределение.

Применение теории информации с использованием энтропийного подхода является общим принципом, способом описания и оценки неопределенности результата измерений, пригодным для использования в равной степени как в метрических, так и неметрических шкалах.

1 Ежова К.В. Моделирование и обработка изображений. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2011. – 93 с.

2. Немировский В.Б., Стоянов А.К. Предобработка изображений одномерными точечными отображениями. Известия Томского политехнического университета № 5 / том 319 / 2011.

3 Арбузников Е.А., Загребнюк В.И., Кумыш В.Ю. Метод адаптивного определения количества уровней квантования цифровых изображений, основанный на анализе градаций яркости. Восточно-Европейский журнал передовых технологий № 2 (42) / том 6 / 2009.

4 Информационное описание измерения. Режим доступа: <http://it.fitib.altstu.ru/neud/toiit/index.php?doc=teor&module=2>. Дата доступа 18.09.2016.

УДК 535.3

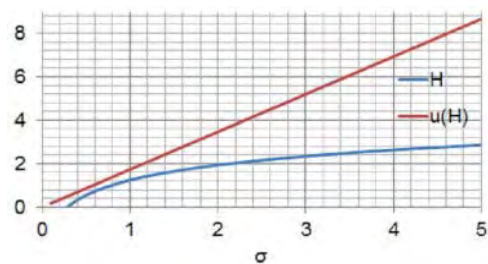
ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕТОВОЗВРАЩЕНИЯ

Савкова Е.Н., Сернов С.П., Клевитская Е.Д.

Белорусский национальный технический университет

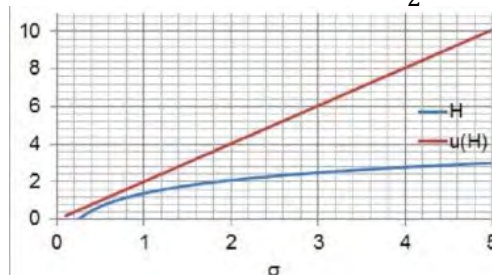
Стремительное увеличение парка транспортных средств в Республике Беларусь обуславливает необходимость развития методов обеспечения дорожной безопасности и пропускной спо-

собности дорог. Светотехническое оборудование элементов транспортных средств и дорожных знаков, а также иные дорожные полотна следует



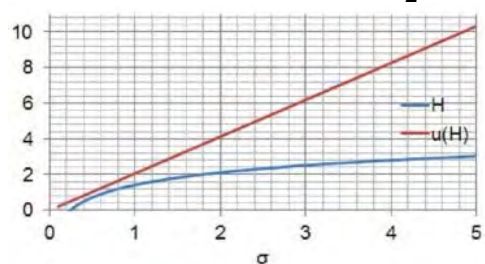
Равномерный закон:

$$H = \ln(2\sqrt{3}\sigma), U(H) = e^{2\sqrt{3}\sigma} / 2$$



Треугольный закон:

$$H = \ln(\sqrt{6e}\sigma), U(H) = e^{\sqrt{6e}\sigma} / 2$$



Нормальный закон:

$$H = \ln(\sqrt{2\pi e}\sigma), U(H) = e^{\sqrt{2\pi e}\sigma} / 2$$

Рисунок 3 – Зависимость энтропии и неопределенности от СКО

сертифицировать на соответствие правилам ЕЭК ООН и др.

В настоящее время разработано и внесено в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь около 500 типов ГСО, однако, требуемые для проведения испытаний типы СО отсутствуют и не находятся в стадии разработки у организаций-разработчиков.

На базе аккредитованного Центра испытаний светотехнического оборудования автотранспортных средств научно-исследовательской лаборатории оптико-электронного приборостроения научно-технической части (далее НИР ЦИСО) созданы три единичных экземпляра стандартных образцов разного цвета и структур, необходимых для построения градуировочных характеристик в требуемом диапазоне измерений:

№1 – образец желтого цвета «гладкой» структуры;

№2 – образец белого цвета «гладкой» структуры;

№3 – образец белого цвета «сотовой» структуры.

В качестве отдельного СО выступает металлическая пластина с наклеенной светоотражающей плёнкой алмазного типа. Данные материалы были выбраны благодаря способности долговременно сохранять свои фотометрические характеристики неизменными.

Прослеживаемость до Национального эталона единицы силы света и освещенности НЭ РБ 8-02 с помощью данного комплекта СО предполагается обеспечивать посредством осуществления калибровки установки Гонио-рефлектометра «Gonio 9210», используемой для получения результатов измерений нормируемых параметров коэффициента силы света (далее КСС) и коэффициента светоотражения (далее КС) светотехнического оборудования автотранспортных средств в рамках испытаний.

На данном этапе работы решается вопрос о статусе комплекта СО и дальнейшей разработки и подготовки документов для его признания национальными органами Республики Беларусь. Необходимо создание стандартного образца (далее СО) государственного уровня для обеспечения метрологической прослеживаемости результатов измерений метрологического контроля, проводимых в рамках испытаний светотехнического оборудования на соответствие требованиям законодательства Республики Беларусь в аккредитованном испытательном центре.

В соответствии с ТКП 8.005 в зависимости от сертифицируемого параметра выделяют СО состава и СО свойств. По уровню признания (утверждения) и области применения СО подразделяют на следующие категории: межгосударственные стандартные образцы (МСО); стандартные образцы КООМЕТ (СО КООМЕТ);

государственные стандартные образцы (ГСО); стандартные образцы организаций (СОП). Был выполнен сравнительный анализ процедур признания СО и построены маршрутные карты утверждения в Республике Беларусь. На организационном уровне основными этапами являются:

1) разработка и согласование ТЗ;

2) проведение исследований и экспериментальных работ по изготовлению СО;

3) разработка технической и нормативной документации на СО, ее метрологическая экспертиза;

4) утверждение СО, его регистрация.

Сертифицируемые параметры разработанных СО - коэффициент силы света, мкд/лк; и коэффициент светоотражения, кд/(лк·м²).

Коэффициент силы света, (R) – частное от деления силы света, отраженного в рассматриваемом направлении, на освещенность светоотражающего приспособления при данных угла α освещения, расхождения и вращения.

$$R = \frac{I}{E}, \quad (1)$$

где I – сила света, кд; E – освещенность.

Коэффициент светоотражения (R') – частное от деления коэффициента силы света R на плоскости светоотражающей поверхности на ее площадь.

$$R' = \frac{I}{E \cdot A}, \quad (2)$$

где I – сила света, кд; E – освещенность, лк; A – площадь освещенной поверхности, м².

Данные параметры являются показателями качества светотехнического оборудования автотранспортных средств в соответствии с Правилами ЕЭК ООН, устанавливающими требования по безопасности, техническому уровню к транспортным средствами предметам их оборудования и частям.

Предполагается использовать СО в сфере законодательной метрологии, а именно при получении результатов измерений при осуществлении метрологического контроля и проведении испытаний и контроля за соответствием продукции требованиям законодательства Республики Беларусь. При этом основными нормативными документами являются ТКП 8.005, ТКП 8.014, СТБ ISO Guide 35, СТБ ЕН 13356, СТБ 1300, СТБ 1140, СТБ 1231, СТБ 1538, ГОСТ 8769, ISO/IEC Guide 99, Правила ЕЭК ООН № 104.

Использование комплекта СО позволяет измерять достаточно широкий диапазон значений КСС и КС обусловленный тем, что параметры светотехнического оборудования варьируются в разных по величине значениях фотометрических характеристик.

Сертифицируемые параметры ГСО приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты НИР ЦИСО

Наименование параметра, единица измерений	№ экз.	Сертифицируемое значение	Погрешность, Δ_{ref}	Расширенная неопределенность, U_{ref}		Стабильность, Δ_{st}	Неопределенность однородности, u_{un}	
Коэффициент силы света	1	445	-	3,9	0,88 %	5,4	5,4	1,2 %
	2	485	-	3,7	0,76 %	2,6	2,4	0,50 %
	3	2091	-	2,1	0,11 %	3,9	0,22	0,01 %
Коэффициент светоотражения	1	75	-	0,66	0,88 %	0,91	-	-
	2	82	-	0,62	0,76 %	0,44	-	-
	3	352	-	0,36	0,11 %	0,66	-	-

В рамках разработки ГСО планируется подготовить следующую техническую документацию (в соответствии с ТКП 8.005):

- техническое задание;
- программу сертификации ГСО;
- отчет по сертификации ГСО;
- сертификат ГСО;
- инструкцию по применению ГСО;
- этикетку;
- проект описания типа ГСО;
- методику калибровки Гонио-рефлектометра «Gonio 9210» с расчетом неопределенности;
- программу проведения научно-исследовательских и экспериментальных работ по изготовлению ГСО.

Требования к метрологическому обеспечению включают методику исследования однородности материала ГСО, а также методику исследования стабильности материала ГСО.

Неопределенность однородности определяется как стандартное отклонение каждого экземпляра по формуле:

$$u_{k\ un.} = s_{kun} = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^{f=4} (R_{pk} - \bar{R}_k)^2}{f-1}}, \quad (3)$$

где R_{kp} – коэффициент силы света, мкд/лк;
 \bar{R}_k – среднее арифметическое значение коэффициента силы света экземпляра ГСО мкд/лк;
 k – идентификатор экземпляра ГСО;
 p – идентификатор угла поворота ГСО;
 f – число углов поворота ГСО.

Образец считается однородным, если значение неопределенности однородности не превышает 10 %.

Значение стабильности определяется следующим образом

$$\Delta_{st.k}(R) = |\bar{R}_k - R_{ref.k}|, \quad (4)$$

$$\Delta_{st.k}(R') = |\bar{R}'_k - R'_{ref.k}|, \quad (5)$$

где $\Delta_{st.k}(R)$, $\Delta_{st.k}(R')$ – стабильность материала k -го экземпляра ГСО, выраженная смещением среднего арифметического значения исследуемого параметра (КСС и КС соответственно) от установленного сертифицированного значения параметра ГСО, мкд/лк или кд/(лк·м²) соответственно;

\bar{R}_k , \bar{R}'_k – средние арифметические значения исследуемых параметров (КСС и КС соответственно), мкд/лк или кд/(лк·м²), определяются как

$$\bar{R}_{ind.k} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ind.k}}{n}, \quad (6)$$

где j – наблюдаемое значение в серии; n – число наблюдений в серии; $R_{ref.k}$, $R'_{ref.k}$ – сертифицированные значения параметров ГСО, мкд/лк или кд/(лк·м²) соответственно.

Образец считается стабильным, если значения стабильности материалов k -го экземпляра ГСО, рассчитанные по формулам 2 или 3 за рассматриваемый период не превышает 10 % от значения, полученного за предыдущий период.

Таким образом, признание СО на национальном уровне позволит лаборатории осуществлять метрологический контроль с наименьшими затратами.

УДК 535.3

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВА КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ

Савкова Е.Н.¹, Сутковский М.², Жиженко Е.О.¹

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Варшавский технический университет

Варшава, Польша

Для исследований свойств объектов используют пять основных видов шкал: наименований, порядка, интервальную, отношений и абсолютную. В таком перечислении отражено, что каж-

дая последующая шкала «поглощает» в себя предыдущую, наращивая новые свойства. Наилучшие возможности с точки зрения реализации измерений предоставляют метрические шкалы –

интервалов и отношений. Согласно [1] измерения не применяют в отношении качественных свойств. Качественное свойство - свойство явления, тела или вещества, которое не может быть выражено размером. Качественное свойство имеет значение, которое может быть выражено словами, буквенно-числовым кодом или другим способом [2]. Шкалы наименований широко используются в любых операциях по идентификации, классификации объектов и их совокупностей. Процесс идентификации качественного свойства объекта по шкале наименований может занимать много времени, как, например, в микробиологическом анализе при идентификации микроорганизмов зоо- и фитопланктона в пробе воды. Сообщества фитопланктона подразделяются на 5 групп и 1000 видов. Если учесть, что в одной пробе могут наблюдаться все группы, то становится ясно, что процесс действительно трудоемкий, так как каждый раз сопоставлять изображение, наблюдаемое в окуляре микроскопа, с изображениями из определителя достаточно затруднительно. Операции идентификации осуществляются визуально с помощью специальных, воспроизведенных на бумажных носителях атласов, что вносит в достоверность результатов исследований существенную субъективную составляющую, связанную с утомляемостью оператора. Аналогичные операции выполняются в технологиях идентификации объектов при цветовом визуальном уравнивании, например, в полиграфии и лакокрасочном производстве. Несмотря на то, что в данных областях часто свойству приписывается некий числовой код, «значение качественного свойства» не следует путать с номинальным значением величины [3].

В этой связи эффективным средством исследований становится применение технологий обработки цифровых изображений объектов, основанных на распознавании образов, что позволяет «отстроиться» от субъективной составляющей, связанной с психофизическими восприятиями и утомляемостью.

Распознавание может проходить по трем методам: шаблонный (эталонный), структурный и признаковый. В случае использования шаблонного метода просто необходимо ввести некоторый допуск на расхождение между объектом и шаблоном. Можно вычислить меру соответствия между распознаваемым изображением и эталоном, хранящимся в памяти компьютера. Такой мерой может быть, например, доля общей площади изображения и эталона при наложении их друг на друга. При использовании структурного метода распознаваемый объект описывается как граф, узлами которого являются элементы входного объекта, а дугами - пространственные отношения между ними. Любая система распознавания и идентификации образов не может дать

точного ответа. Вместо этого она выдает вероятность, с которой сравниваемые величины совпадают. Данная вероятность сравнивается с пороговым значением, в результате чего определяется, следует ли считать ответ положительным или отрицательным. В связи с этим системы можно сравнивать по следующим параметрам FRR , FAR , ATV . Математически это выражается по следующей формуле 1

$$ATV = (1 - FRR) \cdot (1 - FAR), \quad (1)$$

где FRR – система не распознает зарегистрированный объект;

FAR – система ошибочно распознает незарегистрированный объект;

ATV – вероятность, с которой система может успешно проверить объект.

Основная концепция данной методики заключается в том, что объект исследований – пробу по сообществам фитопланктона регистрируют с помощью цифровой камеры, встроенной в микроскоп и на основе обработки полученного изображения осуществляют идентификацию микроорганизмов при использовании шкалы наименований и абсолютной шкалы. Вследствие чего мы получаем трудоемкий процесс с повышенной вероятностью возникновения ошибок, так как количество возможных видов фитопланктона достигает 1000, а количество возможных комбинаций $P_n = n!$ стремится к бесконечности. Количество идентификационных признаков по размеру и по форме зависит от измерительной задачи. Мы их задали квантованием из принципа здравого смысла.

Точность и достоверность информации о состоянии исследуемого объекта, получаемой на основе обработки его цифрового изображения, могут быть оценены и повышены за счет использования количественной меры информации – информационной энтропии, поскольку основные элементы измерительной системы – это измерительные устройства, осуществляющие обработку информации [4].

При идентификации видов фитопланктона энтропию можно рассматривать как меру уменьшения неопределенности по формуле 2

$$I = H_0 - H, \quad (2)$$

где H_0 – априорная энтропия до идентификации видов фитопланктона;

H – энтропия после идентификации.

Энтропия после идентификации определяется по формуле 3

$$H = \sum_{i=1}^n H_i, \quad (3)$$

где H_i – энтропия на i -м уровне идентификации.

Важно на предварительном этапе установить определенную последовательность, которая позволяет упорядочить шкалу наименований. На рисунке 1 опираясь на опыт Манселла и других ученых, графически представлена упорядоченная шкала наименований применительно к пробе

фитопланктона, включающая идентификацию микроорганизмов по цвету, размеру, форме и уровню организации.

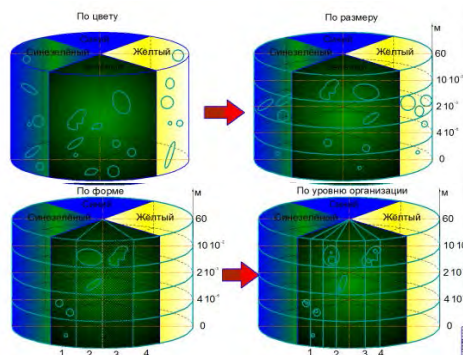


Рисунок 1 – Упорядоченная шкала наименований по сообществам фитопланктона

Масштабирование при использовании интерполяции нулевого порядка не приводит к каким-либо дополнительным его искажениям, видимое же снижение качества всецело обусловлено изменившимися условиями наблюдения, при которых ограничения со стороны остроты зрения оказались ослабленными. Этот же результат будет иметь место, если увеличение изображения осуществить оптическим способом. В целях ослабления искажений такого типа были разработаны более совершенные методы интерполяции изображений. При выделении объектов необходимо исключить влияния шума и точно выделить контуры. Для этого возможно применение детектора границ Канни [4].

На этом шаге алгоритма полученная структура связей используется для пересчета средних уровней яркости на этот раз с использованием только связанных на самом низком уровне и продолжается по всем уровням пирамиды вверх [4].

Все системы идентификации работают только по двум сценариям "1:N" и "1:1". Однако, учитывая специфику данной области появляется иная система "N:N", это связано с тем, что на цифровом изображении находится большое количество объектов, каждый из которых должен быть идентифицирован. Но реализовать данную методику можно только при переходе к стандартной системе "1:N", для этого необходимо выделить все объекты и выполнять их идентификацию в отдельности. Выполнить этот переход возможно, при комплексном использовании шаблонного и признакового метода распознавания образа. На первом этапе будет реализовываться признаковый метод, путем применения 4-х мерного пространства признаков (цвет, размер, форма, уровень организации). А затем, значительно сократив число возможных вариантов, применим шаблонный метод. Выполнение всех этапов идентификации позволяет классифицировать организмы в пробе на группы фитопланктона.

1 Об установлении нормативов качества воды поверхностных водных объектов: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30 марта 2015 г., № 13 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2015. – 25 апреля (№ 8/29808).

2 Красильников, Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений / Н.Н. Красильников // БХВ-Петербург. – 2011. – № 2. – С. 14-432.

3 Кудряшов, Б.Д. Теория информации: учебник для вузов / Б.Д. Кудряшов // Питер. – 2009. – С. 320.

4 Ясницкий, Л.Н. Введение в искусственный интеллект / Л.Н. Ясницкий // Академия. – №1-2. – С. 13-465

УДК 006.063:621.317.725(045)(476)

КАЛИБРОВКА ВЫСОКОТОЧНЫХ КАЛИБРАТОРОВ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕНИЯ – ВОЛЬТА № НЭ РБ 10-02

Сентемова Д. В., Казакова Е.А.

Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

Не для кого не секрет, что БелГИМ обладает большой эталонной базой и большим спектром проводимых работ по метрологическому обеспечению. Для того чтобы белорусским предприятиям оставаться на международной арене лидерами по конкурентоспособности продукции приходится соответствовать международным стандартам, а, следовательно, все чаще и чаще прибегать к одному из видов метрологического контроля – калибровке средств измерений.

Предлагаю вам рассмотреть калибровку высокоточных калибраторов по напряжению постоянного тока, которая проводится с помощью Национального эталона единицы напряжения – вольта № НЭ РБ 10-02. В качестве конкретного примера возьмем многофункциональный калибратор Fluke 5720A. Внешний вид калибратора представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид многофункционального калибратора Fluke 5720A

Калибровка выполняется в два этапа: в диапазоне до 10 В с помощью Национального эталона единицы напряжения – вольта № НЭ 10-02, а в диапазоне от 10 В – меры напряжения Fluke 732В, делителя напряжения Fluke 752А, мультиметра 3458А (используемый в качестве нуль-индикатора). Метод проводимых измерений дифференциальный.

Проведение измерений на первом этапе происходит на автоматизированном рабочем месте (смотри рисунок 2), что позволяет сразу проводить обработку результатов измерений с помощью программного пакета MS Excel.



Рисунок 2 – Автоматизированное рабочее место Национального эталона единицы напряжения – вольта № НЭ РБ 10-02

На рисунке 3 изображен пример программного окна supraVOLTcontrol при проведении измерений. Программа позволяет задавать от одной до восьми калибруемых точек. Трехканальный переключатель полярности позволяет нам подключать три объекта калибровки и получать результат, измеренный как при положительной, так и отрицательной полярности. Программа рассчитывает среднее значение измеряемой величины и стандартное отклонение, а также среднее значение термоэдс.



Рисунок 3 – Пример программного окна supraVOLTcontrol

При проведении калибровки в диапазоне от 10 В, как уже говорилось ранее нам понадобится мера напряжения Fluke 732В, делитель напряжения Fluke 752А, мультиметр 3458А (используемый в качестве нуль-индикатора).

Следовательно, у нас получается две модели измерения. Модель измерения при калибровке калибратора в диапазоне до 10 В имеет вид

$$U_k = U_{\text{изм}} + \delta U_{\text{джз}} + \delta U_{\text{нв}} + \delta U_{\text{эдс}}, \text{ В} \quad (1)$$

где $U_{\text{изм}}$ – измеренное значение калибратора, $\delta U_{\text{джз}}$ – точность воспроизведения напряжения Национального эталона напряжения – вольта №

НЭ 10-02, $\delta U_{\text{нв}}$ – поправка на погрешность нановольтметра Keithley 2182А, $\delta U_{\text{эдс}}$ – поправка, обусловленная наличием термоэдс.

Модель измерения при калибровке калибратора в диапазоне от 10 В имеет вид

$$U_k = (K_d + \delta K_{\text{коэфф дел}}) \cdot (U_d - \delta U_{\text{мн}} + \Delta U_{\text{изм}} - \delta U_{\text{нв}}) + \delta K_{\text{ни дел}}, \text{ В}, \quad (2)$$

где K_d – коэффициент деления делителя, $\delta K_{\text{коэфф дел}}$ – поправка на погрешность коэффициента деления делителя, U_d – действительное значение меры напряжения Fluke 732В, $\delta U_{\text{мн}}$ – нестабильность меры напряжения Fluke 732В, $\Delta U_{\text{изм}}$ – показания разности потенциалов, снимаемых с мультиметра 3458А, $\delta U_{\text{нв}}$ – погрешность мультиметра 3458А, $\delta K_{\text{ни дел}}$ – поправка на погрешность нуль-индикатора делителя.

Рассмотрим более подробно первую модель. Тип неопределенности А и нормальный вид распределения характерен для входных величин $U_{\text{изм}}$ и $\delta U_{\text{джз}}$. Стандартная неопределенность для входной величины $U_{\text{изм}}$ определяется по формуле

$$u_A(\bar{U}_{\text{изм}}) = S_0 / \sqrt{n}, \text{ В}, \quad (3)$$

где S_0 – стандартное отклонение, рассчитываемое программным обеспечением и отображаемое в рабочем окне программы supraVOLTcontrol (столбец «Average Deviation»), n – количество измерений.

Стандартная неопределенность для входной величины $\delta U_{\text{джз}}$ будет равна 4 нВ согласно результатов прямых ключевых сличений КООМЕТ №524/RU/11 (КООМЕТ.ЕМ. ВІРМ-К10b) [1].

Тип неопределенности В и прямоугольный вид распределения характерен для входных величин $\delta U_{\text{нв}}$ и $\delta U_{\text{эдс}}$. Стандартная неопределенность для входной величины $\delta U_{\text{нв}}$ будет рассчитываться как

$$u_B(\delta U_{\text{нв}}) = \Delta_{\text{нв}} / \sqrt{3}, \text{ В}, \quad (4)$$

где $\Delta_{\text{нв}}$ – погрешность нановольтметра Keithley 2182А на диапазоне измерений 10 мВ в точке 235 мкВ (максимальное значение, на котором измеряется разность напряжений). Стандартная неопределенность для входной величины $\delta U_{\text{эдс}}$ будет равна

$$u_B(\delta U_{\text{эдс}}) = \Delta_{\text{эдс}}, \text{ В}, \quad (5)$$

где $\Delta_{\text{эдс}} = 5$ нВ (в соответствии с руководством по эксплуатации и рекомендации фирмы-изготовителя [2]).

Таким образом, составив бюджет неопределенности оценивания действительного значения выходного напряжения постоянного тока 1 В многофункционального калибратора Fluke 5720А в табличной форме (рисунок 4) получаем следующий результат $(0,999997696 \pm 0,000000068)$ В при коэффициенте охвата $k=2$ при уровне доверия $p=95\%$.

Величина χ	Значение χ	$\pm r$	Тип неопределенности	Вид распределения	Стандартная неопределенность	c_i	Вклад в неопределенность
$U_{изм}$, В	0,999997696	-	A	нормальное	0,000000014	1	0,000000014
$\delta U_{дж}$, В	0,000000004	-	A	нормальное	0,000000004	1	0,000000004
$\delta U_{ув}$, В	0	0,000000052	B	прямоугольное	0,000000030	1	0,000000030
$\delta U_{эдж}$, В	0,000000005	-	B	нормальное	0,000000005	1	0,000000005
$U_{к}$, В	0,999997696	-					0,000000034

Рисунок 4 – Бюджет неопределенности 1 В

Для второй модели измерений тип неопределенности A и нормальный вид распределения характерен для входной величины $\Delta U_{изм}$. Стандартная неопределенность для входной величины $\Delta U_{изм}$ вычисляется по формуле

$$u_A(\bar{U}_{изм}) = \frac{1}{2} \sqrt{u_A^2(\Delta \bar{U}_{изм+}) + u_A^2(\Delta \bar{U}_{изм-})}, \quad (6)$$

где $u_A(\bar{U}_{изм+})$ – стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины при положительной полярности, $u_A(\bar{U}_{изм-})$ – стандартное отклонение среднего значения измеряемой величины при отрицательной полярности.

Для входной величины $U_{д}$ характерен вид распределения B и нормальный закон распределения. Стандартная неопределенность равна

$$u_B(\delta U_{м}) = U_{м} / 2, \quad (7)$$

где $U_{м}$ – расширенная неопределенность при уровне доверия $p=95\%$ на меру напряжения Fluke 732В (из свидетельства о калибровке).

Тип неопределенности B и прямоугольный вид распределения характерен для всех остальных входных величин. Стандартная неопределенность для входной величины $\delta K_{коэфф дел}$ будет определяться по формуле

$$u_B(\delta K_{коэфф дел}) = \Delta K / \sqrt{3}, \quad (8)$$

где ΔK – предел допускаемой погрешности коэффициента деления делителя.

Стандартная неопределенность входной величины $\delta K_{ни дел}$ рассчитывается

$$u_B(\delta K_{ни дел}) = \Delta K_{ни} / \sqrt{3}, \quad (9)$$

где $\Delta K_{ни}$ – предел допускаемой погрешности нуль-индикатора делителя напряжения.

Стандартная неопределенность для входной величины $\delta U_{мн}$ будет равна

$$u_B(\delta U_{мн}) = \Delta U_{мн} / \sqrt{3}, \quad (10)$$

где $\Delta U_{мн}$ – значение годовой нестабильности меры напряжения Fluke 732В при выходном напряжении 10 В (в соответствии с эксплуатационной документацией ± 2 млн⁻¹ за один год).

Стандартная неопределенность для входной величины $\delta U_{нв}$ рассчитывается как

$$u_B(\delta U_{нв}) = \Delta U_{нв} / \sqrt{3}, \quad (11)$$

где $\Delta U_{нв}$ – погрешность мультиметра 3458А на диапазонах измерений 10 мВ, 100 мВ (диапазоны измерений, на которых измеряется разность напряжений постоянного тока).

Составив бюджет неопределенности оценивания действительного значения выходного напряжения постоянного тока 100 В многофункционального калибратора Fluke 5720А в табличной форме (рисунок 5) получаем следующий результат ($99,99973 \pm 0,00004$) В при коэффициенте охвата $k=2$ при уровне доверия $p=95\%$.

Величина χ	Значение χ	$\pm r$	Тип неопределенности	Вид распределения	Стандартная неопределенность	c_i	Вклад в неопределенность
$U_{изм}$, В	-0,00004007	-	A	нормальное	0,00000005	10	0,00000049
$U_{д}$, В	10,00001319	-	B	нормальное	0,00000006	10	0,00000065
$\delta U_{ув}$, В	0	-0,0000025	B	прямоугольное	-0,0000014	-10	0,0000144
$\delta K_{коэфф дел}$, В	0	0,000002	B	прямоугольное	0,000001	9,99997312	0,00001155
$\delta K_{ни дел}$, В	0	0,0000005	B	прямоугольное	0,0000003	1	0,0000003
$\delta U_{эдж}$, В	0	0,00000075	B	прямоугольное	0,00000043	-10	-0,00000435
$U_{к}$, В	99,99973	-					0,00002

Рисунок 5 – Бюджет неопределенности 100 В

Таким образом, происходит калибровка высокоточных калибраторов по напряжению постоянного тока. Два способа основаны на дифференциальном методе измерений. Применение эталона позволяет получать высокоточные результаты с очень маленькой неопределенностью результата измерений, а, следовательно, приводит к более точной передаче единицы измерения эталонным средствам измерений.

1. http://www.bipm.org/utils/common/pdf/final_reports/EM/BIPM.EM-K10/COOMET.EM.BIPM-K10b_Final_report.pdf.
2. Supracon. Josephson standard supraVOLTcontrol. Manual 2007.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Серенков П.С., Лесин А.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Любая система менеджмента нацелена, в конечном счёте, на выработку эффективных управленческих решений в отношении продукции и процессов соответствующей предметной области. Реализация основного принципа менеджмента качества – управление, основанное на фактах, – предполагает наличие в структуре системы менеджмента подсистемы сбора и анализа данных. Для обеспечения обоснованности принятых решений применяются различные подходы и технологии.

Систему сбора и анализа данных для оценки, анализа и управления результативностью системы менеджмента качества (СМК) в соответствии с принципом процессного подхода следует выстраивать в соответствии со структурой соответствующего процесса. Традиционно подходы, методы и технологии оценки, анализа и управления качеством ассоциируются исключительно с производственными процессами, для которых типичной формой являются количественные, измеряемые с помощью технических средств данные о продукции и (или) процессе. Вовлечение в систему менеджмента непроизводственных процессов приводит к возникновению необходимости пересмотра требований в отношении структуры системы сбора и анализа данных, применяемых методов и средств. Для данных процессов системы типичной формой данных являются так называемые экспертные оценки, не поддающиеся «точному измерению», поскольку они являются субъективными, и доля такого рода оценок в любой организации велика.

Соотношение процессов производственного и непроизводственного характера указывает на то, что СМК относятся к категории слабоструктурированных предметных областей, где качественные, нечеткие факторы имеют тенденцию доминировать.

Таким образом, несмотря на значительное количество процессов, которые относятся к непроизводственным, применение экспертных оценок в данной области носит ограниченный характер, прежде всего, из-за недостоверности получаемой информации. Кроме того, полученная в результате оценивания информация не является основой для принятия решений в области менеджмента качества. Следовательно, является актуальным вопрос о повышении достоверности и адекватности экспертных оценок реальной ситуации, а также снижении риска от некорректно принятого решения.

Можно констатировать, что область применения экспертного оценивания параметров объектов СМК весьма широка и имеет четкую тенденцию к дальнейшему увеличению, а информационные технологии оценивания неизменно востребованы.

Количественным измерением качества продукции традиционно занимается квалиметрия. Методы экспертного оценивания достаточно хорошо известны у нас как методы квалиметрии. Однако классические методы квалиметрии в силу присущих им ограничений не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к методам экспертного оценивания в современных условиях функционирования СМК.

Между тем, методы экспертного оценивания зародились не в рамках СМК. Такие области деятельности, как финансы, банковское дело, страхование и т.п., рассматривают экспертные методы как ключевой инструмент своей результативности. Накоплен огромный потенциал использования различных подходов, методов и средств для решения самых разнообразных задач в этих сферах деятельности.

Чтобы не «изобретать повторно велосипед», рационально исследовать возможности этого потенциала и сконцентрировать усилия на выборе приемлемых для решения задач СМК существующих информационных технологий экспертного оценивания или разработке на их основе перспективных методов, обеспечивающих высокую достоверность оценок и принятия на их основе корректных управленческих решений.

Всё многообразие экспертно принимаемых решений можно условно разделить на две категории:

- аргументированные – решения, когда критерии оценки, а также способы её проведения четко определены, документально зафиксированы;

- интуитивные – решения, когда нет четких критериев оценки, методика нигде не прописана и эксперт, по большей части, полагается на собственные способности.

Основные свойства аргументированных и интуитивных решений представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Классификация и свойства экспертно принимаемых решений

Наибольший интерес представляют случаи интуитивных решений, для которых характерны два источника неопределенности:

- неизбежная субъективность экспертных оценок,
- отсутствие верифицированной методики экспертного оценивания.

В этих случаях степень доверия к мнению эксперта наименьшая, а принятое решение имеет наибольшую степень риска.

Представляет интерес подход к классификации и структуризации методов экспертных оценок в соответствии с классификацией задач принятия решений. Это привлекательно с точки зрения того, что принятие решений является этапом менеджмента, опирающимся на этап сбора и анализа данных, использующего экспертное оценивание в качестве основного инструмента реализации. Наиболее общими и существенными признаками классификации задач принятия решений являются:

1. степень определенности информации:
 - задачи принятия решений в условиях определенности,
 - задачи принятия решений в условиях вероятностной определенности (в условиях риска),
 - задачи принятия решений в условиях неопределенности,
2. использование эксперимента для получения информации:
 - задачи принятия решений по априорным данным,
 - задачи принятия решений по апостериорным данным,
3. количество целей:
 - одноцелевые задачи принятия решений,
 - многоцелевые задачи принятия решений,
4. количество лиц, принимающих решение:
 - индивидуальные задачи принятия решений,
 - групповые задачи принятия решений,
5. содержание решений:
 - экономические задачи принятия решений,

- политические задачи принятия решений,
 - военные задачи принятия решений,
 - другие виды,
6. значимость и длительность действия решений.
- долговременные задачи принятия решений,
 - среднесрочные задачи принятия решений,
 - краткосрочные задачи принятия решений.

Для систематизации и формирования рационального комплекса приемлемых методов экспертного оценивания в организации мы предлагаем отталкиваться от процессного подхода, который, в соответствии с СТБ ISO 9001 предполагает идентификацию и классификацию процессов, необходимых для СМК. Для каждого процесса следует определить цели (показатели результативности), ответственных исполнителей, ресурсы для достижения целей. С учетом конкретных особенностей для каждого процесса СМК следует определить круг типовых задач, связанных с качеством. Используя механизм классификации процессов СМК следует обобщить однотипные задачи, характерные для процессов различных типов и сформулировать обобщенную задачу определенного класса. Таким образом, исследование всей сети процессов СМК организации позволит определить рациональный по количеству комплекс типовых задач, которые необходимо решать в организации применительно к проблемам качества различных процессов.

Далее необходимо произвести анализ каждой типовой задачи с точки зрения выбора методов экспертного оценивания, приемлемых для реализации этапов решения задачи: сбора информации, анализа и последующего принятия решения.

Приемлемость методов определяется из конкретных соображений: компетентностью и подготовленностью персонала, корпоративной культурой и т.п.

Очевидным является тот факт, что каждая организация обладает своей уникальной СМК, а, следовательно, и процессы у различных организаций различны. Соответственно круг решаемых задач у каждой организации будет свой, поэтому в докладе предложен типовой алгоритм выбора и применения методов экспертного оценивания для решения задач принятия решений в области качества.

Таким образом применение подхода формирования рационального комплекса приемлемых методов экспертного оценивания в организации, основанного на процессном подходе и ориентированном на задачи, будет иметь наибольший эффект в достижении поставленных целей.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Серенков П.С., Мовламов В.Р.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В условия международных торговых отношений важную роль занимает контроль качества продукции отечественного и зарубежного производителя, поставляемой на внутренние и внешние рынки. Метрологическое обеспечение контроля показателей качества продукции традиционно основывается на применяемых средствах измерения и методиках выполнения измерений (далее – МВИ).

Метрологическое подтверждение МВИ предполагает определение характеристик метода. Ключевыми выступают характеристики правильности и прецизионности метода. Отдельные аспекты их определения изложены в серии стандартов СТБ ISO 5725. Стандарты регламентирует требования, которые относятся к планированию и реализации измерительного эксперимента, к алгоритмам статистической обработки и представлению результатов.

Практика применения стандартов серии выявила ряд существенных методических недостатков. Во-первых, это тот факт, что они рассматривают главным образом межлабораторный эксперимент, в то время как испытательные лаборатории реализуют метрологическое подтверждение МВИ путем внутрिलाбораторных исследований. В результате инженеры-метрологи лабораторий сталкиваются с проблемой отсутствия научно-методического обеспечения подобного рода исследований. Во-вторых, стандарты рассматривают оценивание показателей точности не как процесс (последовательность этапов). Этапы (элементы) процесса разбросаны в разных частях серии стандарта СТБ ИСО 5725-1...-6. Наглядно это представлено на рисунке 1.

На каждом этапе процесса определения характеристик метода решаются определенные задачи, для каждой из которых применимы конкретные методы и алгоритмы решения.

Первый этап процесса (этап планирования эксперимента) включает решение последователь-

ности задач, таких, как выбор влияющих факторов, план эксперимента, выбор необходимого количества лабораторий и количества повторений для оценки показателей точности.

При выборе плана измерительного эксперимента (рисунок 2) следует учитывать особенности лаборатории, проявляющиеся в корректности выбора влияющих факторов и формирования плана эксперимента. В зависимости от выбранного плана эксперимента, определяется количество измерений. При выборе М-факторного плана эксперимента с полной группировкой количество измерений требует 2^{n-1} , что может оказаться чрезмерным требованием для лаборатории. Это главный аргумент в пользу плана со ступенчатой группировкой, т.к. при выборе М-факторного плана со ступенчатой группировкой требующий меньшего количества результатов, чтобы получить такое же количество стандартных отклонений. При ступенчатом плане, анализ является более сложным, и имеется большая неопределенность в оценках стандартных отклонений из-за меньшего количества результатов испытаний.

Важнейшим моментом рационального планирования эксперимента является структура плана и соответственно формы протокола испытаний. Размещение факторов в плане эксперимента с группировкой производится так, что факторы подвергающиеся большему влиянию систематических эффектов, должны находиться на верхних уровнях иерархии плана, а те факторы, которые больше подвержены влиянию случайных эффектов, должны находиться на нижних уровнях иерархии плана. Самый нижний уровень иерархии и соответствующий ему фактор рассматривается как остаточная изменчивость. Структура плана и соответственно формы протокола испытаний являются уникальными для условий конкретной лаборатории и определяются априорно экспертными методами.

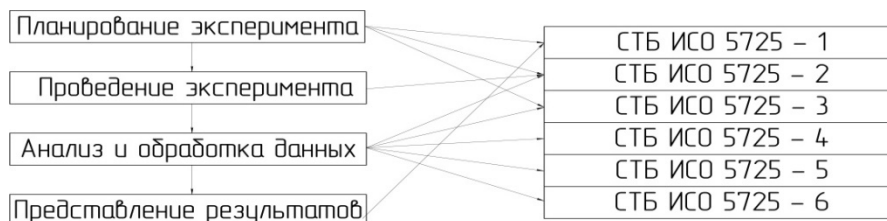


Рисунок 1 – Этапы проведения эксперимента



Рисунок 2 – Выбор плана эксперимента

Третий этап процесса (этап анализа и обработки экспериментальных данных) включает решение последовательности задач, касающихся цензурирования результатов – идентификации выбросов и разбросов результатов и их корректной замены. Следует отметить, что процесс цензурирования представлен в стандартах серии СТБ ИСО 5725 достаточно непоследовательно. Из рисунка 1 видно, что отдельные задачи в рамках процесса обработки и анализа данных разбросан по различным частям серии, что создает проблемы в их освоении.

Практика применения стандартов серии СТБ ИСО 5725 показывает, что лаборатории в своем подавляющем большинстве в деятельности практически никогда не используют ИСО 5725-5. Между тем, в этой части отражены нюансы, которые могли бы помочь лабораториям экономить ресурсы на проведение эксперимента. Интерес представляют так называемые альтернативные методы, которые в определенных ситуациях могут иметь даже большую практическую ценность, чем основной метод, описанный в СТБ ИСО 5725-3. Сюда можно отнести, например, использование робастных методов для анализа результатов экспериментов по оценке прецизионности без использования критериев для выбросов с целью исключения из расчетов соответствующих данных. К альтернативным методам относят планы экспериментов

- с расщепленными уровнями;
- для неоднородного материала.

В зависимости от того, каким является испытание по затратам (дорогостоящим или нет), определяется число повторений измерений. Естественным для лабораторий является стремление уменьшать число повторений. В СТБ ИСО 5725-6 рассмотрены варианты таких ситуаций, и предложены пути решения, включающие методы проверки приемлемости результатов измерений, полученных в условиях повторяемости и воспроизводимости.

Важность обеспечения достоверности характеристик прецизионности и правильности заключается не только в том, что они предписаны контролирующей стороной, но и в том, что они используются для оценки неопределенности результатов измерений (испытаний). Оценки неопределенности в последствии будут приписываться результатам рутинных измерений. Очевидно, что от их корректного определения будет зависеть достоверность результатов оценки соответствия.

С учетом выявленных проблем применения серии стандартов СТБ ИСО 5725 на этапах валидации или аттестации методов, нами разработан проект методического руководства по их практическому применению. Руководство представлено как описание процесса определения характеристик метода в виде алгоритма, «собранного» из отдельных фрагментов стандартов серии. Следует подчеркнуть, что этапы алгоритма, как и все руководство абсолютно соответствуют требованиям серии стандартов СТБ ИСО 5725.

Разработано два проекта как для межлабораторного исследования, так и внутрилабораторного исследования с соответствующими формами протоколов.

Методическое руководство ориентировано на инженера-метролога лаборатории и включает описание последовательности его действий в виде блок-схем с пояснениями и соответствующими ссылками. Методическое руководство позволит инженеру-метрологу лаборатории любого профиля решить поставленную задачу по корректному определению характеристик правильности и прецизионности метода измерений (испытаний) в рамках валидации или аттестации без помощи внешних консультантов.

1. СТБ ИСО 5725-1...СТБ ИСО 5725-6 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБАСТНОСТИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ МЕТОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА

Серенков П.С.¹, Гуревич В.Л.,² Навоев Я.Э.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный институт метрологии

Минск, Республика Беларусь

Валидация (аттестация) метода измерений для целей контроля и испытаний предполагает определение комплекса присущих ей количественных характеристик. Одной из таких характеристик является «робастность метода».

Робастность (robustness) - способность метода давать результаты измерений (испытаний) с приемлемой прецизионностью и правильностью при небольших изменениях параметров метода.

Робастность является качественным понятием и должна доказывать надежность результатов измерений при небольших изменениях параметров метода.

Как известно, на результаты измерений может влиять большое число факторов. Обычно робастной считается методика, для которой ни один из таких факторов не имеет значимо большего (по сравнению с другими факторами) влияния на результаты измерений.

Робастность оценивается на этапе проектирования методики. Если на результаты измерений влияют какие – либо условия его проведения, то эти условия должны быть нормированы и в текст методики вносят соответствующие ограничения (нормы, процедуры). Следствием оценки робастности выступает комплекс параметров пригодности метода, которые обеспечивают корректность результатов измерений во всех случаях использования метода.

Считается, что робастность – характеристика методов измерений из области аналитической химии. Типичные примеры параметров, определяющих робастность метода: устойчивость во времени аналитических растворов, время экстракции, рН подвижной фазы и т.п.

В определенном смысле схожей характеристикой методов измерений в области аналитической химии выступает «специфичность».

Специфичность – способность однозначно оценивать определяемый компонент в анализируемом образце выбранным методом независимо от присутствующих компонентов (примесей, продуктов распада и т.д.) в пределах заданного диапазона применения.

Специфичность также является качественным понятием и также служит доказательством надежности результатов измерений в отношении влияния матрицы пробы, "третьих" элементов при элементном анализе, условий проведения анализа и т.д.

Схожесть этих характеристик заключается в том, что они являются неявными по источникам возникновения (скрытыми), что неизбежно повышает риск их неидентификации и, соответственно, риск некорректного оценивания неопределенности результатов измерений.

Примечание. В математике, обе эти характеристики подпадают под понятие «робастность метода».

Для методов измерений в области геометрических, механических электрических и др. величин эти характеристики традиционно не присутствуют. Мы полагаем, что аналогом этих характеристик являются методическая составляющая погрешности результата измерений. Более того, при ближайшем рассмотрении можно утверждать, что робастность и специфичность - частные случаи проявления методической погрешности результата измерений. Их отличительный признак – неявный специфический характер проявления.

Обобщение и анализ результатов валидации (аттестации) методов измерений в различных областях позволяет утверждать, что в большинстве случаев остаются не выявленными факторы, вызывающие в большей или меньшей степени потерю робастности метода. Основная причина, на наш взгляд, заключается в том, что, как правило, методика идентификации параметров проверки на робастность в соответствующих ТНПА либо отсутствует, либо преподносится в общем виде.

В результате применения системного подхода к анализу проблемы идентификации источников и факторов потери робастности метода измерений нами установлено, что причинами потери робастности могут выступать:

- состояние объекта измерений,
- параметры метода измерений.

Наглядным примером проявления причины скрытой неробастности метода контроля *в отношении состояния объекта* может служить контроль отклонения от круглости. Поставлена задача выбора метода измерений. Наличие четной или нечетной огранки контролируемых деталей (исходное состояние объекта контроля) определяет выбор соответственно двухконтактного или трехконтактного метода контроля. Несоответствие вида отклонения от круглости (состояние заранее неизвестно) методу измерения,

очевидно, приведет к методической погрешности, настолько большой, что достоверность контроля заведомо не будет обеспечивать заданный уровень риска потребителя.

Установлено, что источниками потерь робастности метода измерений *в отношении его параметров* могут выступать:

- входные параметры (параметры процесса преобразования данных);
- параметры метода обработки данных.

Необходимо отметить, что источниками потерь робастности могут быть как отдельные факторы, так и их комбинации, причем комбинации оказывают наибольшее влияние.

Мы предлагаем на этапе валидации (аттестации) метода ввести обязательную проверку на робастность. В основе подхода к исследованию метода измерений на робастность нами предложен экспертный метод, позволяющий использовать априорные знания инженеров – метрологов для идентификации неявных источников потерь робастности.

Метод представляет собой комбинированный алгоритм идентификации факторов, позволяющий с высокой степенью объективности формировать комплекс факторов, вызывающих потерю робастности метода измерений. Алгоритм реализуется в три этапа:

1) на основе методологии IDEF0 разрабатывается функциональная модель процесса измерений, определяющая состав, последовательность функций всего процесса, а также используемые ресурсы категорий:

- персонал,
- инфраструктура (средства измерений, измерительные принадлежности),
- условия выполнения процесса на всех этапах,
- методики выполнения измерений, обработки данных и представления результатов;

2) с помощью простейших экспертных методов сбора данных, методов аналогов и прецедентов формируется совокупность всех потенциально возможных факторов, вызывающих потерю робастности метода измерений (первичное факторное пространство);

3) с помощью экспертных методов анализа данных факторное пространство оптимизируется (минимизируется по критерию полноты и неизбыточности).

Значительно более сложной является задача обеспечения робастности метода измерений в отношении выявленных на предыдущем этапе источников и факторов. Универсальное решение данной задачи для всех случаев очевидно невоз-

можно. Однако можно предложить возможные подходы к решению:

- ликвидация источников потерь робастности,
- введение ограничений на функции или параметры метода.

Подходы к обеспечению робастности метода могут быть реализованы абсолютно или относительно (адаптивно к конкретным условиям).

Абсолютный подход предполагает ликвидацию или введение ограничений в отношении факторов неробастности для всех возможных случаев реализации метода измерений, в то время, как адаптивный подход - в зависимости от конкретной ситуации.

Степень эффективности того или иного подхода зависит от конкретной ситуации. Каждый из них может быть реализован для выявленных ранее источников потерь робастности различными способами.

Источник - состояние объекта измерений.

Пример. Для метода определения теплопроводности образцов из пенополистирола источником потерь робастности был идентифицирован фактор, связанный с неомогенностью материала, так как в нем иногда присутствовала механическая примесь графита. Решение проблемы – из разряда организационно-технических мероприятий: заказчик предписано предоставлять вместе с образцами на испытание документ, свидетельствующий об отсутствии в образцах примесей.

Источник - входные параметры метода (параметры процесса преобразования данных).

Пример. Для метода определения теплопроводности образцов из минеральной ваты было установлено, что в силу повышенной податливости материала имеет место искажение результатов измерений вследствие деформации образца под действием измерительного усилия. Решение проблемы – из разряда организационно-технических мероприятий: была определена процедура, предполагающая предварительное измерение размера образца бесконтактным способом и введение значения размера в память прибора.

Источник - параметры метода обработки данных. Решение проблемы в отношении данной группы источников следует искать среди аналитических методов – робастных методов обработки и анализа данных. Здесь уместно использовать рекомендации стандартов серии СТБ ИСО 5725 по применению методов робастного анализа, изложенные в СТБ ИСО 5725-5.

Приведенные в докладе результаты исследований позволяют сформировать методику обеспечения робастности метода измерений, позволяющую значительно повысить доверие к результатам измерений (контроля, испытаний).

УДК 621.791

АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ ГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ

Серенков П.С., Иванова Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

На кафедре «Стандартизация, метрология и информационные системы» разработана графическая модель интерпретации качества объектов, ставящая задачу экспертного оценивания следующим образом: оценить объекты, характеризуемые одним, двумя и тремя параметрами. А разные значения оцениваемого параметра фигуры в рамках области менеджмента качества можно интерпретировать как разную степень выраженности свойств оцениваемого объекта, то есть разный уровень качества оцениваемого объекта.

Объектами оценивания выбраны геометрические фигуры: круг, прямоугольник и параллелепипед. Оцениваемыми параметрами являются: площадь для круга и прямоугольника, объём для параллелепипеда. Модель графической интерпретации качества объектов зарекомендовала себя с положительной стороны, так как позволяет получить достаточно точные значения оцениваемых параметров, оценить систематическую и случайную составляющие метода [1]. Однако существует значительный недостаток описанной выше модели: привязка к декартовой системе координат, что означает почти невозможным подобрать объект с $n > 3$ оцениваемыми параметрами.

В связи с выявленной проблемой было предложено разработать новую модель графической интерпретации качества объектов, позволяющую оценивать объекты с количеством свойств $n = [1; \infty)$.

В качестве объекта оценивания с одним параметром новой модели геометрической интерпретации принимаем геометрическую фигуру круг, в качестве объекта с двумя параметрами оценивания – два круга, объекта с тремя параметрами – три круга. Сущность различия новой геометрической модели интерпретации качества экспертного оценивания от существующей приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сущность различия моделей экспертного оценивания

При планировании эксперимента экспертного оценивания были определены следующие задачи, которые повлияли на разработку модели эксперимента:

а) определить существование или отсутствие зависимости между объектами оценивания с

одинаковым количеством параметром, но представленными различными геометрическими фигурами;

б) при существовании зависимости по пункту а) определить качественно и количественно их соотношение между собой в зависимости от изменения установленных нами факторов влияния: сложность оцениваемого объекта и количество оцениваемых экспертом параметров;

в) выявить преемственность и прослеживаемость (согласованность) результатов, полученных первой и второй моделями.

Основные положения модели эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные положения модели эксперимента

Структурный элемент методики	Содержание структурного элемента	
	1 серия	2 серия
Объект оценивания	- круг - прямоугольник - параллелепипед	- круг - два круга - три круга
Параметр оценивания	- площадь S - объём V	- площадь S
Шкала оценивания	апостериорная (от 0 до ∞)	априорная (от 0 до 10 баллов)
Метод оценивания	Рандомизированный каждый с предыдущим	
Основные положения	<ul style="list-style-type: none"> - каждый вид фигур предъявляется отдельно; - карточки с фигурами предъявляются в случайном порядке; - перед глазами эксперта всегда находятся две фигуры для оценивания, и две фигуры, характеризующие <i>max</i> и <i>min</i> фигуры в колоде карточек; - оценивается разность площадей фигур на карточках; - оценивание проводится без предварительного осмотра и ознакомления с размерностями фигур в серии; - 15 карточек в каждой серии; - 2 тура оценивания в каждом методе; - количество опрашиваемых респондентов по каждому комплекту анкет – 6 	

Каждая серия экспериментов включает два тура оценивания, в каждом из которых фигуры предъявляются экспертам в следующем порядке: из колоды случайным образом выбирается первая и вторая карточки, эксперт присваивает оценку первой разности объектов, отвечая на вопрос «на сколько площадь (объем) первого объекта отличается от площади (объема) второго объекта?». После этого первая карточка закрывается и случайным образом выбирается третья, после чего эксперт присваивает оценку соотношению, отвечая на вопрос «на сколько площадь (объем) второго объекта отличается от площади (объема) третьего объекта?». Эти действия повторяются до тех пор, пока карточки не закончатся. Некоторые результаты эксперимента приведены на рисунке 2.

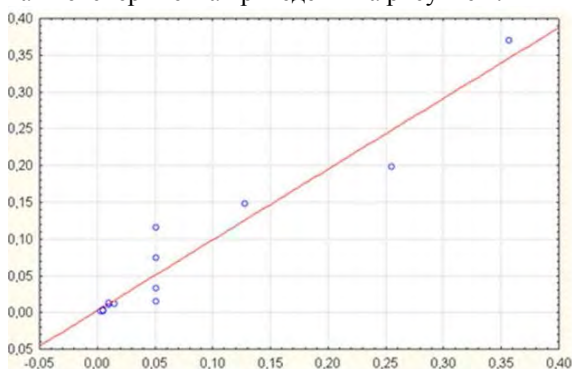


Рисунок 2 – Зависимость оценок эксперта по двум турам опроса для фигуры «прямоугольник»

На рисунке 2 по оси ОХ – оценки, выставленные i-й карточкой экспертом, за время 1-го тура оценивания; по оси ОУ – оценки, выставленные i-й карточкой экспертом, за время 2-го тура оценивания. В случае, если эксперт одинаково оценивал соответствующие фигуры в первом и втором турах, на диаграмме будет наблюдаться прямая линия вида $y = kx + b$. Чем больше разброс точек на диаграмме относительно аппроксимирующей прямой, тем выше противоречивость эксперта. То есть эксперт один и тот же объект из различных колод оценивал по-разному. Полученные результаты свидетельствуют об устойчивости альтернативных оценок, что позволяет проводить дальнейшие исследования.

Чтобы определить, насколько взаимосвязаны оценки площадей (объемов) различных геометрических фигур с одинаковым количеством параметров и на сколько такие объекты взаимозаменяемы, построена следующая зависимость: по оси ОХ – нормализованные средние значения (по 2 турам и 2 экспертами) оценок площади прямоугольника (объема параллелепипеда); по ОУ – для 2 кругов (3 кругов) (рисунки 3 - 4).

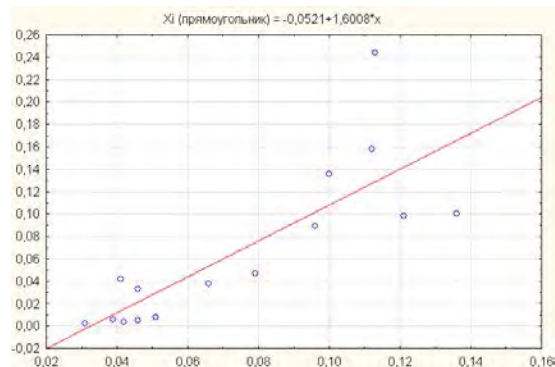


Рисунок 3 – Зависимость нормализованных средних значений экспертных оценок серии «прямоугольник – 2 круга»

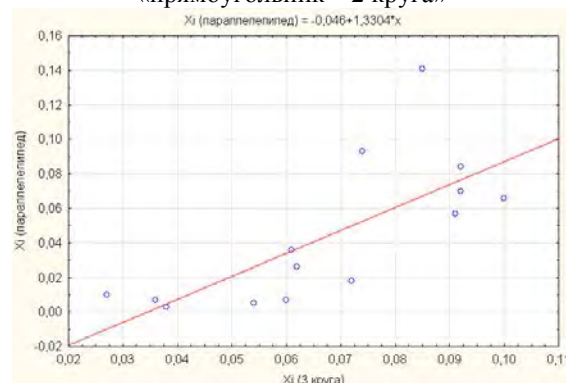


Рисунок 4 – Зависимость нормализованных средних значений экспертных оценок серии «параллелепипед – 3 круга»

Для полученных результатов рассчитан коэффициент корреляции для оценки тесноты взаимосвязи оценок и их близости к истинному значению (чем выше коэффициент корреляции, тем ближе полученные оценки находятся к действительным значениям площадей (объемов) фигур):

- для серии экспериментов «прямоугольник – 2 круга» $r_{xy} = 0,81$;
- для серии «параллелепипед – 3 круга» $r_{xy} = 0,73$, что свидетельствует о высокой корреляционная связь между значениями оценок ($p < 0,05$);

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- оценки, полученные при сравнении различных геометрических фигур с одинаковым количеством параметров согласованы, следовательно, такие объекты оценивания взаимозаменяемы;
- графическая модель интерпретации качества объектов адекватна реальным задачам оценивания объектов.

1. Серенков П.С., Романчук В.М., Гиль Н.Н. Повышение достоверности методов экспертного оценивания в рамках системы менеджмента качества. Метрология и приборостроение №6 – Минск, 2015. – 18 с.

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА КВАЛИМЕТРИИ

Соколовский С.С., Азарёнок Ю.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью работы является повышение эффективности проектирования оптимизированных методик выполнения измерений (МВИ) путем автоматизации отдельных процедур, выполняемых в ходе проектирования и квалиметрического оценивания конкурирующих вариантов МВИ. В соответствии с поставленной целью исследование проводилось в следующем порядке.

Его первый этап был направлен на определение общей структуры системы автоматизированного проектирования оптимизированных МВИ, удовлетворяющей цели исследования. В результате были определены основные модули, входящие в эту структуру и их взаимосвязи. Результаты этой работы представлен на рисунке 1. Было решено включить в систему 4 основных модуля, совместное функционирование которых должно осуществляться по следующей схеме.

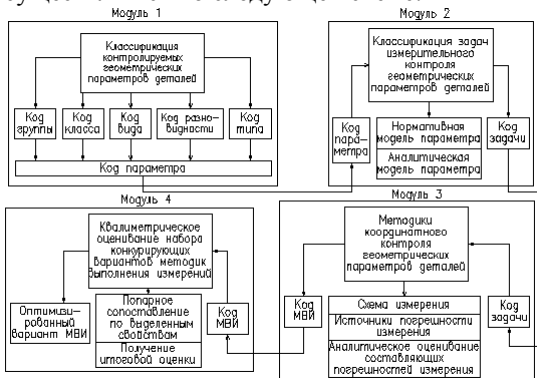


Рисунок 1 – Структура системы автоматизированного проектирования оптимизированных МВИ

В первый модуль должна поступать исходная информация об измерительной задаче, подлежащей решению, на основании которой ей должен быть присвоен определённый код. Этот код, отражающий принципиальные особенности измерительной задачи, должен поступать на вход второго модуля, где на основании присвоенного рассматриваемой измерительной задаче кода должны строиться нормативная и аналитическая модель измеряемого параметра, выступающие в качестве основы для проектирования МВИ. Эта информация должна поступать на вход третьего модуля, задачей функционирования которого является формирование набора конкурирующих вариантов схемных решений измерительной задачи и соответствующих методик выполнения

измерений, а также аналитическое оценивание составляющих погрешностей измерения. Четвертый модуль системы, так называемый квалиметрический модуль, является завершающим и он предназначен для проведения квалиметрического оценивания конкурирующих вариантов МВИ, сформированных в третьем модуле, по выделяемым проектировщиком основным свойствам, определяющим качество измерений. Итогом этой работы должно быть определение наиболее эффективного или оптимизированного варианта МВИ. Критерием оптимизации при этом должно быть получение максимального значения комплексной обобщенной квалиметрической оценки, объединяющей в себе частные оценки ряда свойств, определяющих качество МВИ.

После того как была определена общая структура системы автоматизированного проектирования МВИ дальнейший процесс проектирования был направлен на разработку отдельных модулей. В процессе проектирования первого модуля была разработана система классификации и принципы кодирования геометрических параметров деталей. В основу такой классификации была положена классификация отклонений формы и расположения поверхностей деталей в соответствии с ГОСТ 24642. Структура построения системы классификации геометрических параметров деталей и порядок их кодирования представлен на рисунке 2 в виде фрагмента таблицы.

Группа	Класс	Вид	Разновидность	Тип		
Размера	Линейные	Охватывающие	–	–		
		Объемные	–	–		
		Прочие	–	–		
	Элементы, определяющие Угол	Плоскость	Угол, ограниченный наружными плоскостями	Угол, ограниченный наружными плоскостями, имеющими большую протяженность	Угол, ограниченный наружными плоскостями, имеющими малую протяженность	
				Угол, ограниченный внутренними плоскостями	–	
			Ось и плоскость	Угол, ограниченный осью отверстия и номинально плоской поверхностью	Угол, ограниченный осью отверстия и номинально плоской поверхностью	Угол, ограниченный осью отверстия и номинально плоской поверхностью
		Угол, ограниченный осью вала и номинально плоской поверхностью		–	–	
		Оси (прямые)	Угол, ограниченный образующей наружной конической поверхности и номинально плоской поверхностью	Угол, ограниченный образующей наружной конической поверхности и номинально плоской поверхностью	Угол, ограниченный образующей внутренней конической поверхности и номинально плоской поверхностью	
				Угол, ограниченный образующей внутренней конической поверхности и номинально плоской поверхностью	–	
			Угол, ограниченный осью отверстия	Угол, ограниченный осью отверстия	–	–
				Угол, ограниченный осью отверстия	–	–

Порядок кодирования: 1,2,3... 1,2,3... 1,2,3... А,Б,В... а,б,в...
Группа [] Класс [] Вид [] Разновидность [] Тип []

Рисунок 2 – Принцип кодирования измерительных задач

Дальнейшая работа была направлена на формирование базы данных «Измерительные задачи», фрагмент которой представлен на рисунке 3 в виде таблицы.

Разнобидность	Свойства	Тип параметра	Код типа	Нормативная модель параметра	Графическая интерпретация нормативной модели	индекс Код
1	2	3	4	5	6	7
Отклонение от прямолинейности плоских наружных поверхностей	A	Отклонение от прямолинейности плоских наружных поверхностей	a	1-значение допуска		2-1-1-2
				1-значение допуска		2-1-1-2
Отклонение от прямолинейности плоских внутренних поверхностей	6	Отклонение от прямолинейности плоских внутренних поверхностей	6	1-значение допуска		2-1-1-2
				1-значение допуска		2-1-1-2

Рисунок 3 – Структура базы данных «Измерительные задачи»

Следующим этапом проводимого исследования было формирование базы данных «Методики выполнения измерений», фрагмент которой представлен на рисунке 4 в виде таблицы.

Код МВИ	Схема измерения	Средство измерения	Вспомогательные средства	Основные источники погрешностей	Графическая интерпретация особенностей погрешности измерения	Аналитическая модель погрешности измерения	Коды разрядов измерительной задачи
1	2	3	4	5	6	7	8
2-1-2		Измерительная ванна: ИМ ... ГОСТ 637; ИГ ... ГОСТ 1883; ИМТ ... ГОСТ 9508; ИМТ ... ГОСТ 5933; ИМТ ... ГОСТ 1471	Материал: Пыльца; Поверхность: Очистка; Инструменты: измерительная ванна	1. Двойная погрешность измерительной ванночки; 2. Погрешность отклонения от плоскостности наружной поверхности; 3. Погрешность отклонения от плоскостности внутренней поверхности; 4. Погрешность отклонения от радиальности измерительного органа		$\Delta_{\text{изм}} = T/L_{\text{изм}}$ $\Delta_{\text{откл}} = T_{\text{откл}}/L_{\text{откл}}$ $\Delta_{\text{откл}} = T_{\text{откл}}/L_{\text{откл}}$ $\Delta_{\text{откл}} = T_{\text{откл}}/L_{\text{откл}}$	2-1-2-A-a

Рисунок 4 – Структура базы данных «Методики выполнения измерений»

Принцип функционирования данного модуля представлен на рисунке 5.

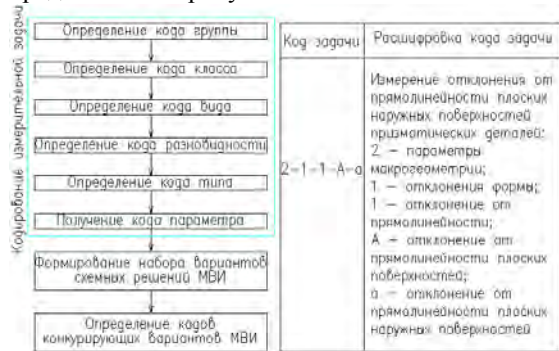


Рисунок 5– Принципы функционирования модуля формирования набора конкурирующих вариантов МВИ

Завершающим этапом исследования была разработка программного обеспечения квалиметрического оценивания конкурирующих вариантов МВИ. Порядок функционирования модуля квалиметрического оценивания представлен на рисунке 6.

В соответствии с этим порядком было разработано программное обеспечение для осуществления квалиметрического оценивания конкурирующих вариантов МВИ согласно основным аспектам функционирования данного модуля и

алгоритм получения обобщенной оценки качества МВИ.

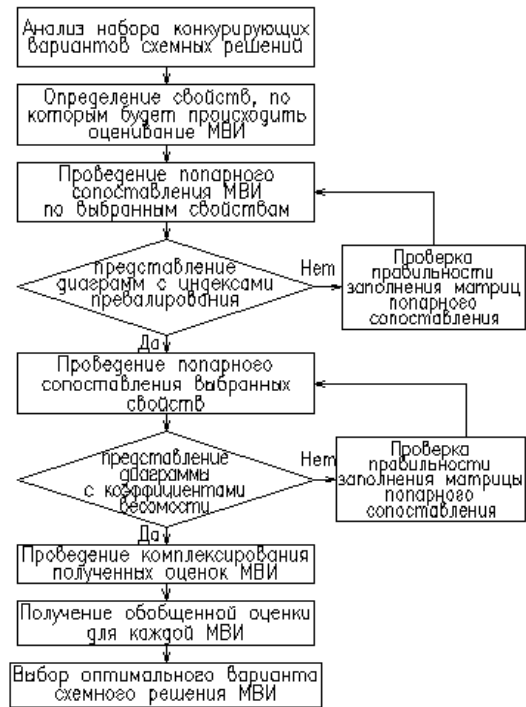


Рисунок 6 – Алгоритм функционирования модуля квалиметрического оценивания конкурирующих вариантов МВИ

При работе с данным программным продуктом проектировщик должен последовательно выполнить следующие действия или операции:

- сформировать набор из предложенных в базе данных конкурирующих вариантов решения поставленной измерительной задачи;
- выделить главные свойства, определяющие качество будущих измерений;
- произвести попарное сопоставление всех рассматриваемых вариантов МВИ по всем выделенным главным свойствам и рассчитать по предлагаемой специальной методике для каждого варианта проекта соответствующий ему индекс преваляирования его по данному свойству над всеми остальными вариантами проекта;
- произвести попарное сопоставление всех выделенных главных свойств по их важности или значимости в отношении качества МВИ в целом и рассчитать соответствующие им коэффициенты весомости;
- произвести комплексирование полученных количественных оценок сопоставляемых вариантов МВИ по всем выделенным главным свойствам с учётом их коэффициентов весомости и рассчитать для каждого варианта комплексный показатель его преваляирования над всеми остальными вариантами.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ СТБ ISO/TS 16949

Соколовский С.С., Малиновская С.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В современном мире для сохранения и повышения конкурентоспособности требуется держать под контролем все технические, административные и человеческие факторы, влияющие на качество продукции. Это возможно только при условии создания в организации определенной документированной системы менеджмента качества. Эффективно и результативно функционирующая система менеджмента качества позволяет учитывать требования, пожелания и запросы потребителей и других заинтересованных сторон, обеспечить разработку и реализацию политики и стратегических целей в области качества продукции и услуг.

Автомобильная промышленность – это одно из наиболее быстро развивающихся в XXI веке направлений. Прежде всего это обусловлено массовостью потребления и, как следствие, огромным предложением и выбором на рынке.

В организациях все чаще возникает необходимость создания системы управления, соответствующей не только стандарту СТБ ISO 9001, но и модернизированной в соответствии со стандартами, отражающими специфику конкретной отрасли и содержащими повышенные требования к системам менеджмента качества.

СТБ ISO/TS 16949 содержит особые требования по применению СТБ ISO 9001, касающиеся производства автомобилей и комплектующих к ним, а также сервисных организаций данного профиля, но при этом использует требования стандарта СТБ ISO 9001 в качестве основополагающих.

СТБ ISO/TS 16949 составлен таким образом, что полностью содержит требования стандарта СТБ ISO 9001 и просто включает в себя дополнительные (особые) требования и замечания по всему документу. В связи с этим, для уменьшения затрат и времени, организация может внедрять систему менеджмента качества, которая будет соответствовать определенным требованиям СТБ ISO/TS 16949 и распространяться на меньшую часть организации (например, на одну производственную линию или цех), которая относится к автомобильной промышленности. Требования, представленные в стандарте, являются обязательными.

Принципиальные отличия СТБ ISO/TS 16949 от СТБ ISO 9001 отражены в следующих пунктах:

- 5.5.1 «Ответственность и полномочия» - персонал, ответственный за качество продукции, должен иметь полномочия остановить производство, чтобы устранить проблемы в области качества (можно отнести к вовлеченности персонала);

- 6.2.2 «Компетентность, подготовка и осведомленность» - персонал, работа которого может влиять на качество, должен быть проинформирован о последствиях для потребителя при несоблюдении требований к качеству;

- 6.3 «Инфраструктура» - включено требование рациональности расположения производства и оптимизации перемещения материалов и синхронизации материальных потоков;

- 6.4 «Производственная среда» - требования расширены и включают в себя обеспечение безопасности персонала, требования к чистоте помещений;

- 7.1 «Планирование создания продукции» - должны быть определены и одобрены потребителем критерии приемки, обеспечена конфиденциальность;

- 7.3 «Проектирование и разработка» - здесь основные требования определяют необходимость использования специальных методов для уменьшения или исключения риска отказа в эксплуатации и др.;

-7.4.3 «Верификация закупленной продукции» - содержит требования статистической обработки и оценки результатов входного контроля, а также обязательный мониторинг поставщика, который предусматривает документирование процесса аудита поставщика;

- 7.5.1 «План управления» - фактически дублирование процессов проектирования продукции, управления конструкторской и технологической документации, документ крайне важен для потребителя с точки зрения выполнения функций контроля;

- 7.5.1.2 «Рабочие инструкции» - необходимость четкого описания технологических операций и требований к выполнению работы;

- 7.5.5 «Сохранение соответствия продукции» - требование разработки документированной процедуры, обеспечивающей сохранность продукции на складах, регламентирования сроков хранения и обеспечение их соблюдения;

- 7.6.3 «Требования к лабораториям» - необходимость аккредитации лабораторий для под-

тверждения ее компетентности в определенной области испытаний;

- 8.2.2 «Аудит системы менеджмента качества» и «Аудит процесса изготовления» - наряду с аудитом процессов СМК, этот пункт требует организации и проведения аудита процессов производства (в основном, технологических процессов) и аудита продукции. Это специальные виды технического аудита, требующие для своего проведения разработки специальных методик и обучения специалистов;

- 8.2.3.1 «Мониторинг и измерение процессов производства» - ставит задачу исследования процессов с целью оценки их возможности обеспечивать стабильность качества изготовления продукции;

- 8.2.4.2 «Эталоны внешнего вида» - требуется разработка документированной процедуры по управлению образцами – эталонами внешнего вида;

- 8.3.4 «Разрешение потребителя на отклонение» - содержит требования одобрения процесса производства и обязательного согласования с потребителем любых отклонений;

- 8.5.1.2 «Улучшение процессов производства» - необходимость использования концепции 6С для «снижения вариации в характеристиках продукции и параметрах процесса производства».

Среди дополнительных требований ключевыми являются требования, касающиеся внедрения следующих методик:

- Перспективное планирование качества продукции (APQP);

- Процесс одобрения производства компонента (PPAP);

- Анализ измерительных систем (MSA);

- Анализ видов и последствий потенциальных отказов (FMEA);

- Статистическое управление процессами (SPC).

Как показывает анализ, в настоящее время по целому ряду причин как объективного, так и субъективного характера наибольшие сложности на предприятиях вызывает внедрение методик SPC. К таким причинам в первую очередь можно отнести недостатки, свойственные нормативно – методическому обеспечению этого процесса, недостаточно высокий уровень подготовки персонала, отсутствие необходимой его заинтересованности, факторы организационно-технического характера и пр.

Технология SPC – это метод мониторинга производственного процесса с целью управления качеством продукции «непосредственно в процессе производства» вместо проведения кон-

трольных проверок для обнаружения уже случившихся проблем.

Статистическое управление предполагает применение статистических методов для анализа процесса и /или его результатов, поддержания статистически управляемого состояния и улучшения способностей. Использование статистических методов предполагает высокую степень надежности принимаемых решений и обеспечивает возможность предотвращать ошибки или возникновение дефектов.

Методы статистического контроля разнообразны, однако не все используются, так как процесс характеризуется временной продолжительностью и динамичностью.

Статистический контроль качества позволяет решать такие задачи, как установление гарантии качества для потребителей, получение и анализ информации о влияющих на качество процесса факторах, прогнозирование уровня брака и т. д.

Статистические методы можно классифицировать по признаку общности на три основные группы:

- графические методы (семь инструментов контроля качества), которые позволяют простыми методами решить до 95 % проблем, возникающих при контроле качества в самых разных областях;

- методы анализа статистических совокупностей;

- экономико-математические методы.

Также сегодня активно развиваются 7 новых инструментов качества – это диаграммы сродства, диаграммы зависимостей, системная (древовидная) диаграмма, матричная диаграмма, стрелочная диаграмма, диаграмма планирования оценки процесса (PDPC), анализ матричных данных.

«Семь новых инструментов контроля качества» относятся к методам обработки главным образом словесных (описательных) данных. Применение этих инструментов особенно эффективно, когда их используют как методы наиболее полной реализации планов на основе системного подхода в условиях сотрудничества всего коллектива организации.

1. СТБ ISO 9001-2009 – Системы менеджмента качества. Требования.

2. СТБ ISO/TS 16949-2010 – Системы менеджмента качества. Особые требования по применению СТБ ISO 9001-2009 для организаций, производящих составные и запасные части, используемые в автомобилестроении.

3. СТБ 1505-2015 – Системы менеджмента. Менеджмент процессов. Методы статистического управления процессами.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА БАЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ

Соломахо В.Л.¹, Цитович Б.В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный институт повышения квалификации по стандартизации, метрологии и управлению качеством
Минск, Республика Беларусь

Для современного производства применение «статистического контроля» и «статистического управления» параметрами технологического процесса является атрибутом характеризующим с одной стороны, культуру производства, с другой – технический потенциал и конкурентоспособность организации. Статистическое управление применяют для контроля технологического процесса по упорядоченным выборкам, последовательно отбираемым во времени. Результатом такой процедуры может быть принятие корректирующих воздействий, при определенном состоянии технологического процесса. В технической литературе такое состояние процесса определяется как управляемость процессом. Для того, чтобы технологический процесс был управляемым, должны соблюдаться несколько условий, которые оговариваются в литературе и в нормативной документации [1-4].

Методика проектирования процедур «статистического контроля» и «статистического управления» предполагает построение абстрактных (не связанных с объектом контроля) математических моделей распределения случайных величин, что создает предпосылки для приоритета чисто математических процедур углубляя разрыв между моделью и ее реальным приложением в технологии производства

Признавая возможности эффективного использования математического аппарата теории вероятностей и математической статистики, не следует забывать об ограничениях, которые на его использование накладывает технология производства. Эти ограничения могут привести к тому, что эффектно оформленная и представленная в традиционном виде обработка результатов наблюдений может способствовать принятию ошибочных решений.

Следует отметить несколько принципиальных положений, игнорирование которых может свести на нет предпринимаемые усилия по внедрению статистических методов контроля и управления качеством:

1. Процесс, по отношению к которому, применяется методика статистического управления должен быть статистически управляемым (т. е. рассеивание параметров практически должно быть равно или меньше ширины поля

допуска). Более того, для уверенного применения простых контрольных карт Шухарта, желательно иметь индекс воспроизводимости $C_p \geq 1,3$, что несколько увеличивает стоимость их реализации.

Управление технологическим процессом осуществляется опосредованно через анализ обнаруженных тенденций изменения положения центра группирования оцениваемого параметра. Такой алгоритм реализации процедуры позволяет выявлять брак, но не осуществлять его профилактики, а статистическое оценивание рассеяния мгновенной выборки позволяет снизить риски случайного выхода параметра за допустимую границу.

2. Оцениваемый параметр должен однозначно представлять результаты технологического процесса. На практике различают процессы, параметры которых однократно воспроизводятся на одном объекте (например, в случае контроля массы или объема), а также процессы, которые характеризуются бесконечным множеством номинально одинаковых величин, фактически отличающихся друг от друга (особенно это характерно для линейных и угловых размеров детали).

При различиях номинально одинаковых параметров сопоставимых с величинами смещения центров группирования параметра в соседних выборках, оценивание тенденций смещения этих центров существенно затрудняется. Это значит, что для правомочного применения «статистического контроля» в подобных случаях необходимо, в обязательном порядке, провести предварительное исследование технологического процесса, чтобы выявить контроль сечение (контрольную точку), которое может быть использовано для представления параметра. Если такое значение параметра не имеет места, мониторинг и «статистические методы» к процессу неприменимы.

Мониторинг процесса возможен и в том случае, если объект обработки фактически характеризуется бесконечным множеством номинально одинаковых параметров, которые отличаются друг от друга на величину, пренебрежимо малую по сравнению с величинами смещения центров группирования параметра в соседних выборках.

Например, если погрешности формы номинально цилиндрической поверхности (колебания размеров на одной детали) пренебрежимо малы по сравнению с изменениями усреднённых размеров в соседних выборках, мониторинг процесса принципиально возможен. Под «усреднённым размером» выборки подразумевается одно из значений, используемых в контрольных картах, например, среднее арифметическое выборки или её медиана.

3. «Статистическое управление» можно эффективно применять в случае, когда существует возможность использовать для расчета границ управления статистик и констант, полученных на базе обработки данных априорной информации по результатам контроля аналогичного технологического процесса, качество которого соответствует нормированному. При отсутствии априорной информации, нормирование таких статистик как \bar{X} и \bar{R} представляет собой достаточно сложную задачу, так как отсутствуют рекомен-

дации, связывающие указанные статистики с допуском контролируемого параметра.

Несоблюдение данных положений может превратить «статистические методы контроля и/или управления» в красиво представленный, но малоэффективный процесс.

1. Соломахо, В.Л. Комплекс статистических показателей для оценки качества процесса / В.Л. Соломахо, К.И. Дадьков // Журнал «Стандартизация» № 1. – 2007. – С.38–42.
2. ГОСТ Р 50779.41-96 Статистические методы. Контрольные карты для арифметического среднего с предупреждающими границами.
3. ГОСТ Р 50779.42-99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта.
4. ГОСТ Р ИСО 21747-2010 Статистические методы. Статистики пригодности и воспроизводимости процесса для количественных характеристик качества.

УДК 621

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ

Спесивцева Ю.Б., Матюш И.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Контрольные приспособления широко используются на производстве и должны обеспечивать объективность и производительность измерительного контроля. В работе приводится формализованная методика расчета контрольного приспособления на точность, созданная с помощью базы знаний, ориентированной на решение метрологических задач. Методика реализуется тремя этапами: 1) выявление и анализ источников погрешности; 2) нормирование точности параметров, отклонения которых приводят к погрешности измерения; 3) комплексирование и корректировка норм точности в случае необходимости. Методика рассмотрена на примере приспособления для контроля торцевого биения и конусности (рисунок 1).

Рассматривается измерительный узел для контроля торцевого биения, состоящий из стойки 9, в которой установлены неподвижный центр 11, регулируемый центр 10, державка 12 с упором 15 и закреплённым в ней индикатором 13. Принцип действия: державку с индикатором при помощи ручки 14 привести в рабочее положение до упора. Индикатор настроить на ноль, обеспечив натяг. Отвести державку в сторону, затем снова привести в рабочее положение. Измерение повторять не менее 5 раз.

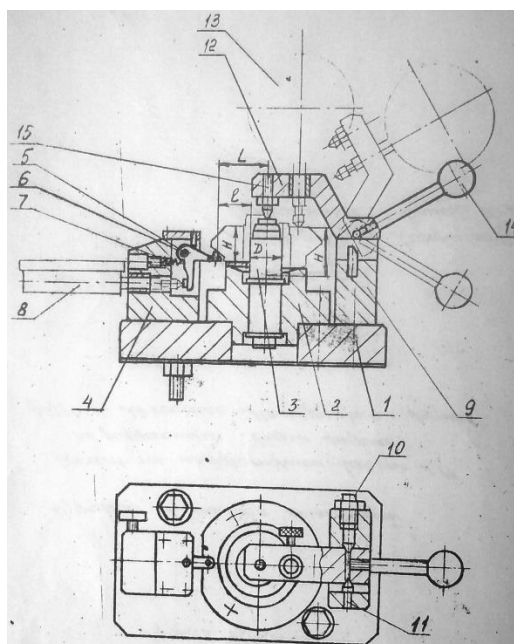


Рисунок 1 – Эскиз контрольного приспособления

Погрешность измерительного узла для контроля торцевого биения не должна превышать 0,06 мм.

Требуется определить инструментальную составляющую погрешности устройства. Расчеты выполняются на основе следующих положений:

– каждая из отдельных составляющих погрешности рассчитывается в соответствии с принципом суперпозиции погрешностей как независимая при фиксации других дефектных воздействий,

– числовые значения параметров и их допуски принимаются в соответствии с конструкторской документацией.

Измерения осуществляют в нормальных условиях. При снятии отсчета без интерполирования погрешность отсчитывания составляет не более половины цены деления отсчётного устройства: $\Delta_{оп} = 5$ мкм (используется индикатор ИЧ-10 с ценой деления 10 мкм).

Методическая составляющая погрешности измерения (рисунок 2) может быть обусловлена идеализацией объекта измерения (отклонение от плоскостности базируемой поверхности детали).

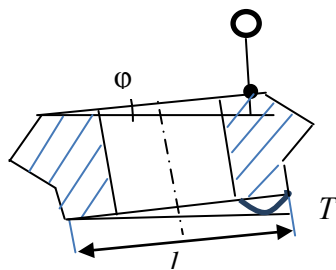


Рисунок 2 – Оценка методической составляющей погрешности измерения

В детали 2 приспособления сделана выборка, поэтому методическая составляющая влиять не будет.

Инструментальная погрешность включает две комплексные составляющие:

– основная погрешность индикатора, которая составляет 10 мкм;

– погрешность устройства базирования $\Delta_{уб}$ измерительной головки и детали.

Количественный анализ точности базирующего устройства выполняется в виде расчетов размерных цепей. Положение каждого рабочего элемента 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 измерительного наконечника относительно контролируемой детали [1]:

$$\Delta_{уб} = uz + C_1 ux + C_2 uy + C_3 u\varphi_x + C_4 u\varphi_y + C_5 u\varphi_z \quad (1)$$

где uz – основная комплексная составляющая неопределенности взаимного положения схемных элементов,

$ux, uy, u\varphi_x, u\varphi_y, u\varphi_z$ – погрешности 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 .

По источнику возникновения все неопределенности можно разделить на теоретические, свойств материала, технологические и эксплуатационные. В данном случае очевидно отсутствия неопределенностей свойств материала, схемных и параметрических теоретических неопределенностей.

Конструктивные теоретические неопределенности, возникающие при материализации вышних кинематических пар, также отсутствуют.

Вследствие малости измерительного усилия ИЧ-10 и с учетом того, что измерения проводятся в нормальных условиях, можно говорить об отсутствии силовых и температурных деформаций, т.е. об отсутствии эксплуатационных неопределенностей. Таким образом, имеют место только технологические неопределенности.

Несложный анализ показывает, что из шести составляющих (1) влиять на погрешность будет перекося измерительного наконечника относительно его номинально перпендикулярного положения к поверхности контролируемой детали.

Источники перекося составляют звенья размерной цепи:

A1 – отклонение от соосности рабочей поверхности центра 10 относительно оси базовой поверхности центра;

A2 – отклонение от соосности рабочей поверхности центра 11 относительно оси базовой поверхности центра;

A3 – отклонение от соосности посадочных отверстий стойки 9;

A4 – отклонения от плоскостности рабочей поверхности плиты 1;

A5 – торцовое биение базовой поверхности опоры 2 относительно внутренней ее поверхности;

A6 – отклонения от соосности рабочей и базовой поверхностей пальца 3.

Перечисленные составляющие приводят к наклону линии измерения по отношению к ее идеальному направлению. Для случая контроля годной детали наибольшее значение измерительного перемещения можно принять равным допуску биения T , а соответствующую погрешность измерения рассчитать по формуле [2]:

$$\Delta = T \sin^2 \alpha. \quad (2)$$

Определим составляющую инструментальной погрешности, соответствующую звену A1 – отклонение от соосности рабочей поверхности

центра 11 относительно оси базовой поверхности центра (рисунок 3).

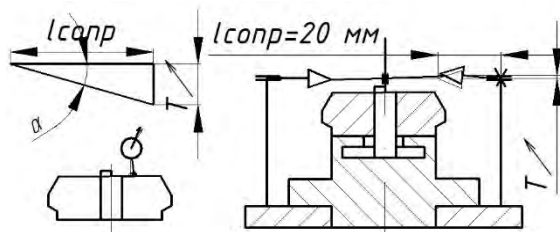


Рисунок 3 – Оценка инструментальной составляющей погрешности А1

Допуск соосности $T = 5$ мкм. Длина сопряжения центра со стойкой $l_{сопр} = 20$ мм.

$$\alpha = \arctg \frac{0,005}{20} = 0,014^\circ.$$

При допуске торцового биения зубчатого колеса 180 мкм звено А1 вносит погрешность измерения (2):

$$\Delta 1 = 10,4 \times 10^{-6} \text{ мкм.}$$

Расчет остальных составляющих в этой цепи аналогичен. Числовые значения углов поворота близки к α , а значения составляющих

погрешности относятся к пренебрежимо малым величинам и в дальнейших расчетах могут не учитываться.

Таким образом, погрешность измерения с помощью контрольного приспособления составляет $\Delta = 15$ мкм и обусловлена погрешностью используемой измерительной головки и погрешностью снятия показаний оператором. Можно также сделать вывод, что погрешности из-за постоянного несовпадения линии измерения с номинальным направлением, как правило, всегда будут пренебрежимо малы из-за малости углов наклона линии измерения и небольших измерительных перемещений.

1. Серенков, П.С. Методы менеджмента качества. Проектирование норм точности: учеб. пособие / П.С. Серенков, Ю.Б. Спесивцева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – 336 с.
2. Цитович, Б.В. Метрологическая экспертиза и нормоконтроль. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие / Б.В. Цитович. – Минск: БНТУ, 2008. – 119 с.

УДК 681

ТОЧНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Хорлоогийн А.С., Астапчик О.С., Дубицкий Д.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Координатно-измерительные машины (КИМ) в мировом машиностроении применяются достаточно давно и по праву считаются одними из самых точных средств измерения. На данный момент в мировом масштабе принято использовать концепцию неопределенности в связи с чем в соответствии с требованиями международных стандартов, результат измерений, помимо измеренного значения, должен содержать неопределенность измерений. Получение достоверного значения неопределенности в координатной метрологии является достаточно сложной задачей. Это связано с тем, что КИМ являются очень гибким инструментом, на который влияет большое количество факторов.

В математическую модель кроме точечной оценки входит большое количество поправок обусловленных:

- 1 инструментальной погрешностью средства измерения;
- 2 используемой методикой выполнения измерений;
- 3 погрешностями формы и расположения измеряемых поверхностей деталей;
- 4 используемыми алгоритмами обработки измеренных точек;

5 внешними факторами.

Поддающимися управлению с целью снижения неопределенности измерений являются факторы: 2 – используемая методика выполнения измерений, 4 – используемые алгоритмы обработки измеренных точек и 5 – внешние факторы.

К внешним влияющим факторам относятся температура, влажность и засоренность окружающей среды. Они могут поддерживаться на необходимом уровне, либо компенсироваться, например, включением термокомпенсации. Методика выполнения измерений представляет собой последовательность выполнения измерений, которая включает в себя: черновое (стартовое) и чистовое базирование посредством измерения базовых поверхностей, последовательность и способ измерения точек на остальных поверхностях, используемые алгоритмы обработки измеренной информации, способ построения и расчета геометрических параметров из известных измеренных параметров, порядок представления информации в протоколе. Особое значение имеют используемые алгоритмы обработки измеренных точек [1].

Расчет неопределенности измерения для КИМ является достаточно сложной задачей, в

связи с чем чаще всего данной процедурой пренебрегают, считая неопределенность измерения равной неопределенности указанной в паспорте КИМ (при этом необходимо соблюдать условия эксплуатации КИМ). Под данной характеристикой обычно понимают только величину ошибки MPE (Maximum Permissible Error), которая определена в группе стандартов EN ISO 10360 и имеет вид

$$MPE = A + L/K, \text{ мкм,}$$

где L – длина измеряемого объекта, мм; A, K – постоянные, характеризующие КИМ [2].

По нормам DIN EN ISO 10360 каждое отклонение обозначается как MPE. Оно указывает предельное значение, за пределы которого не может выходить погрешность при выполнении измерения с помощью КИМ. В зависимости от вида погрешности выделяют предельно допустимое отклонение метрологической характеристики:

- 1 предельное значение погрешности линейного измерения MPE_E ;
- 2 предельное значение погрешности линейного измерения при измерении с оптическими сенсорами $MPE_{E-2D(OT)}$;
- 3 предельное значение погрешности касания при применении расстояния сенсоров $MPE_{PF(OT)}$;
- 4 предельное значение погрешности касания MPE_p ;
- 5 предельное значение погрешности касания MPE_{TNR} и MP_t ;
- 6 предельное значение погрешности касания при измерении с оптическими сенсорами $MPE_{E-2D(OS)}$.

1 Предельное значение погрешности линейного измерения MPE_E

Для определения погрешности линейного измерения измеряются откалиброванные концевые меры разной длины или ступенчатые концевые меры. Должно быть определено соответственно 5 различных участков длины в 7 любых позициях в рабочем объеме измерительной машины. Каждая длина измеряется трижды. Полученные значения сравниваются с откалиброванными значениями. При этом погрешность не должна превышать погрешности спецификации. Спецификация чаще всего выдается в зависимости от длины в форме

$$MPE_E = A + L/K.$$

2 Предельное значение погрешности линейного измерения при измерении с оптическими сенсорами $MPE_{E-2D(OT)}$

Для определения погрешности линейного измерения измеряют деталь в форме стеклянной линейки. Расстояния между отдельными маркировками откалиброваны таким образом, что из сравнения между измеренными и откалиброванными значениями можно определить погреш-

ность линейного измерения. Она не должна превышать заданное значение для погрешности линейного измерения $MPE_{E-2D(OT)}$. Как и у тактильных сенсоров индекс E (по-английски E = error (ошибка) обозначает погрешность линейного измерения. Дополнительно индекс E указывает на то, что речь идет о 2D измерении, так как оно производится оптическими камерами. Данные OT (по-английски Optical Error Translatory – ошибка оптического преобразования) указывает на то, что КИМ перемещает оптическую измерительную головку между измерением отдельных штрихов линейки. Таким образом, учитываются погрешности КИМ и измерительной головки.

3 Предельное значение погрешности касания при применении расстояния сенсоров $MPE_{PF(OT)}$

При определении погрешности касания у двумерных оптических сенсоров измерительная головка измеряет матовую сферу с незначительным отклонением от формы. Определенное отклонение от формы не должно превышать установленное значение для погрешности касания $MPE_{PF(OT)}$. Значение PF обозначает вид измерения (по-английски Probing Form – вид ощупывания). Так как измерительная головка в одной позиции может определить только одну линию, то измерительная сфера должна двигаться измерительной машиной. Значение OT (по-английски Optical Error Translation – погрешность оптической передачи) указывают на то, что КИМ двигает камеру и что отклонения КИМ и измерительной головки учитываются.

4 Предельное значение погрешности касания MPE_p

Для определения погрешности касания ощупывается сфера (диаметр от 10 до 50 мм) с незначительной погрешностью формы в 25 рекомендованных положениях по ISO 10360-2. Из значений измерения рассчитывается так называемый заменяющий шар, рассчитанный по Гауссу. Разница радиальных расстояний от центра заменяющего шара не должно превышать значения спецификации.

5 Предельное значение погрешности касания MPE_{TNR} и MP_t

Для определения погрешности касания при сканировании сканируется сфера с незначительной погрешностью формы (диаметр 25 мм) по 4 траекториям, установленным в ISO 10360-4. При сравнении измеренных значений с MPE_{TNR} спецификацией должны быть выполнены два условия. Во-первых, разница радиальных расстояний, определенная через отдельные точки, от центра заменяющего шара не должна превышать значение спецификации (см. MPE_p). Во-вторых, разница между радиальными дистанциями и откалиброванным диаметром сферы не должна быть больше, чем значение спецификации. Кроме того, требуемое для проверки время t должно

соответствовать спецификации, так как скорость имеет существенное влияние на результат. Когда указаны точность и требуемое время значение погрешности касания при сканировании, это является важным индикатором производительности координатной измерительной машины.

6 Предельное значение погрешности касания при измерении с оптическими сенсорами $MPE_{E-2D (OS)}$

При определении погрешности касания при измерении с оптическими сенсорами измеряется окружность с небольшим отклонением формы, которая наносится на стеклянную плиту и при этом определяется погрешность окружности. Эта погрешность не должна превышать определенное значение для допустимого отклонения касания $MPE_{E-2D (OS)}$ Первый индекс PF обозначает (по-английски Probing Form – вид ощупывания). 2D означает двухмерное измерение. OS (по-английски Optical Error Static – оптическая ошибка статики) означает неподвижно установленную измерительную головку.

УДК681

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Янченко В.С., Ярмолович М.А.

Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

Современный технический прорыв, достигнутый за последние два десятилетия в области информационных технологий, все более глубоко внедряется во все сферы деятельности, и энергетика не является исключением. Сложившаяся энергетическая инфраструктура, представляющая собой электростанцию, сеть электропередачи и потребителя может оказаться несостоятельной в мире с широко распространенными энергоэффективными производствами, растущей нагрузкой мелких домохозяйств, ввиду перехода на электромобили и прогресса, достигнутого в альтернативной энергетике. Более того, энергетическая трансформация является просто необходимой в условиях надвигающегося экологического и ресурсного кризиса.

Решением данных проблем должны стать такие инновационные концепции, как распределенная генерация электроэнергии, кластеры мини-электростанций, активно-адаптивные сети.

Рассмотрим один из наиболее перспективных способов преодоления структурно-технологического кризиса в энергетике – построение взаимосвязанных самоорганизующихся интеллектуальных энергетических систем. Данные системы предполагают, что ввиду прогресса достигнутого прежде всего в солнечной и ветряной генерации, потребитель электроэнергии является одновременно ее производителем,

Так, например, для машины Romer Multigage данная величина:

$$MPE_E = 5 + L/40 \text{ мкм.}$$

Ошибка MPE указывает предельное значение, за пределы которого не может выходить неопределенность при выполнении измерительного задания.

Так как на производстве нет возможности свести все влияющие факторы к минимуму, то необходимо создать более гибкую систему определения неопределенности измерения позволяющую учитывать любые их отклонения от нормы.

1 Гапшис В.А. и др. Координатные измерительные машины и их применение. М. Машиностроение, 1988, – 328 с.

2 Зубарев Ю.М., Косаревский С.В., Ревин Н.Н. Автоматизация координатных измерений. Учебное пособие. — СПб.: Изд-во ПИМаш, 2011. — 160 с.: ил.

также в данных системах присутствуют традиционные системы электрогенерации, и активно-адаптивные сети, способные транспортировать электроэнергию в любом направлении. При большом количестве потребителей и производителей электроэнергии ключевым вопросом является грамотное распределение энергии, при котором потребитель должен получить энергию в необходимом объеме и по конкурентной цене, а производитель выгодно продать. Ядром данной системы является компьютерный алгоритм, который непосредственно принимает решение о распределении энергии.



Рисунок 1 – Самоорганизующаяся интеллектуальная энергетическая система

Задача создания данного алгоритма не является тривиальной ввиду многочисленности абонентов, большого количества их энергетических характеристик (качества электроэнергии), а также динамически изменяющейся нагрузки и мощности генерации. Таким образом, алгоритм должен собирать информацию о вышепречисленных параметрах в реальном времени и на основании полученных данных обеспечивать стабильность работы системы и ее оптимальность. Это возможно только при условии, что алгоритм не только будет активно реагировать на изменение параметров, но и осуществлять прогностический анализ. Достигнутый прорыв в области нейронных сетей уже сегодня позволяет создавать данные системы.

Нейронная сеть (искусственная нейронная сеть) – математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма.

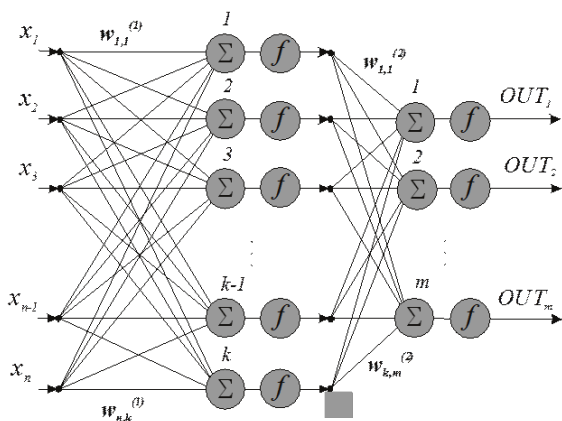


Рисунок 2 – Структурная схема перцептрона, простейшей нейронной сети

Данный вид алгоритмов, построенных по технологиям нейронных сетей, имеет несколько существенных преимуществ:

- эффективная работа с динамическими системами;
- возможность задания не полностью формализованной задачи;
- высокая отказоустойчивость;
- способность выделения паттернов в большом объеме информации и др.

Все данные достоинства явились драйвером для повсеместного распространения данных алгоритмов и применения их в экономике, медицине, робототехнике, сфере информационных технологий и т.д. Однако, существуют недостатки, такие как необходимость большого объема обучающих данных, высокой вычислительной мощности компьютерного оборудования, высокой квалификации кадров, проектирующих данные сети.

Существуют различные виды нейронных сетей, также крайне важен выбор количества слоев и количества нейронов в данных слоях, подбор пуллинга и многое другое.

Рассмотрим работу интеллектуальной энергетической системы структурно.

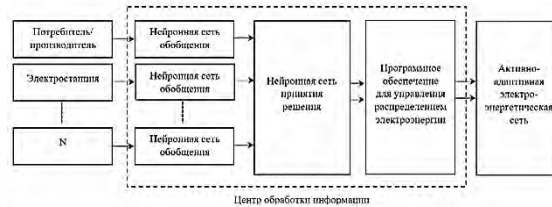


Рисунок 3 – Структурная схема интеллектуальной энергетической системы

Каждый абонент данной сети должен иметь устройства контроля количественных и качественных показателей электроэнергии, которыми могут выступать анализаторы качества электроэнергии или smart-счетчики. Данные приборы, используя информационные сети, передают измеренные значения параметров качества потребляемой либо производимой мощности, а также величину самой мощности в центр обработки информации. Программное обеспечение состоит из нейронной сети обобщения качественных показателей, нейронной сети принятия решений и ПО для обеспечения управления распределением электроэнергии. Задача первой из нейронной сети заключается в сведении множества параметров качества и величины мощности к одному параметру, передаваемому далее. Также в данном блоке должен осуществляться анализ качества электроэнергии и формироваться заключение о возможных неисправностях и причинах их возникновения. Данная информация позволит абонентам сети оперативно принять меры по устранению неисправности и минимизировать отрицательное влияние на всю энергосистему. Нейронная сеть принятия решения непосредственно осуществляет оценку распределения нагрузки и потребления электроэнергии в режиме реального времени, с помощью данной информации и владея сведениям об исторических паттернах сеть оптимизирует работу системы по показателям максимальной стабильности и эффективности. Далее информация передается в блок программного обеспечения для управления распределением электроэнергии, который осуществляет сопряжение с аппаратными системами активно-адаптивной электроэнергетической сети.

В будущем данная система позволит успешно совместить традиционные электростанции и рынок частной генерации электроэнергии. Широко известно, что более 20% мощности электростанций резервируется на пиковое суточное потребление и не используется большую часть времени, системы подобные описанным

выше нивелируют данную потребность. Также будет иметь место постоянный мониторинг параметров качества электрической энергии, что повысит эффективность использования энергии. Важным параметром является цена электроэнергии, с помощью активных электроэнергетических сетей появится возможность потреблять электроэнергию от того производителя, который в данный момент времени предлагает самую низкую цену, ввиду технических, климатических или логистических особенностей. Все вышеперечисленные факторы позволят существенно снизить издержки, связанные с производством и потреблением электроэнергии, и, следовательно, значительно повысить конкурентоспособность продукции.

1. Бушуев В. В., «Умная» энергетика на базе новых организационно технологических принципов управления инфраструктурными системами// Доклад на XI Международной научно-технической конференции «Интеллек-

туальная электроэнергетика, автоматика и высоковольтное коммутационное оборудование». – М., 2011. – 22 с.

2. IBM Business Consulting Services, Построение интеллектуальной электрической сети для передающих и распределительных энергокомпаний – М., 2005. – 20 с.
3. А. С. Каменев, С. Ю. Королев, Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей. – М., 2012. – 125.
4. M. Tarafdar Haque, and A.M. Kashtiban, Application of Neural Network in Power system; A Review, World Academy of Science, Engineering and Technology, pp 53-57, June 2005.
5. K.W. Chan, A.R. Edward, A.R. Danish, On-Line Dynamic Security Contingency Screening Using Artificial Neural Network, IEEE Trans. Power Distribution System, pp. 367-372, November 2000. World Academy of Science, Engineering and Technology 6 2005.

**Секция 3. ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

УДК 621.3.038.825.2

**DIODE-PUMPED Er,Yb:GdAB LASER PASSIVELY Q-SWITCHED
BY MBE-GROWN Cr:ZnS/Cr,Co:ZnS THIN FILMS**

**Gorbachenya K.N.¹, Kisel V.E.¹, Yasukevich A.S.¹, Tolstik N.², Karhu E.², Furtula V.², Sorokin E.³,
Maltsev V.V.⁴, Leonyuk N.I.⁴, Gibson U.², Sorokina I.T.², Kuleshov N.V.¹**

¹Center for Optical Materials and Technologies, Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

²Department of Physics, Norwegian University of Science and Technology,
Trondheim, Norway

³Photonics Institute, Vienna University of Technology,
Vienna, Austria

⁴Department of Crystallography and Crystal Chemistry, Moscow State University
Moscow, Russia

Q-switched erbium lasers emitting in the 1.5-1.6 μm spectral region are widely used in optical location and LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) systems because of eye-safety and weak absorption in the atmosphere. Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ (Er,Yb:GdAB) crystal was shown to be an efficient laser material for the 1.5-1.6 μm spectral range [1]. A passively Q-switched regime of operation of Er,Yb:GdAB laser was demonstrated recently with Co²⁺:MgAl₂O₄ crystal as saturable absorber [2]. Here we report a diode-pumped Er,Yb:GdAB laser emitting near 1.5 μm passively Q-switched by using of MBE-grown Cr:ZnS and Co,Cr:ZnS thin films.

Thin films of Cr-doped ZnS were deposited using the high purity materials (99.999% purity) in the UHV MBE deposition system at base pressure of $\sim 4 \times 10^{-9}$ Torr and thermal evaporation [3]. High-quality polycrystalline films transparent through the visible and infrared regions were obtained with absorption peak at 1600 nm indicating dominance of the Cr²⁺ oxidation state and a fluorescence peak at 2000 nm. Film thickness was kept in the range 2 to 8 μm with Cr content varied from 0.01 to 3 at.%. Cobalt was added as a codopant to some of the films at 0.1 at.% content.

Absorption and fluorescence spectra of Cr-single-doped films show a well-defined Cr²⁺ bands centered at 1.7 μm and 2 μm , respectively, related to the transitions between ⁵E and ⁵T₂ energy levels (Fig. 1a, 1b). Fabry-Perot etalon effect in the thin Cr:ZnS film resulted in spectrum modulations for both absorption and emission spectra. Swanepoel analysis [4] was used to eliminate the modulations from the absorption spectra. The ⁵T₂ level lifetime was found to be concentration dependent, decreasing from 5.4 μs for 0.012 at.% doped film to 1.3 μs for 0.1 at.% doped film [5].

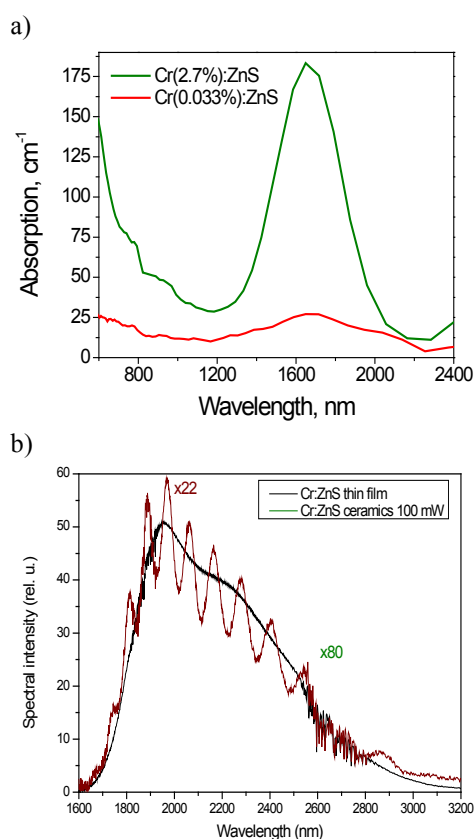


Fig. 1. The absorption (a) and fluorescence (b) spectra of the Cr:ZnS thin films and single crystal

The high quality Er,Yb:GdAB crystal was grown by dipping seeded high-temperature solution growth. The concentrations of the dopants were measured to be 1 at.% for Er³⁺ and 11 at.% for Yb³⁺. The laser cavity consisted of pump mirror (PM) ($R > 99.5\%$ at 1522 nm and $T > 95\%$ at 976 nm) deposited onto external side of the crystal and a flat output coupler (OC) with transmission of 9% at 1522 nm. A saturable absorber (SA) – few- μm thick Cr:ZnS film on 1-mm-thick sapphire substrate - was inserted between the laser element and OC. The minimal geometrical cavity length was about 4 mm, that was

limited by the design of the active element cooling system. The active element (AE), a 1-mm-thick, c-cut Er,Yb:GdAB crystal was wrapped in indium foil and mounted between two copper slabs with a hole in the center to permit passing of pump and laser beams. Its temperature was kept at 14 °C by means of thermo-electrical cooling elements with water-cooled heatsink. A 976 nm fiber-coupled ($\varnothing 105 \mu\text{m}$, $\text{NA}=0.22$) laser diode emitting unpolarized radiation at 976 nm was used as a pump source. The pump beam was focused into the crystal by a focusing system into 120 μm spot ($1/e^2$ intensity). The small-signal pump absorption of the crystal was measured to be near 75%. The setup for laser experiments is schematically shown in Fig. 2.

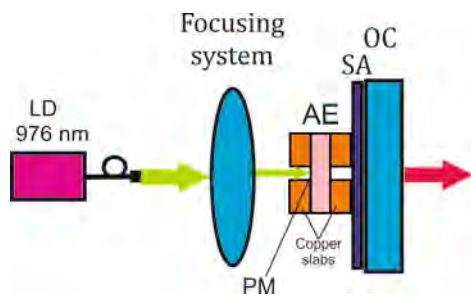


Fig. 2 Schematics for laser experiment

Stable passively Q-switched regime of the Er,Yb:GdAB laser was obtained with Cr:ZnS thin films having Cr concentration from 0.1 to 0.5 at. %. The best laser performance was achieved for 5- μm -thick 0.1 at.-%-doped film additionally codoped with 0.1 at.-% Co, having initial Fresnel-free transmission about 4%. The maximum average output power of 332 mW was demonstrated at 1522 nm (Fig. 3). The spatial profile of the output beam was TEM₀₀ mode with M^2 parameter less than 1.5 (see inset in Fig. 3).

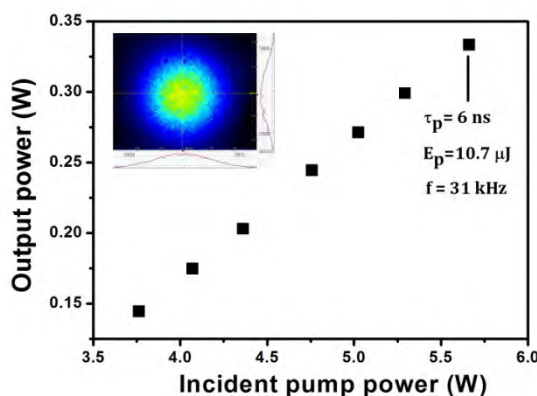


Fig. 3. Average output power vs. absorbed pump power of Q-switched Er,Yb:GdAB laser. The inset shows output beam profile

Laser pulses with energy of 10.7 μJ and duration of 6 ns were obtained at a repetition rate of 31 kHz when the incident pump power was about 4.5 W. The oscilloscope trace of the shortest single Q-switched

pulse measured at incident pump power of 4.5 W with corresponding pulse train is presented in Fig. 4.

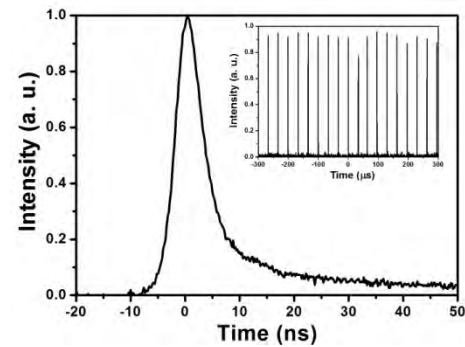


Fig. 4. Oscilloscope traces of the shortest pulse and the corresponding pulse train

In conclusion, passively Q-switched Er,Yb:GdAB laser with MBE-grown Cr:ZnS/Cr,Co:ZnS thin film saturable absorber was demonstrated for the first time to our knowledge. The pulses with 10.7 μJ energy, 6 ns duration, and 31 kHz repetition rate were obtained at the wavelength of 1522 nm. The saturable absorber manufacturing technique allows obtaining integrated AE-SA structures especially interesting for compact microchip Q-switched lasers with minimal pulse duration.

1. K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, V.V. Maltsev, N.I. Leonyuk, and N.V. Kuleshov, "Highly efficient continuous-wave diode-pumped Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ laser," *Opt. Lett.* **38**, 2446–2448 (2013).
2. K.N. Gorbachenya, V.E. Kisel, A.S. Yasukevich, V.V. Maltsev, N.I. Leonyuk, and N.V. Kuleshov, "Eye-safe 1.55 μm passively Q-switched Er,Yb:GdAl₃(BO₃)₄ diode-pumped laser," *Opt. Lett.* **41**, 918–921 (2016).
3. E. Karhu, N. Tolstik, E. Sorokin, S. Polyakov, R. Zamiri, V. Furtula, U. Osterberg, I.T. Sorokina, and U. J. Gibson, "Towards Mid-IR Waveguide Lasers: Transition Metal Doped ZnS Thin Films," in *Conference on Lasers and Electro-Optics*, OSA Technical Digest (2016) (Optical Society of America, 2016), paper STu4R.2.
4. R. Swanepoel, "Determination of the Thickness and Optical-Constants of Amorphous-Silicon," *J. Phys. E-Sci. Instrum.* **16**, 1214–1222 (1983)
5. N. Tolstik, E. Sorokin, E. Karhu, S. Polyakov, U. Gibson, and I.T. Sorokina, "MBE-grown Cr:ZnS Thin Film Laser Media," in *Conference on Lasers and Electro-Optics*, OSA Technical Digest (online) (Optical Society of America, 2016), paper JF1K.5.

GRAPHENE Q-SWITCHED WAVEGUIDE LASER AT 1.83 μm Kifle E.¹, Mateos X.^{1,3}, Loiko P.A.^{1,2}, Yumashev K.V.², Petrov V.³,
Griebner U.³, Aguiló M.¹, Díaz F.¹¹Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus³Max-Born-Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy, Berlin, Germany

Lasers emitting at around $\sim 2 \mu\text{m}$ has gained interest for potential applications in atmospheric sensing, range-finding (LIDAR systems), wind mapping and medical surgeries [1]. Such $\sim 2 \mu\text{m}$ lasers having a waveguide geometry are also useful in integrated optics, e.g., for various gas and bio-molecule on-chip sensors. Trivalent Thulium (Tm^{3+}) ions, efficiency pumped at $\sim 0.8 \mu\text{m}$ (${}^3\text{H}_6 \rightarrow {}^3\text{H}_4$ absorption band), are commonly used to generate $\sim 2 \mu\text{m}$ laser emission from the ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ transition. Monoclinic double tungstates, $\text{KRE}(\text{WO}_4)_2$ or shortly KREW where RE = Gd, Y or Lu, are very suitable hosts for Tm^{3+} doping [2]. In the present work, continuous-wave (CW) and graphene passively Q-switched (PQS) laser operation of $\text{Tm}:\text{KYW}$ planar waveguide is reported.

The studied sample has symmetrical structure with an undoped KYW substrate, a Tm^{3+} -doped lattice-matched active layer and an undoped KYW cladding. The KYW bulk sample was grown by the Top-Seeded Solution Growth (TSSG) slow-cooling method. It was cut parallel to the (010) natural face and polished to laser quality. The Liquid Phase Epitaxy (LPE) method was used to grow the active layer with a composition of $\text{KY}_{0.58}\text{Gd}_{0.22}\text{Lu}_{0.17}\text{Tm}_{0.03}\text{W}$. The as-grown active layer was polished down to 12.4 μm and later an undoped KYW was grown as a cladding which was polished down to a final thickness of 58 μm . The fabricated waveguide sample was oriented for light propagation along the N_g -dielectric axis.

The laser cavity consisted of a flat pump mirror (PM) that was antireflection (AR) coated for 0.7–1 μm and high-reflection (HR) coated for 1.8–2.1 μm and a flat output coupler (OC) providing a transmission of $T_{\text{OC}} = 5\%$ at 1.8–2.1 μm . A transmission-type graphene-SA was inserted between the waveguide and OC. The graphene-SA was a commercial single-layer graphene fabricated by the chemical vapour deposition (CVD) method and deposited on a 1.05 mm-thick uncoated fused silica substrate. The presence of a graphene (single layer of C atoms) was confirmed by Raman spectroscopy and it has a small-signal transmission of 97.7% at $\sim 2.06 \mu\text{m}$ [3].

A Ti:Sapphire laser beam, tuned to 802 nm and polarized along the N_m -optical axis of the active layer, was used as a pump source. The pump light was coupled into the waveguide with a 10X microscope objective lens (NA: 0.28, focal length:

20 mm). The incident pump power was varied with a gradient neutral density (ND) filter placed before the objective. The measured small-signal pump absorption was $\sim 70\%$ and the absorption dropped to $\sim 60\%$ for the highest pump power. The efficiency of the pump light coupling into the waveguide was estimated from the geometrical overlap of the pump beam and the active layer cross-section to be $\sim 24\%$. The laser signal from the waveguide was filtered with a cut-off filter and coupled out with a 40 mm aspheric lens. The scheme of the laser set-up is shown in Fig. 1. The emission wavelength was detected with an optical spectrum analyzer (Yokogawa AQ6375). The far-field profile of the guided mode was detected using a FIND-R-SCOPE Near IR Camera. A fast InGaAs photodiode (rise time: 200 ps) and a 2 GHz digital oscilloscope were used for detection of the Q-switched pulses.

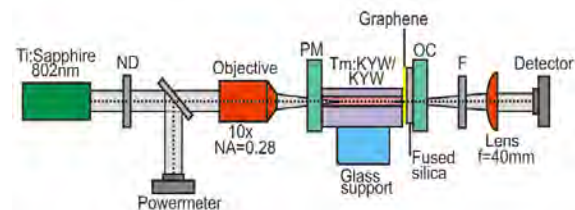


Figure 1 - Experimental set-up: ND – neutral density filter, PM - pump mirror, OC - output coupler, F - cut-off filter

CW $\text{Tm}:\text{KYW}$ waveguide laser generated an output power of 14.4 mW at 1835.4 nm with a slope efficiency η of 18% with respect to the absorbed pump power. The laser threshold was at $P_{\text{abs}} = 38$ mW. Stable passive Q-switching was achieved when inserting the graphene-SA. The maximum average output power reached 6.5 mW at wavelength 1831.8 nm corresponding to $\eta = 9\%$ and a laser threshold at $P_{\text{abs}} = 51$ mW, Fig. 2. The conversion efficiency with respect to the CW operation mode η_{conv} reached 45%. For both CW and PQS regimes the laser output was linearly polarized ($E \parallel N_m$). The output beam of the laser was multimode and strongly elliptic, see inset in figure 2(a).

The dependence of the pulse characteristics (pulse duration, $\Delta\tau$, determined as full width at half maximum, FWHM, pulse repetition frequency, PRF, pulse energy, $E_{\text{out}} = P_{\text{out}}/\text{PRF}$, and peak power, $P_{\text{peak}} = E_{\text{out}}/\Delta\tau$), are shown in figure 3. When the absorbed pump power was increased from 75 to 126 mW, the

pulse duration shortened from 312 to 195 ns and the pulse energy increased from 2.3 to 5.8 nJ. This was accompanied by a nearly linear increase of the PRF, in the 0.73-1.13 MHz range. The maximum peak power reached ~30 mW. These results have shown a significant improvement as compared to [4] where Cr²⁺:ZnS was used as a SA with a similar waveguide structure.

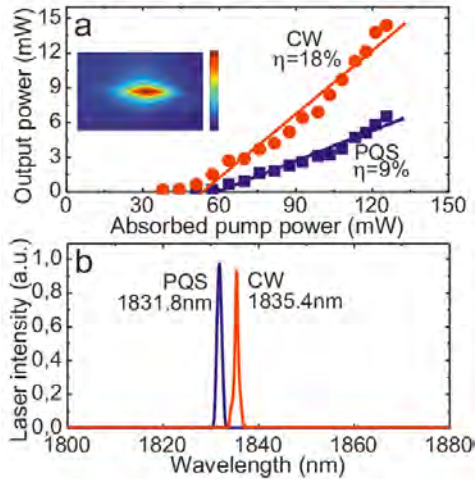


Figure 2 - CW and graphene PQS Tm:KYW waveguide lasers: (a) input-output dependences, η - slope efficiency, *inset* - spatial profile of the laser beam; (b) typical laser emission spectra measured at $P_{abs} = 126$ mW

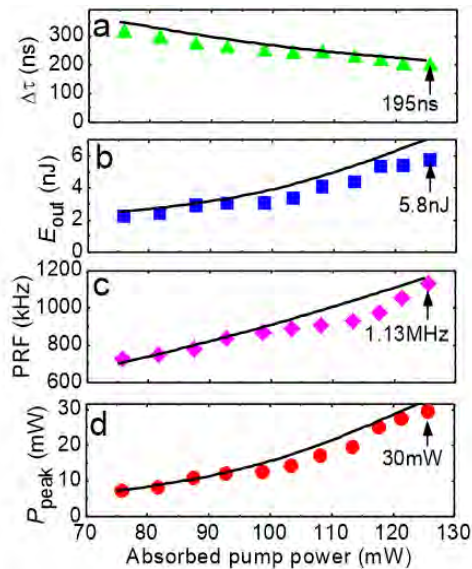


Figure 3 - Graphene PQS Tm:KYW waveguide laser: (a) pulse duration $\Delta\tau$ (FWHM), (b) pulse energy E_{out} , (c) pulse repetition frequency (PRF) and (d) peak power P_{peak} versus the absorbed pump power

The oscilloscope trace of the shortest single Q-switched pulse and the corresponding pulse train are shown in Fig. 4. The intensity instabilities in the pulse train are <10% and the rms pulse-to-pulse

timing jitter is <15%. The Q-switching instabilities in the studied laser are caused mainly by the temporal instabilities of the output of the Ti:Sapphire laser and to less extent – to the heating of the graphene-SA with the non-absorbed pump.

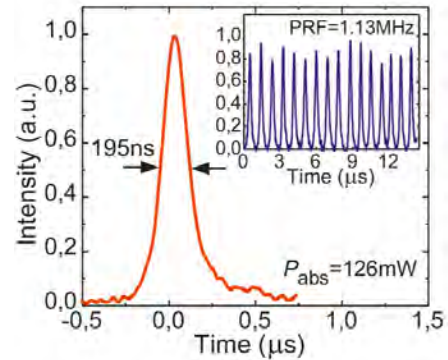


Figure 4 - Oscilloscope traces of a single Q-switched pulse and the corresponding pulse train (*inset*) for graphene PQS Tm:KYW waveguide laser, $P_{abs} = 126$ mW

In conclusion, the first ~2 μ m double tungstate waveguide laser passively Q-switched by a graphene-SA was demonstrated. The laser is based on a buried 3 at.% Tm³⁺:KYW planar waveguide and delivered 5.8 nJ / 195 ns pulses at 1831.8 nm at a high pulse repetition frequency of 1.13 MHz. The Q-switching conversion efficiency reached 45%. Future work will focus on implementing higher Tm³⁺-doping as well as channel waveguide lasers for improving the pulse duration and repetition frequencies.

1. K. Scholle. 2 μ m laser sources and their possible applications // *Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics*, Bishnu Pal (Ed.), 2010.
2. V. Petrov, M.C. Pujol, X. Mateos, Ò. Silvestre, S. Rivier, M. Aguiló, R. M. Solé, J. Liu, U. Griebner, F. Díaz. Growth and properties of KLu(WO₄)₂, and novel ytterbium and thulium lasers based on this monoclinic crystalline host // *Laser & Photon Rev.* – 2007. – Vol. 1. – P. 179–212.
3. R. Lan, P. Loiko, X. Mateos, Y. Wang, J. Li, Y. Pan, S.Y. Choi, M.H. Kim, F. Rotermund, A. Yasukevich, K. Yumashev, U. Griebner, V. Petrov. Passive Q-switching of microchip lasers based on Ho:YAG ceramics // *Appl. Opt.* – 2011. – Vol. 55. – P. 4877–4887.
4. W. Bolaños, J. J. Carvajal, X. Mateos, E. Cantelar, G. Lifante, U. Griebner, V. Petrov, V. L. Panyutin, G. S. Murugan, J. S. Wilkinson, M. Aguiló, F. Díaz. Continuous-wave and Q-switched Tm-doped KY(WO₄)₂ planar waveguide laser at 1.84 μ m // *Opt. Express.* – 2011. – Vol. 19. – P. 1149–1154.

INDIVIDUALIZATION OF HUMAN BLOOD CIRCULATION

Ostasevicius V.¹, Tretsyakou-Savich Y.¹, Minchenya V.T.²¹Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Various fluid-structure interaction studies of the aortic and implanted aneurysm have been conducted. But at this moment, the interactions between a pulsatile flow and blood vessel walls in an aortic arch models has not enough studied.

According to statistics - 75% disease of aortic aneurysm occurs in the abdominal cavity in the region of the renal arteries. The main cause is - arteriosclerosis. Multiple aneurysms occur for more than 10% of patients. The cases of genetic predisposition are also considered. The category of high risk of human infection - men after 60 years. Course of the disease is accompanied by arterial hypertension more than for 50% of patients [1].

Initial parameters of blood and CT scans can be used for a computer simulation of abdominal aortic aneurysm. Furthermore, the model at COMSOL software was created with prescribed conditions of real aorta. In this case output data can be used for further experiments of prostheses.

There are many types of blood flow simulation in human cardiovascular system. CT scans shows the patient-specific geometry parameters of abdominal aortic aneurysm. But every method have own differences. For example, one method is based on an inverse analysis of shape to calculate a stress-free reference parameter. Other - to update and modify Lagrangian formulation. [2] The main objective of this study is to create a model of blood flow in COMSOL Multiphysics software for future use at its individualization of endovascular prostheses.

A substitute model, made from the transparent silicone with blood flow parameters was used. A liquid composed of water, glycerin, xanthan gum and sodium chloride has been specifically adapted for the this experiment. Simulations of 1:1 model based on CFD have been compared with in situ, laser-Doppler velocimetry measurements in the aortic aneurysm. [3]

It was found that LDA measurements and CFD results were used to get most accurate patient-specific geometry parameters of aorta in common condition. [4]

The main objective of this study is to create a model of blood flow in COMSOL Multiphysics software for future use at its individualization of endovascular prostheses.

Result of the patient diagnosis is the parameter Δp (pressure differential), and Δp plotted versus Reynolds number. Therefore, in the analysis of fluid flow simulation results in the COMSOL graphical extent on the entire plot the pressure distribution has been selected.

The model should be adequate to the real conditions of fluid flow, and comply with all the laws of hydrodynamics. Therefore, to achieve this, the initial parameters were taken from the patient diagnosis results.

Pressure means depends on channel roughness, resistance coefficient and flow type, which is turbulent.

Pressure calculations [5] for the round channel:

$$\Delta p = \xi \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2},$$

where ξ - resistance coefficient, l - specific length, m ; d - channel diameter, m ; ρ - density kg/m^3 , and v - stream velocity, m/s .

Velocity is calculated [5] from debit Q :

$$Q = v \cdot A = v \pi r^2,$$

where r - channel radius, m .

Resistance coefficient [5] calculated:

$$\xi = 0,3164 \cdot (Re)^{-1/4},$$

Where flow type defining Reynolds number is calculated [6] from $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$, μ - dynamic viscosity, $kg/(m \cdot s)$.

Comparing the pressure distribution graphs in the cases of fluid passing through the direct channel and the endovascular prosthesis the characteristic curves of the pressure at the different Δp could be presented by Figure 1.

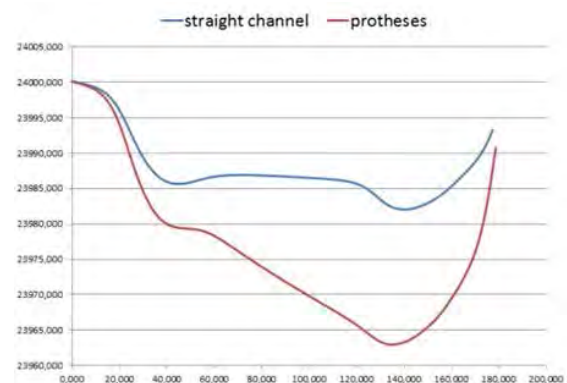


Figure 1: Graphical pressure distribution analysis

Thus simulation by this method, and the model can be used in the future to create individual forms of endovascular prosthesis for each individual case. The initial parameters will serve as tests and the results of medical research. Modeling is performed in step immediately before production and then individualized endovascular prosthesis is created with high precision on specialized equipment.

The main objective of the operation - to prevent pressure effect on the resulting bag to avoid bursting [7]. This form of treatment has proven itself due to the relative ease of fabrication and good properties for introduction into the human body. Over time, the technical production capabilities have grown and it is allowed to create a stent-grafts with branches [8].

Delivery of the stent-graft through the femoral artery is much safer than in the case of open surgery.

In this case, such factors as the symptoms, age, disease, life style, size and morphology of the aneurysm and the implantation site are considered. It's worth noting that according to the International Standardization Organization the mechanical properties of the stent graft should be retained not less than 10-year period [9].

Based on the fact that each person is unique since birth, and even more so according to its style of life, the blood flow in the cardiovascular system, also has its own peculiarities which avoid turbulent flow and unpleasant consequences for the human body. The situation is complicated in the case of the formation of abdominal aortic aneurysm due to trauma. Therefore, to ensure the full protection of all internal organs without prior thorough diagnosis carried out open surgery outside specially designated clinics is extremely dangerous and the risk is very high [10].

Improving the endovascular prosthesis inevitably leads to a reduction in the mortality of patients, the number of which at the moment is still quite high. After the operation in the course of life requires constant monitoring of the health condition. It is necessary for urgent surgical intervention in case of complications detection. [11].

Currently, important aspects are the presence of the transverse corrugation which enables the prosthesis blood vessel to restore its original shape after stretching. ∴ inner and outer gelatin coating which, after implantation into the body provides neointima formation on the inner surface and germination of the connective tissue. The stent graft after deployment should be fixed at the neck of the aneurysm of the abdominal aorta. The force with which the prosthesis is retained in the aorta, should be sufficient to prevent its unintended migration. Therefore, the diameter of the implant should be equal to the diameter of the aorta at the site of its contact solid surface, and the range equilibrium at the junction should be observed [12].

Over time, the shape and design of endovascular prostheses, in particular the methods of delivery, deployment and fixation, matching the real human cardiovascular system should be maintained.

Full individualization stent graft for each patient - this increase in life expectancy and quality.

1. James E. Dalen Aortic aneurysm 2012
2. M.W. Geecorrespondenceemail, C. Reeps, H.H. Eckstein, W.A. Wall 2009 Prestressing in finite deformation abdominal aortic aneurysm simulation
3. Róbert Bordás, corresponding author Santhosh Seshadhri, Gábor Janiga, Martin Skalej and Dominique Thévenin Experimental validation of numerical simulations on a cerebral aneurysm phantom model 2012
4. 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering Numerical simulation and Experimental Validation in an Exact Aortic Arch Aneurysm Model IFMBE Proceedings Volume 22 2008
5. A. Teplov Fundamentals of hydraulics 1965
6. Jesse Russeell, Ronald Cohn Reynolds number 2012
7. Isa C. T. Santos, Alexandra Rodrigues, Lígia Figueiredo, Luís A Rocha, João Manuel R. S. Tavares, João Manuel R. S. Tavares, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias Mechanical properties of stent-graft materials 2012
8. Mohammed Elkassaby, Mahmoud Alawy, Mohamed Zaki Ali, Wael A. Tawfick, and Sherif Sultan Aorto-Uni-Iliac Stent Grafts with and without Crossover Femorofemoral Bypass for Treatment of Abdominal Aortic Aneurysms: A Parallel Observational Comparative Study 2015
9. Joseph E. Bavaria, MD, Joseph S. Coselli, MD, Michael A. Curi, MD, MPA, Holger Eggebrecht, MD, John A. Elefteriades, MD, Raimund Erbel, MD, Thomas G. Gleason, MD, Bruce W. Lytle, MD, R. Scott Mitchell, MD, Christoph A. Nienaber, MD, Eric E. Roselli, MD, Hazim J. Safi, MD, Richard J. Shemin, MD, Gregorio A. Sicard, MD, Thoralf M. Sundt III, MD, Wilson Y. Szeto, MD, and Grayson H. Wheatley III, MD Expert Consensus Document on the Treatment of Descending Thoracic Aortic Disease Using Endovascular Stent-Grafts 2008
10. Herve' Rousseau, Omar Elaassar, Bertrand Marcheix, Christophe Cron, Vale'rie Chabbert, Sophie Combelles, Camille Dambrin, Bertrand Leobon, Ramiro Moreno, Philippe Otal, Julien Auriol The Role of Stent-Grafts in the Management of Aortic Trauma 2012
11. Rebecca L. Kelso, MD, Sean P. Lyden, MDcorrespondenceemail, Brett Butler, MD, Roy K. Greenberg, MD, Matthew J. Eagleton, MD, Daniel G. Clair, MD Late conversion of aortic stent grafts 2008
12. Ehsan Masoumi Khalil Abad, Damiano Pasini, Renzo Cecere Shape optimization of stress concentration-free lattice for self-expandable Nitinol stent-grafts 2016

GAIN NARROWING FREE OPERATION OF CHIRPED PULSE REGENERATIVE AMPLIFIER BASED ON Yb:LuAlO₃ CRYSTAL

Rudenkova¹, Kisel V.¹, Yasukevich A.¹, Hovhannesyanyan K.², Petrosyan A.², Kuleshov N.¹

¹Center for Optical Materials and Technologies, Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

²Institute for Physical Research, National Academy of Sciences
Yerevan, Armenia

1. Introduction

Diode-pumped femtosecond laser sources with pulse repetition rates of hundreds kHz and pulse energies of tens microjoules are of practical importance for high-precision micromachining in industry and biomedicine [1].

These pulse trains can be generated conveniently with RA systems based on bulk regenerative amplifiers. The highest output power reported so far for bulk RAs is 28 W in an Yb:CALGO operating at 500 kHz, with 217 fs pulses [2]. The output power of about 21 W at 200 kHz PRF with 200 fs pulse duration is obtained on Yb:KGW dual crystal system [3]. Femtosecond laser pulses with duration as short as 97 fs with output power of 1.2 W at 50 kHz PRF were obtained with the Yb:CALGO RA system [4] which demonstrates the possibility of sub-100 fs pulses amplification. Generalizing the above data, we can conclude that the search for new laser media with appropriate spectroscopic properties for regenerative amplification of ultrashort laser pulse is still of high interest.

Yb-doped lutecium aluminate laser crystal (Yb:LuAlO₃) has attractive spectroscopic properties which makes it promising material for femtosecond laser systems. It has a reasonable large emission cross section ($\sim 0.7 \times 10^{-20}$ cm²), long upper-level lifetime (475 μ s), small quantum defect (<4%), and broadband absorption and emission spectra. In this paper we report the experimental results of an Yb:LuAlO₃ chirped pulse RA generating 6 W average power with chirped pulses and 4.4 W output power with a compressed 165 fs pulses for the first time to the best of our knowledge.

2. Experimental layout

The schematic of the system is shown in Fig. 1. As a seed laser diode-pumped Yb:KYW oscillator was used which provides 98 fs pulses [5]. The RA setup chosen for this experiment is quite common, employing a BaB₂O₄ Pockels cell for pulse injection and ejection. Amplifier cavity was formed by two concave folding mirrors (M1, M2) and two flat mirrors (HR1, HR2). 2 mm-long a-cut Yb(2at.%):LuAlO₃ crystal was used as a gain medium. The crystal was maintained at 15 °C by means of thermo-electrical cooling elements with water-cooled heatsink.

The main problem for longitudinal pumping of Yb:LuAlO₃ crystal is a comparatively low quantum defect ($\sim 5\%$). The strong absorption band of the

crystal that can be used for efficient pumping centered at 978.5 nm for π -polarization while the smooth stimulated emission (SE) band is located around 1040 nm.

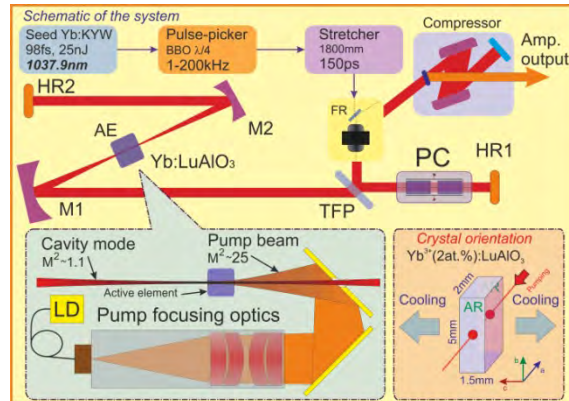


Fig. 1. Schematic of the Yb:LuAlO₃ chirped pulse regenerative amplifier

To overcome this spectral features a novel “off-axes” pump layout was developed for longitudinal pumping of the active element (Fig. 1). This pump arrangement was recently successfully tested in the longitudinally pumped passively mode-locked Yb:KGW laser [6]. As a pump source a multiple single emitter InGaAs fiber coupled laser diode ($\varnothing 105$ μ m, NA=0.15) with maximum output power of about 28 W was used. The pump light was formed by set of lenses into the spot with diameter of about 180 μ m ($1/e^2$). The losses on transmission of the hole from such “pump” mirror did not exceed 3 % of pump power. Besides that such pumping scheme enable us to tune the wavelength of the laser diode exactly in the absorption band of the material without losses in the short-wave pass filter (input mirror). One of the important things most notably for regenerative amplifiers with longitudinal pumping schemes is that the part of the intracavity pulse energy passes through the input mirror and damages pumping diode. Our pumping scheme is free of these negative issues.

In Fig. 2 the pump beam profiles during the propagation through the gain crystal are depicted. As can be seen the pump beam profile was a circular and homogeneous inside the crystal. The drop in the middle of the pump beam profile appears at the distances >3 mm from pump beam waist and therefore do not introduce any negative influence due to the pumping inhomogeneity on the mode-matching and output laser performance.

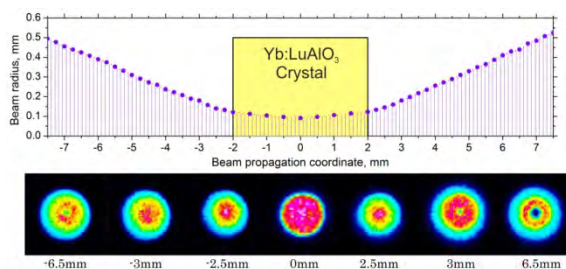


Fig. 2. Beam radius and pump beam profiles during the propagation through the cavity and gain crystal.

A grating compressor was employed at the RA output in order to compress the chirped femtosecond pulse. Compressor with transmission of about 76 % consisted of two reflection Au-coated grating with period of 1800 mm^{-1} , the same as in stretcher.

3. Chirped pulse regenerative amplifier performance

During the RA experiment we measured the output pulse train parameters for E//b and E//c-polarized light in the gain medium at different PRF in the range 1-200kHz. Maximum output power before compression of 6.7W with opt.-to-opt. efficiency of 25% at 75-200kHz PRF was obtained for E//c-polarized light. For E//b-polarization maximum output power before compression of 6W with opt.-to-opt. efficiency about 22% at the same PRF was achieved. During the RA experiment with the highest output power 14.9nm wide (FWHM) pulses were obtained for E//b-polarized light with compressed pulse duration of 165fs. Laser pulses with 2.7nm spectral width were obtained for E//c-polarized light with pulse duration of about 565fs.

The dependency of average output power and pulse energy on the pulse repetition frequency are shown in Fig. 3.

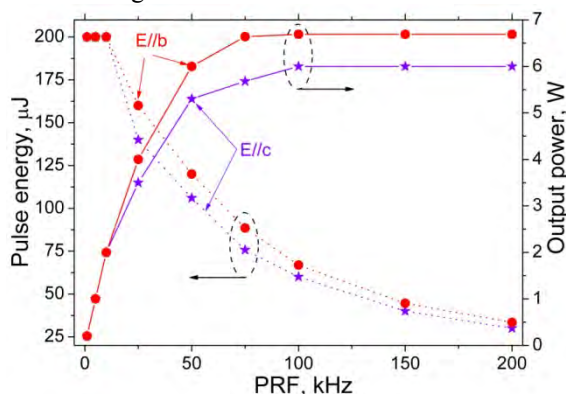


Fig. 3. Average output power and pulse energy versus PRF

Yb:LuAlO₃ based RA with E//b-polarized output demonstrated extremely stable broadband output spectrum with 13-15nm spectral bandwidth (FWHM) at different cavity round trip numbers from 63 to 122 and different PRF of 10, 50 and 200kHz without any nonlinear regime of amplification. The

output spectra for different polarizations at the highest output power are shown in Fig. 4. In the case of E//b-polarized output spectral width of 14.9nm was wider than seed pulse spectral width of 11.7nm. Moreover, the spectral width of about 14.9nm was almost unchangeable for seed pulses with spectral width in the range 11-15nm (FWHM).

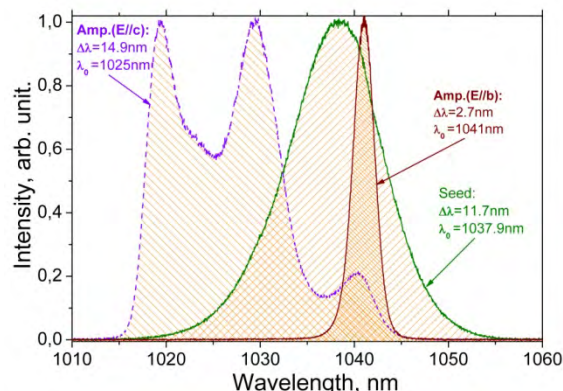


Fig. 4. RA and seed spectra

In conclusion, we have demonstrated, to the best of our knowledge, the first chirped pulse regenerative amplifier based on Yb:LuAlO₃ crystal. Gain properties of the crystal for E//b- and E//c-orientations were studied in the RA experiments. Operation without gain narrowing effect was demonstrated for E//b-polarized output while strong gain narrowing was observed for E//c-polarization.

4. References

1. D. Breitling, C. Föhl, F. Dausinger, T. Kononenko, and V. Konov, in *Femtosecond Technology for Technical and Medical Applications*, F. Dausinger, F. Lichtner and H. Lubatschowski, eds. (Springer, Berlin, 2004).
2. E. Caracciolo et al., "28-W, 217 fs solid-state Yb:CALGO regenerative amplifiers," *Opt. Lett.* 38, 4131-4133 (2013).
3. G.H. Kim et al., "A high brightness Q-switched oscillator and regenerative amplifier based on a dual-crystal Yb:KGW laser," *Laser Phys. Lett.* 10 (2013) 125004 (5pp).
4. Julien Pouysegur et al., "Sub-100-fs Yb:CALGO nonlinear regenerative amplifier," *Opt. Lett.* 38, 5180-5183 (2013).
5. A.A. Kovalyov, V.V. Preobrazhenskii, M.A. Putyato, N.N. Rubtsova, B.R. Semyagin, V.E. Kisel, A.S. Rudenkov, N.V. Kuleshov and A.A. Pavlyuk, "Efficient high-power femtosecond Yb³⁺:KY(WO₄)₂ laser," *Laser Phys. Lett.* 12, 075801 (2015).
6. V.E. Kisel, A.S. Rudenkov, A.A. Pavlyuk, A.A. Kovalyov, V.V. Preobrazhenskii, M.A. Putyato, N.N. Rubtsova, B.R. Semyagin, and N.V. Kuleshov, "High-power, efficient, semiconductor saturable absorber mode-locked Yb:KGW bulk laser," *Opt. Lett.* 40, 2707-2710 (2015).

УДК 621.385.6

LASER PHOTOTHERMOACOUSTIC MICROSCOPY THRESHOLD OF SENSITIVITY TESTING

Wolkenstein S. S.¹, Kerentsev A.F.², Rubtsevitch I.I.², Khmyl A. A.³¹PJSC "PLANAR-SO", Minsk, Belarus²JSC "INTEGRAL" - "INTEGRAL" Holding Managing Company³BSUIR, Minsk, Belarus

Microcircuits and electronic devices structural design consists of a great number of permanent connections which are attended in ceramic cases structure, in mounted chips, in interconnections of various types, in diverse sealing, capping and capsulation arrangements. Any failure appeared in this chain of connections will inevitably result in unavoidable hardware fail.

Tightened requirements for the quality of ingoing materials and manufacturing process of microcircuits and electronic twofold purpose devices making for the intention of import substitution, national security, enhancement of their dexterity, increase of performance specification and operating characteristics effectiveness promote development of conventional (diffused worldwide trend) or creation of novel nondestructive evaluation and diagnostic methods.

Conventional nondestructive evaluation and diagnostic methods have many disadvantages. Optical and electron microscopy is unsuitable for opaque material interior study. X-ray equipment has low sensitivity to a bulk continuity violation and is blind relative to aluminium, nonconductive adhesives, etc. Ultrasonic microscopes are highly sensitive (≥ 100 nm) to a bulk continuity violation but they have certain restriction of application by using contact activation and immersion method of the action.

The problem can be solved through the exposure of an item surface to probing laser impulse radiation with acoustic waves in the sample to be registered by a converter built in the acoustic system. The waves are a result of thermoelastic structure deformation of the inspected item. Photoacoustic signal taken from the sensor depends on numerous local physical properties of the object's marked area. At raster probing the inspected object by in-focus laser beam a bulk wave response signal is formed as a result of superposition of three different processes [1]:

- radiation absorbed capacity variations due to alteration of optical properties of the object from one point to another;
- interaction of temperature waves with thermal discontinuities of the object;
- interaction of acoustic waves with elastic discontinuities of the object.

In order to receive and process photoacoustic signals there used a volume wave acoustic-electric

converter unit with a wide band low noise amplifiers mounted on coordinate stages with aerostatic and crossed-axis helical gears. Bulk wave response data is accumulated and registered by a hardware signal processing module (know-how). In the process of scanning 16-gradation color-encoded pixel-by-pixel 2D image (laser photoacoustic topogram) of permanent connections contact areas with up to 2500^{\times} magnification is registered on the screen of a color monitor, with low levels of photoacoustic signals pointing at contact areas with a more homogeneous structure (dark graded steps from 1 to 6) that provides for a physical contact and high levels pointing at inhomogeneous areas (light graded steps from 7 to 16) which indicates that the structure continuity is disturbed (fig. 1) [2].



Fig. 1. Color 16-graded scale

More than four orders of linear X, Y displacement values (the range from 51200 up to several micrometers with spatial X, Y resolution from 200 to 0.5 micrometers) electromechanical drives possibility and flexibility of laser beam diameter variation (the range from 200 to 2 micrometers) afforded an opportunity to work out diagnostics and checking technique for examination of almost all types of permanent connections used in electronic and microelectronic modular assembly, such as:

- bonding dice of semiconductor devices and IC to the base of the packages and the die holders using eutectic, solder and adhesive compositions;
- microbonded connections by gold, aluminum, copper etc. wire using methods of thermosound, thermocompression, ultrasound and contact bonding;
- welded and soldered seams of the cases of semiconductor devices and ICs;
- hermetic sealing of ICs using different press-compounds;
- setting electronic components onto different substrates (SMD, COB);
- adhesion of metal coatings to different substrates.

During carrying out the research of radiation-resistant batch bonded ribbon leads manufacturing (fig. 2) were provided preparatory steps such as degreasing and aluminum oxide film deep etching

relative to contact surfaces. Nondestructive testing was applied to bonded specimens made with three variations: 1) with contact surfaces only degreasing; 2) with contact surfaces degreasing and aluminum oxide film partial (10 s) etching; 3) with contact surfaces degreasing and aluminum oxide film deep etching.

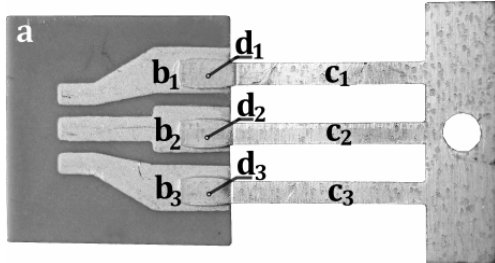


Fig. 2. Pilot specimen with radiation-resistant batch bonded ribbon leads (exterior view): ceramic base (a); aluminum bonding pads (b1, b2, b3); aluminum ribbon leads (c1, c2, c3); bonded spots (d1, d2, d3)

Consequently to nondestructive testing one can see typical characterization of bonded spots (d1, d2, d3) internal structure for three variations of aforesaid research (fig. 6 a, b, c).

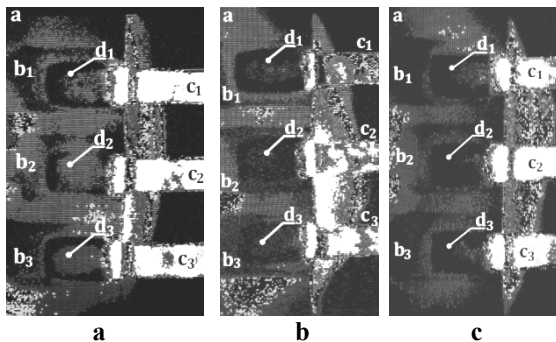


Fig. 3. Laser photoacoustic topograms of pilot specimens with radiation-resistant batch bonded ribbon leads: only with degreasing of contact surfaces (a); with degreasing and aluminum oxide film partial (10 s) etching of contact surfaces (b); with degreasing and aluminum oxide film deep etching of contact surfaces (c); (spatial X, Y resolution – 50 μm)

Laser photoacoustic topograms (fig. 3 a, b, c) analysis of traced bonded spots (d1, d2, d3) internal structure displays aluminum oxide films (fig. 3 a, blue color) and juvenile surfaces creation in the issue of contact surfaces etching (fig. 3 b, c, black). This implies that we can see on laser photoacoustic topograms incipient of aluminum oxide films which thickness averaged out as several nanometers conditioning the threshold of sensitivity to a continuity violation of present nondestructive testing method.

Owing to high sensitivity to permanent connections continuity violation serious shortcomings were revealed concerning radiation-resistant ribbon leads bonded spots d1, d2, d3, d4, d6 applied in operational equipment specimen (fig. 4).

Only d5, d7 bonded spots (fig. 4) according to appropriate laser photoacoustic topogram subimages have ohmic regions (dark, blue) comparable to the cross-section of these aluminum ribbon leads. That indicates the satisfactory quality of these permanent connections. Other bonded spots (d1, d2, d3, d4, d6,) according to appropriate laser photoacoustic topogram subimages have unsatisfactory quality of permanent connections because of insignificant ohmic regions square which is far less than cross-section of these aluminum ribbon leads. In addition the bonding pad b5 adhesion is of unsatisfactory quality on account of laser photoacoustic topogram appropriate subimage red coloration.

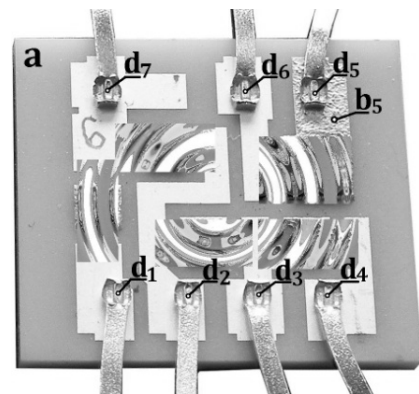


Fig. 4. Operational equipment specimen with radiation-resistant bonded ribbon leads exterior view: ceramic base (a); bonded spots (d1, d2, d3, d4, d5, d6, d7)

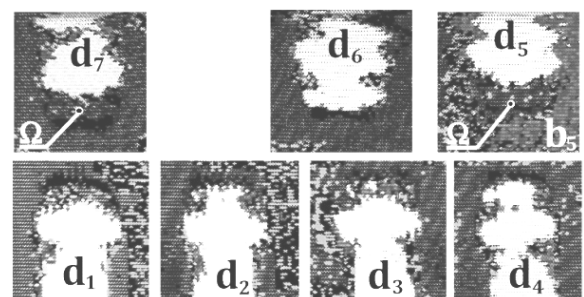


Fig. 5. Appropriate to Fig. 4 subimages of laser photoacoustic topogram. Among them bonded spots d5, d7 of satisfactory quality, d1, d2, d3, d4, d6 – unsatisfactory quality; b5 – bonding pad adhesion of unsatisfactory quality; (spatial X, Y resolution – 50 μm)

Above-stated serious critical defects revealed concerning radiation-resistant ribbon leads bonded spots d1, d2, d3, d4, d6 and bonding pad b5 bad quality

of adhesion will lead to unavoidable time to failure decreasing induced by internal action of electrocorrosion, ponderomotive forces and low-strength of these permanent connections.

1. A.C. Tam, Rev. Mod. Phys., 1986, v.58, p. 381

2. Волкенштейн С.С., Дайняк И.В., Хмыль А.А. Сравнительная оценка альтернативных методов контроля качества и диагностики монтажных конструкций «п/п кристалл - подложка». «Доклады БГУИР», №2, 2016 г., с. 51-55.

УДК 621.023.6

PROCEDURE FOR DESIGNING OPTIMIZED ACTUATORS OF THE ROBOTS USING BIOLOGICAL OBJECTS

Zimmermann K.¹, Lysenko V.², Mintchenia W.²

¹Technical University Ilmenau

Ilmenau, Germany

²Belarusian National Technical University

Minsk, Belarus

The urge for individual mobility has led to the development of airplanes, trains and cars, which are much faster locomotion systems than human legs. Nevertheless, pedal locomotion systems and humanoid robots are main focal points of worldwide research in biologically inspired robotics. Biomimetical robots are developed by engineers and scientists in the life sciences by joint integrative analysis (i.e., combining different analytical layers) of the construction and functionality of animal locomotion systems and the transfer of the construction principles to technical fields.

Currently, the development of “walking machines,” i.e., pedal locomotion, dominates the research of biologically inspired locomotion systems. The known solutions for “walking machines” range from uniquenesses for fundamental research to series manufacturing of commercial products for the entertainment industry. From bipedal to octopedal constructions, almost all biological prototypes have been constructed by engineers. Due to the dedication of BERNIS of the University of Kaiserslautern, the walking machines catalogue (www.walking-machines.org) has given an excellent overview of available walking machines worldwide for many years. The motivation for this research direction is of very different nature [1].

In the literature several methods of techniques finding technical solutions, sets of software products supporting the process of technical systems design and a selection of technologies to be implemented are described. Nevertheless, having well developed tools of the analysis, these methods frequently have no effective solving tools for problems.

A new approach of special problem-solving methods at the initial design stages is presented. The methods are based on analysis and the combination of technical or biological objects and a legged robot. Described techniques allow us to create several new legged robots. A new class of micro robots and a new class of legged mechanisms is chosen to present

the possibilities of the method. Merging the kinematics of a salamander with the kinematics of an octoped allows us to develop a new eight legged robot with only three actuators. Combining a flying insect and a piezotransducer with extremities supplies a new object - the piezomicrorobot. For movement of multi-legged robot through a pipe we use the trawling wave of the Holothuria.

Biological objects as prototypes are used preferably due to the fact that during millions of years of evolution their principles of motion have been developed contemplating minimal energy wasting. [1]

The essential design stage, which is discovering ideas for new functional principles of technical systems, is almost entirely based on the know-how of the engineer [2, 3]

The subject of our work is the development of new functional principles of legged robots.

By using a principle of work and kinematics of biological prototypes it is possible to develop new ideas for a moving robots improvement. Some biological objects use unusual ways of moving of the extremities to obtain the necessary trajectory. They change form and sizes of the body to create the necessary movement of legs.

By applying the introduced method new robots can be created. It is based on the combination of biological and technical objects. The developed method is based on the well-known principle known as the combination of alternative systems. It enables the transfer of characteristics and structure from one object (i.e. its kinematics) to another object leading to new desirable characteristics or optimisations of existing technical objects [4].

Multy-legged mobile systems classification is represented. In our opinion, there exist only 4-5 main principles of functioning of biologic objects for providing the necessary trajectory of the legs movement. The suggested classification and the analysis of biological prototypes have allowed us to

create some new mobile robots. In known walking robots the several actuators for moving each leg are used. Our robots principle difference allow to use each actuator for moving several legs. Thus, we managed to minimize number of actuators at the robot. It opens the new possibilities of the considerable miniaturization of mobile robots in future.

Thus, the ability to develop new functional principles of legged robots (i.e. new motion principles, new kinematics etc.) is provided. The analysis is used to realize the transition from known (in biological objects) to new (for legged robots) forms of motion.

Minimization of number of actuators multi-legged robots can be reached through [6 7 8 9]:

- use of periodical changing the shape of the body of the robot in horizontal dimension (salamander, lizard)
- use of periodical changing the size of the body of the robot in vertical dimension (flying insects)
- use of anisotropy of friction (snake)
- use of periodical character or feature of trawling wave (holothouria)
- use of multidimensional resonance swinging of elastic extremities (mosquito)
- reducing of number of bearing legs (kangaroo, basilisk, birds)

For micro robots it is possible to use a principle of movement as at Polichetae . In this biologic object the legs have no actuators and no degrees of freedom relative to a body. They are rigidly attached perpendicularly to a surface of a body, so they move and incline together with deformation of this surface. To create necessary trajectory of a distal end of a leg, Polichetae and Holothouria uses deformation of the case as trawling wave. The number of legs-needles is not limited, but number of the actuators enabling deformation of the case, is minimal. It is possible to create tiny robot with a plenty of legs and with low number of small-sized actuators. We have developed the moving robot-probe with 100 legs and with only four actuators - "Holothourobot. It can be used in medicine for minimal invasive surgeries.

The salamander bends its body in a horizontal plane and due to this, moves the body relative to the points of support (Fig.3). By using deformation of a robot body in a horizontal plane it is possible to provide it's moving due to a minimum number of actuators. The actuators are not connected to legs and they are necessary only for deformation of a robot body. Having as few as three actuators it is possible to provide moving of the robot with eight legs "Eightleggedrobot".

Some flying insects create resonant oscillations of the wings due to periodic change of the form and the sizes of the rigid body (Fig.4). These insects' muscles are connected not to the wings, but to the

walls of a rigid body and deform it. Deformation of body turns into swinging of wings. It is possible to create the moving robot at which the case vibrates, and legs have no actuators. The necessary trajectory of distal part of a leg is formed due to excitation of the high-frequency swinging in proximal part of an elastic curvilinear leg and due to mechanical transformation of these swinging in low-frequency. We have developed essentially new tiny moving system "Minchrobot". As the case and as the actuators the, piezo-bimorph-plate is used. It can cover 1 meter per 1 second.

Summary

The analyses of biological objects and alternative technical systems offer new opportunities for the engineers. That analysis is an indistinct provisional approach of solving a technical problem. In further stages of the design process the engineer formulates precisely this solution and verifies it by means of mathematical modeling and calculation.

The described technique does not supply convertible constructive drawings immediately, however, it provides new solutions with new ideas. Furthermore, it is possible to develop essential new legged robots with minimal number of actuators.

1. Zimmermann, K.: An approach to the modelling of biological and technical movement systems. 1. International Conference on Motion Systems, Univ. Jena, 1997.
2. Lysenko; V.: Algorithmische Methode für die Entscheidung auf Anfangsstufen beim Entwerfen. 41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. 1996. TU Ilmenau.
3. Lysenko, V: Method for improving actuators by modelling the motion of an earthworm. 1. International Conference on Motion Systems, Univ. Jena, 1997.
4. Lysenko, V.; Zimmermann, K.: New procedure for designing optimized technical systems with use of biological objects. 1st Intern. Conf. on Design & Nature, Udine, Sept. 2002, WIT Press Southampton 2002, pp.115-122.
5. Becker, F., Minchenya, V., Zimmermann, K., Zeidis, I. Single Piezo Actuator Driven Micro Robots for 2-dimensional Locomotion. Aachen: Electro. Proceedings of Workshop on Microactuators and Micromechanisms, 2010.
6. V. Lysenko, K. Zimmermann, A. Ahranovich. Method for designing new technical systems based on a Transparent Morphological Cube with the use of the tree-like classifications. – 53. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium. 2008. TU Ilmenau.
7. V. Lysenko, W. Minchenya, K. Zimmermann. Minimization of the number of actuators in legged robots using biological objects

(Bionically Inspired Robotics Biomechanics). 52. Internationalen Wissenschaftlichen Kolloquium. 2007. TU Ilmenau.
8. On Mechanics of Bristle-Bots – Modeling, Simulation and Experiments. Lysenko V.,

Becker F., Zimmermann K. Zeidis I. Konferenz ISR/ROBOTIK Berlin 2014.
9. A Vibration-driven Robot for the Inspection of Pipelines., Lysenko V., Becker F., Zimmermann K., 58th IWK in Ilmenau. 2014.

УДК 541.64

СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Адашкевич С.В.², Бакаев А.Г.¹, Жигулин Д.В.³, Маркевич М.И.¹,
Стельмах В.Ф.², Чапланов А.М.¹, Щербакова Е.Н.⁴

¹Физико-технический институт НАН Беларуси

²УО «Белорусский государственный университет»

³Открытое акционерное общество «Интеграл»

⁴Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Введение

Волокна из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) обладают очень высокой устойчивостью к УФ – излучению, химическим воздействиям и погодным условиям [1-3]. Удельная плотность СВМПЭ составляет примерно 0,98 г/см³, модуль Юнга до 200 ГПа. Сочетание этих свойств, придает волокнам характеристики, превосходящие подобные параметры для стальных волокон. Таким образом, все это делает композиционные материалы из СВМПЭ незаменимыми в конструкциях со статической и динамической нагрузкой. Молекулы СВМПЭ состоят из длинных линейных цепочек полиэтилена с относительно слабыми межмолекулярными связями (10-20 кДж/моль). При производстве таких материалов применяются модифицированные технологические процессы с использованием сополимеров [3-5].

Регулирование молекулярной массы продукта осуществляется изменением соотношения компонентов катализатора, и их концентрацией в процессе синтеза. В работе исследуется композит из сверхвысокомолекулярного полиэтилена и связующего блок-сополимер стирол – изопропен – стирол.

Целью данной работы являлись исследования морфологии композита на основе СВМПЭ и магнитного резонанса, а также установление возможности применения данного композита в радиоэлектронике.

Методика и результаты эксперимента

Исследования морфологии образцов проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа фирмы «Bruker». Измерения проводились при значениях ускоряющего напряжения от 6,4 до 30 кВ.

Исследования магнитного резонанса проводились на специализированном малогабаритном анализаторе ЭПР «Минск 22» при комнатной

температуре. Рабочая длина волны — 3 см. Максимальное значение индукции магнитного поля — 450 мТл, частота модуляции - 30 кГц. Для калибровки интенсивности сигналов от объектов исследования использовался образец монокристалла рубина (Al₂O₃:Cr³⁺). В процессе измерений дополнительный контроль стабильности работы спектрометра осуществлялся путем измерения калибровочного материала - двухвалентного марганца (MgO:Mn²⁺).

На рисунке 1 представлено строение композита.

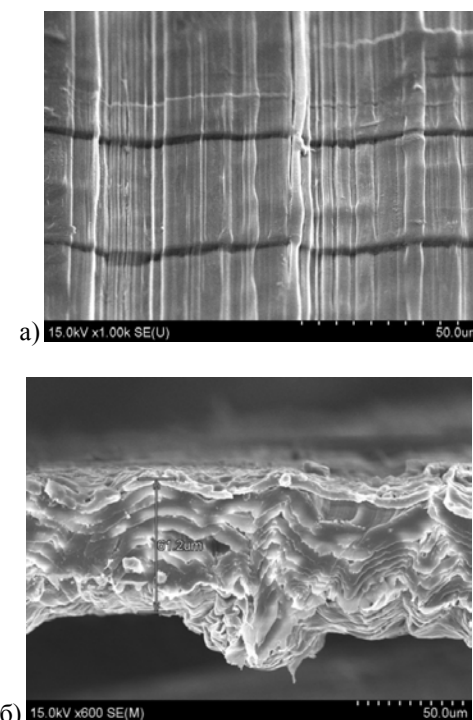
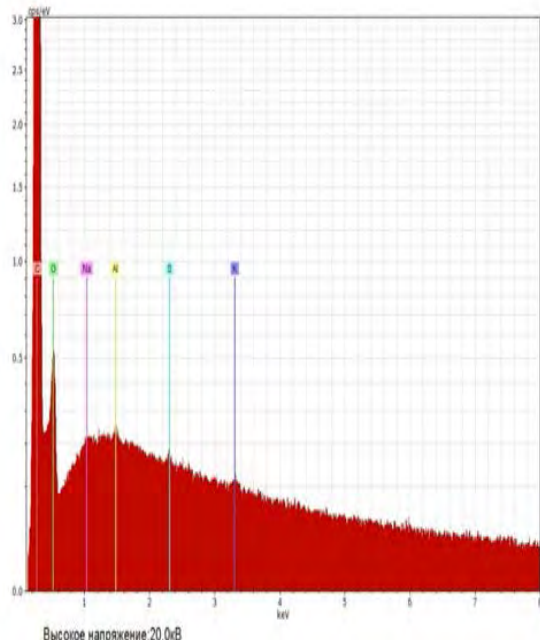


Рис. 1- Морфология композита
а) - вид сверху, б) - сечение

Из рисунка 1 следует, что средняя толщина волокна составляет примерно 3 мкм, композит представляет собой многослойный материал, средняя толщина которого составляет примерно 70 мкм.

На рисунке 2 представлен элементный состав композита.



EI	AN	Series	unn.	C norm.	C Atom.	Error
			[wt.%]	[wt.%]	[at.%]	[wt.%]
C	6	K-series	93.37	93.37	94.98	9.8
O	8	K-series	6.51	6.51	4.97	0.9
Na	11	K-series	0.04	0.04	0.02	0.0
Al	13	K-series	0.02	0.02	0.01	0.0
S	16	K-series	0.02	0.02	0.01	0.0
K	19	K-series	0.03	0.03	0.01	0.0
Total:			100.00	100.00	100.00	

Рис. 2 – Элементный состав композита

Результаты микроанализа показывают, что в композите имеются следы технологических примесей Al, S, O. На рисунке 3 приведен спектр ЭПР композита.

Измерения магнитного резонанса свидетельствуют о том, что материал относится к радиопрозрачному и не вносит магнитных и электрических потерь.

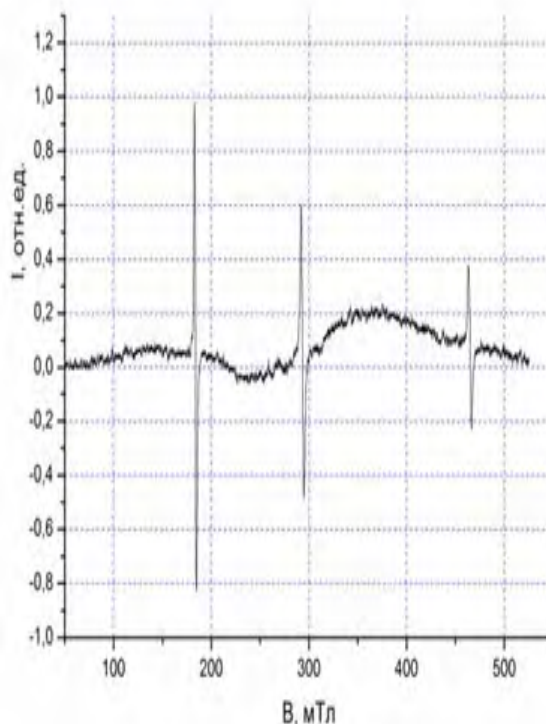


Рис. 3- Спектр ЭПР композита

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что композиционный материал на основе СВМПЭ пригоден для создания радиопрозрачных диэлектрических покрытий.

1. Андреева, И.Н. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / И.Н. Андреева [и др.] - Л.: Химия, 1982. - 80 с.
 2. Пахомов П.М., Колнинов О.В., Баран А.М. и др. Радиационная стойкость материалов, используемых в полимерных оптических волокнах. // Химия высоких энергий. 1993. Т.27, N3.-С.79.
 3. Майер, Э.А. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен: новая реальность отечественной промышленности полиолефинов / Э.А. Майер [и др.] // Пласт. массы. - 2003. - №8. - С.3-4.
 4. Михайлин, Ю.А. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен / Ю.А. Михайлин// Полимер. матер. -2003.- № 3.- С. 18-21.
- Stein H.L. Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) // Engineered Materials Handbook. ASM Int. - 1999. - P. 167-171.

ДВУХСЛОЙНЫЙ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ЭКРАН СВЧ ДИАПАЗОНААлешкевич Н.Н.¹, Будаё А.Г.¹, Кныш В.П.¹, Малый С.В.², Наумович Н.М.³, Юбка А.П.³¹Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем БГУ²Белорусский государственный университет³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Частотно-избирательные экраны (ЧИЭ) широко используются для снижения радиолокационной заметности, обеспечения электромагнитной совместимости и защиты информации, в составе конструкций антенных систем, антенных укрытий и обтекателей [1-3]. Электромагнитные свойства частотно-избирательных структур находятся в сложной зависимости от конструктивных и материальных параметров. Наличие потерь в материалах оказывает существенное влияние на электромагнитные свойства ЧИЭ.

Представляет практический интерес создание ЧИЭ, частотная зависимость коэффициента прохождения через которые близка к прямоугольной. Основными требованиями к электродинамическим характеристикам таких экранов являются малые потери в рабочей полосе частот укрываемого объекта и минимальный коэффициент прохождения вне этой полосы. В зависимости от условий эксплуатации к экрану могут предъявляться также требования по механическим и климатическим характеристикам

Выбор материалов для разработки ЧИЭ должен учитывать уровень потерь на поглощение в рабочем частотном диапазоне. Для создания ЧИЭ предлагается использовать материалы и технологии, используемые при изготовления высокочастотных печатных плат (диэлектрические листы с одно или двухсторонней металлизацией), а также многослойные металло-диэлектрические структуры.

Основными варьируемыми параметрами являются: тип ЧИЭ, конструктивные и электродинамические параметры используемых материалов. Следует учитывать, что выпускаемые материалы для изготовления печатных плат имеют дискретный набор конструктивных (толщина диэлектрика, толщина металлизации, количество слоев) и электромагнитных параметров (диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь).

В качестве объектов исследования были рассмотрены периодические дифракционные решетки (ДР) с прямоугольной ячейкой из отверстий прямоугольной формы.

Вычислительные модели ЧИЭ реализованы на основе метода минимальных автономных блоков (МАОБ) и метода конечных интегралов.

В вычислительных моделях ЧИЭ использовались два типа материалов: FR4 и Taconic RF35-

A2. Первый из них является наиболее распространенным и сравнительно дешевым. Однако он обладает существенными потерями электрического типа в СВЧ диапазоне и представляет практический интерес на этапе предварительного проектирования, изготовления и испытания опытных образцов. Наличие потерь существенно сказывается на резонансных свойствах ЧИЭ и снижает их добротность.

Материал Taconic RF35-A2 предназначен для использования в составе высокочастотных устройств, обладает малыми потерями в СВЧ диапазоне и может быть использован для создания ЧИЭ с требуемыми характеристиками.

На первом этапе разработки рассмотрена модель ЧИЭ, реализованная в виде периодической решетки из прямоугольных отверстий в тонком металлизированном слое материала с толщиной диэлектрической подложки 0.51 мм и толщиной слоя металлизации 0.017 мм. Для обеспечения радиопрозрачности в трехсантиметровом диапазоне СВЧ рассмотрена периодическая решетка прямоугольных щелей с параметрами: длина щели $\ell = 11,25 \text{ мм}$; ширина щели $d = 0,25 \text{ мм}$, 0,5 мм, 1 мм; периоды решетки с прямоугольной формой ячейки - $\Delta x = 7 \text{ мм}$ и $\Delta y = 15 \text{ мм}$.

Анализ результатов численного моделирования показал, что увеличение ширины щели приводит к смещению резонансной частоты в более высокую область ($d = 0,25 \text{ мм} - f_0 \approx 9,5 \text{ ГГц}$, $d = 1 \text{ мм} - f_0 \approx 10,5 \text{ ГГц}$) и увеличение полосы пропускания (по уровню -3 дБ для $d = 0,25 \text{ мм} - 2 \Delta f = 1,5 \text{ ГГц}$, $d = 1 \text{ мм} - 2 \Delta f = 4 \text{ ГГц}$).

При увеличении угла падения Θ волны в Е – плоскости резонансная частота практически не меняется, а частотный диапазон на фиксированных уровнях радиопрозрачности расширяется ($\Theta = 0^\circ - 2 \Delta f = 1,5 \text{ ГГц}$, $\Theta = 60^\circ - 2 \Delta f = 3,5 \text{ ГГц}$). Форма частотная зависимость коэффициента прохождения для однослойной решетки далека от прямоугольной.

Одним из возможных способов повышения крутизны частотной зависимости коэффициента прохождения на границах полосы радиопрозрачности является использования двухслойных дифракционных решеток.

Анализ двухслойной структуры из одинаковых ранее рассмотренных ДР, показывает, что если исключить взаимное влияние ДР, входящих в слоистую структуру,

коэффициенты прохождения для каждой из них должны перемножаться, что обеспечивает увеличение крутизны кривой частотной зависимости коэффициентов прохождения. В результате вычислительного эксперимента установлено, что параллельно расположенные ДР взаимодействуют друг с другом, а расстояние между ними можно использовать в качестве управляющего параметра.

На основе результатов компьютерного моделирования и предварительных экспериментальных исследований была разработана ДР со следующими конструктивными параметрами:

- форма периодической ячейки – прямоугольная;
- периоды решетки: 8мм и 16мм;
- длина щели 11,625мм;
- ширина щели 0,25мм.

Образец ЧИЭ представляет собой трехслойную конструкцию, включающую две панели ДР с диэлектрической пластиной между ними. Фотография фрагмента ЧИЭ представлена на рисунке 1. В качестве межслойного заполнителя использовалась пластина толщиной 8мм из пенополистирола плотностью 35 кг/м³.

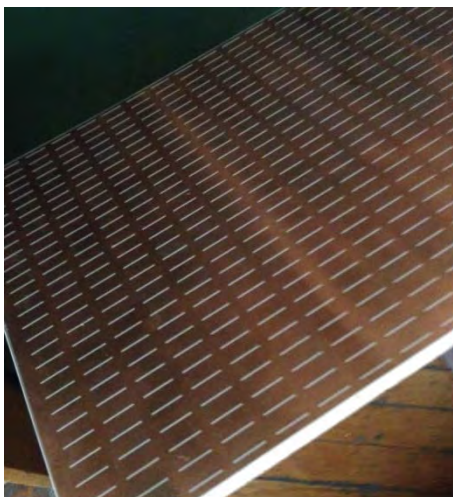


Рисунок 1. Фрагмент частотно-избирательного экрана

Проведено измерение коэффициента прохождения ЧИЭ в диапазоне 8 ÷ 12ГГц. Исследуемый образец устанавливался в окно металлического экрана, который закреплялся на поворотном столе. Облучение образца производилось измерительной антенной П6-23А, с корректирующей линзой. Приемная антенна (открытый конец волновода) устанавливалась в зоне Френеля за экраном. Измерения проводились с использованием векторного анализатора цепей Vector Star VS4642B.

Перед установкой измеряемого образца в отверстие экрана для каждого положения экрана проводилась калибровка тракта (облучающая антенна – экран – приемная антенна) на коэффициент прохождения равный единице.

На рис.2 приведена частотная зависимость коэффициента прохождения ЧИЭ на материале Taconic RF35-A2 при нормальном падении волны.

Максимальное значение коэффициента прохождения ЧИЭ на резонансной частоте (метка1) составило $T_0 = -0,2\text{дБ}$, что значительно лучше, чем у структуры из F4 ($T_0 = -0,56\text{дБ}$).

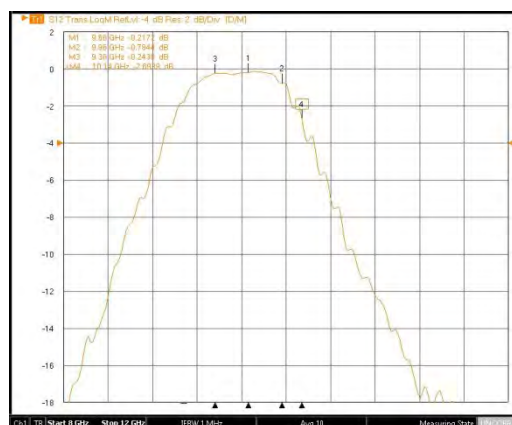


Рисунок 2 Частотная зависимость коэффициента прохождения ЧИЭ. $\theta = 0^\circ$

Различие результатов натурального и вычислительного эксперимента в зоне радиопрозрачности не превышает 0,05дБ, что соизмеримо с точностью измерений, а вне рабочей полосы – не более 2-3дБ на уровнях меньше – 10дБ.

1. В. А. Munk, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design. New York: Wiley Interscience, 2000.
2. Будаев А.Г., Кныш В.П., Малый С.В., Рудницкий А.С., Орлова А.С. Частотно-селективные экраны на основе связанных полосковых резонаторов // Материалы 7-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2014», 19-21 ноября 2014 г., Минск.– С.262-264.
3. Будаев А.Г., Кныш В.П., Малый С.В., Рудницкий А.С. Электромагнитные экраны с расширенными функциональными свойствами // 25-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Материалы конференции. Севастополь, 6-12 сентября, 2015. С. 439-440.

САМОСОГЛАСОВАННАЯ МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАХ РТУТИ

Ануфрик С.С., Володенков А.П., Зноско К.Ф.

Гродненский государственный университет

Гродно, Республика Беларусь

Для расчета оптических характеристик плазмы на смеси аргона и ртути на длине волны 254 нм была использована упрощенная четырехуровневая схема энергетических переходов атома ртути, при этом учитывались основной уровень 6^1S_0 , уровни триплета $6^3P_{0,1,2}$. Такая модель позволяет определить максимально возможный выход резонансного излучения на длине волны 254 нм [1]. На рис. 1 представлена упрощенная четырехуровневая схема [1].

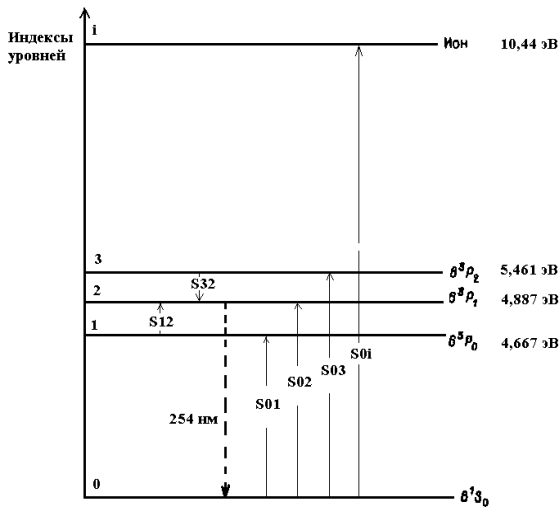


Рис.1 Упрощенная диаграмма уровней энергии ртути

При расчете заселенностей уровней учитывались следующие процессы с участием электронов.

А) Прямое возбуждение электронным ударом из основного состояния атома ртути 6^1S_0 на уровни триплета $6^3P_{0,1,2}$.

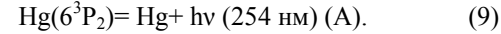
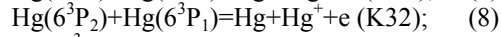
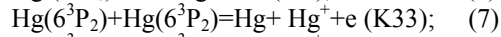
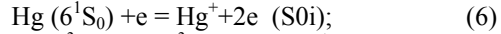
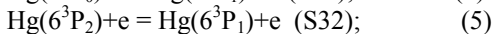
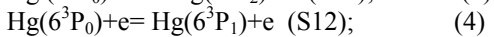
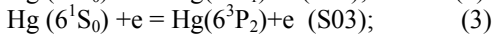
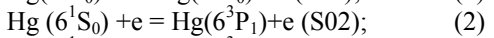
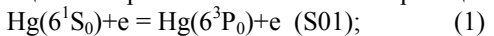
Б) Ионизации основного состояния атома ртути 6^1S_0 .

В) Заселенности уровня 6^3P_1 при переходах с уровней 6^3P_0 и 6^3P_2 .

Г) Ионизация Пеннинга при столкновении атомов ртути в состоянии 6^3P_2 . Ионизация Пеннинга при столкновении атомов ртути в состояниях 6^3P_1 и 6^3P_2 .

Д) Резонансное излучение с уровня 6^3P_1 на длине волны 254 нм.

Учет этих процессов может быть описан следующим набором плазмохимических реакций.



В скобках около реакций указаны обозначения скоростных коэффициентов.

При расчетах задавались следующие параметры. Амплитуда напряжения $U_0 = \sqrt{2} 220 \sim 310$ В. Частота сети $f=50$ Гц. Балластная индуктивность $L1=600$ мГн; $R1=10$ Ом, $C1=10^{-8}$ Ф. Межэлектродное расстояние $d=40$ см; радиус разрядной трубки $R=1,1$ см. Концентрация атомов аргона $9,9 \cdot 10^{16}$ 1/см³ (парциальное давление 3 Торр). При исследовании эмиссионных характеристик в зависимости от состава смеси концентрация атомов ртути менялась в пределах $1,5 \cdot 10^{14}$ 1/см³ – $3 \cdot 10^{14}$ 1/см³.

На рис/ 2 представлена зависимость мощности излучения (1) на длине волны 254 нм и мощности тепла, выделяемой в разряде (2), от концентрации атомов ртути.

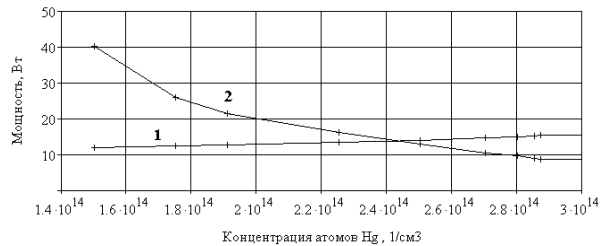


Рис.2 Зависимость мощности излучения (1) на длине волны 254 нм и мощности тепла, выделяемой в разряде (2), от концентрации атомов ртути

Для построения замкнутой модели источников излучения на парах ртути необходимо учесть зависимость концентрации атомов ртути от температуры внутренней поверхности излучателя, которая определяется мощностью тепла выделяемого в излучателе, параметрами излучателя и условиями теплообмена на внешней поверхности излучателя.

Считаем, что излучатель имеет следующие параметры: внутренний диаметр $D=2,2$ см; толщина стенок $d=0,2$ см; длина излучателя $L=40$ см; излучатель изготовлен из кварца с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,0138$ Вт/(см К). Предположим, что мы реализуем такой режим работы, что в установившемся случае температура внутренней поверхности излучателя равна $T_{вн}=43,3^0$ С. По графику зависимости концентрации атомов ртути (парциального давления) от

температуры (рис. 3) определяем, что концентрация атомов ртути равна $2.411 \cdot 10^{14} \text{ 1/см}^3$.

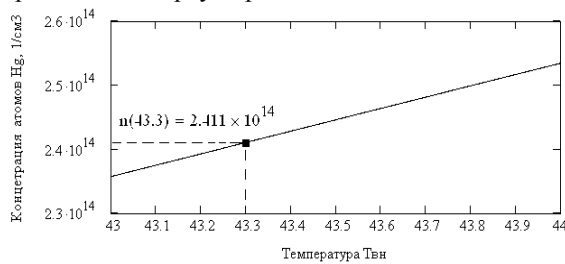


Рис. 3 Зависимость концентрации атомов ртути от температуры

По графику на рис.2 определяем, что при такой концентрации в разряде мощность тепловыделения равна $P=13,744 \text{ Вт}$. Эта мощность должна отводиться через стенки излучателя, поэтому

$$P = \lambda \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot \frac{(T_{вн} - T_{ст})}{d}$$

Отсюда определяем температуру внешней стенки излучателя $T_{ст}$.

$$T_{ст} = T_{вн} - \frac{P \cdot d}{\lambda \cdot \pi \cdot D \cdot L} = 42.5795^0 \text{ С.}$$

Считаем, что теплообмен на внешней поверхности излучателя обусловлен продуванием потока воздуха с температурой $T_{в}=20^0 \text{ С}$ со скоростью W . Кинематическая вязкость воздуха при этой температуре равна $\nu = 15.06 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$, теплопроводность воздуха равна $\lambda_{в} = 0.0259 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/см К}$. Число Прандтля для воздуха при этой температуре равно $Pr = 0,703$. Рассчитываем число Рейнольдса как функцию скорости потока W .

$$Re(W) = \frac{W \cdot (D + 2d)}{\nu}$$

По данным [2] экспериментальные данные по теплоотдаче при поперечном обтекании одиночной круглой трубы спокойным, нетурбулизированным потоком обобщаются следующей формулой.

$$Nu(W) = (0,43 + 0,55(Re(W))^{0,5} \cdot (Pr)^{0,38})$$

где $Nu(W)$ – число Нуссельта. Тогда коэффициент теплоотдачи как функцию скорости потока W на участке стабилизированного течения будет равен.

$$\alpha(W) = Nu(W) \cdot \frac{\lambda_{в}}{(D + 2d)}$$

Тогда тепловой поток будет равен как функция скорости потока W

$$P_T(W) = \alpha(W) \cdot \pi \cdot (D + 2d) \cdot L \cdot (T_{ст} - T_{в})$$

Подбираем такую скорость потока W , чтобы $P_T(W) = P = 13,744 \text{ Вт}$. Это равенство будет выполняться при $W = 83.56 \text{ см/с}$. Тогда $Re = 1.443 \cdot 10^3$; $Nu = 18,702$; $\alpha = 1.863 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/см}^2 \text{ К}$;

$$P_T(83.56) = 13.744 \text{ Вт.}$$

Рассмотрим случай конвективного теплообмена на внешней стенке излучателя.

Безразмерное число Грасгофа для воздуха равно

$$Gr(T_{в}) = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{ст} - T_{в}) \cdot (D + 2d)^3}{\nu^2}$$

Для расчета коэффициента теплоотдачи в условиях естественной конвекции обычно пользуются зависимостью следующего вида [2].

$$Nu(T_{в}) = B \cdot (Gr(T_{в}) \cdot Pr(T_{в}))^n \cdot \left(\frac{Pr(T_{в})}{Pr(T_{ст})} \right)^{0,25}$$

где величины B , n зависят от произведения $(Gr(T_{в}) Pr(T_{в}))$ и приведены в [2].

Тогда коэффициент теплоотдачи как функцию температуры воздуха $t_{в}$ будет равен.

$$\alpha(T_{в}) = Nu(T_{в}) \cdot \frac{\lambda_{в}}{(D + 2d)}$$

Тогда тепловой поток будет равен как функция температуры воздуха $t_{в}$ будет равен

$$P_T(T_{в}) = \alpha(T_{в}) \cdot \pi \cdot (D + 2d) \cdot L \cdot (T_{ст} - T_{в})$$

Приведенные выше соотношения позволяют построить самосогласованную модель для расчета мощности излучения люминесцентных ламп.

На основании разработанной модели рассчитаны эмиссионные характеристики разрядной плазмы в Ar-Hg смеси в ультрафиолетовой области спектра на длине волны 254 нм в зависимости от параметров системы возбуждения, параметров излучателя и условий теплообмена на поверхности излучателя. Показано, что КПД преобразования, мощности полученной от сети в излучение на длине волны 254 нм составляет ~25%. При этом полная средняя мощность излучения на длине волны 254 нм в условиях моделирования составляла ~13 Вт, при мощности вкладываемой в разряд ~34 Вт, и потребляемой от сети ~50 Вт. Установлено, что КПД преобразования и мощность излучения растут с увеличением концентрации паров ртути, поэтому целесообразно для охлаждения использовать естественную конвекцию.

1. Ануфрик С.С. Моделирование источников излучения на парах ртути / С.С. Ануфрик, А.П. Володенков, К.Ф. Зноско// 8-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение 2015», 25–27 ноября 2015 г., БНТУ, Минск, Беларусь.-2015.-Том 2, – с. 3-4.
2. Баскаков А. П. Теплотехника / А. П. Баскаков и др. – М.: Энергоатомиздат.1991. -224 с.

АНАЛИЗ И ПОДГОТОВКА К ПРОИЗВОДСТВУ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ФИЛЬТРОВ

Артамонов А.М., Хохлов Е.А.

ООО «ИЗОВАК Технологии»

Минск, Республика Беларусь

Линейные перестраиваемые фильтры (Linear Variable Filter) представляют собой класс полосовых фильтров на основе сложных многослойных интерференционных покрытий, обладающие линейной анизотропией оптических свойств по одной из геометрических осей, которая позволяет перестраивать выделяемую (фильтруемую) длину волны оптического излучения [1].

Анизотропия оптических свойств, как правило, осуществляется за счет создания управляемой неравномерности вдоль оси по которой происходит перестроение длины волны. При этом основным параметром является величина спектрального градиента, определяющая изменение оптической характеристики на единицу длины фильтра.

Одним из способов управления неравномерностью осаждаемой пленки в PVD процессах, является вакуумное маскирование [2], которое, в основном, применяется для формообразования оптических поверхностей, а также для повышения степени равномерности PVD (Physical Vapor Deposition) покрытий сверх той, которая обусловлена геометрией расположения технологических устройств и подложки [3].

Цель работы состояла в определении параметров геометрии вакуумной маски, а также ее расположению в пространстве вакуумной камеры, для получения линейного перестраиваемого фильтра с величиной спектрального градиента равной 20 нм/мм в диапазоне длин волн 400-700 нм.

Для математического расчета вакуумных масок и их влияния на распределение материала на поверхности детали необходимо обратиться к модели Кнудсена (рисунок 1), следующей из молекулярно-кинетической теории. Данная модель описывает распределение потока эмитированных частиц из элемента площади источника dS и подчиняется косинусному распределению и может быть описана следующим выражением:

$$J_{\theta} = \frac{Q}{\pi r^2} \cdot \cos \theta, \quad (1)$$

где Q - скорость эмиссии частиц из элемента площади источника, r - расстояние от элемента площади источника, θ - угол от нормали элемента площади источника.

Для определения плотности частиц конденсирующихся на произвольно расположенном элементе площади поверхности подложки dA из (1) следует следующее выражение:

$$J = \frac{Q}{\pi r^2} \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi, \quad (2)$$

где φ - угол от нормали элемента площади поверхности подложки.

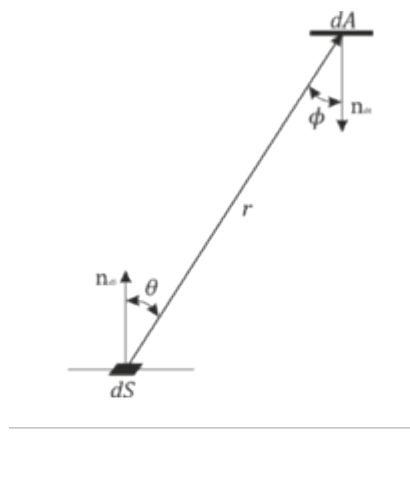


Рисунок 1 – Модель распределения частиц из точечного источника

В работах [3], [4] и [5] вычисление распределения сконденсировавшегося материала на поверхности подложки выполняется аналитическим интегрированием. При этом для системы источник-подложка выводится частная подынтегральная функция из уравнения (2) с учетом всех особенностей системы, таких как: геометрия подложки, геометрия источника, движение подложки относительно источника и др. При внедрении в математическую модель геометрии маски сложность подынтегральной функции значительно возрастает, что применение аналитических методов интегрирования становится затруднительным при проведении моделирования с вариативностью геометрии маски. Для расчета было разработано программное обеспечение, которое вычисляет распределение материала на поверхности численными методами интегрирования. В основу геометрической модели для расчета легла геометрия вакуумного технологического оборудования Advanced Optical Coater (ВТО АОС) производства ООО «ИЗОВАК» [6].

Оптический дизайн был рассчитан в программном комплексе OptiLayer. Формула покрытия описывается следующим выражением: 3(HL)+2H+3(LH)+L+3(HL)+2H+3(LH), где в качестве материала с высоким уровнем показателя преломления (H) выступает Nb_2O_5 , а с низким уровнем показателя преломления (L)- SiO_2 . Для

расчета геометрии вакуумной маски были получены распределения физических толщин материалов для требуемого диапазона перестроения путем сдвига расчетной длины волны покрытия.

Установлено, что для достижения требуемого спектрального градиента требуется обеспечить неравномерность слоев Nb_2O_5 на уровне 48,1%, а SiO_2 на уровне 42,9%. Данные значения свидетельствуют о линейности (рисунок 2) зависимости относительной неравномерности от координаты подложки, а полученное различие объясняется различными характеристиками дисперсии показателя преломления для материалов. Таким образом был получен общий вид геометрии вакуумной маски, представляющий собой в фронтальной проекции равнобедренную трапецию. Изменением угла наклона боковых граней можно управлять распределением материала по поверхности подложки в поперечной оси. Для простоты описания геометрии маски, а также ввиду того что держатель-барабан имеет форму цилиндра геометрия маски во время проведения расчета задавалась в цилиндрических координатах (r, φ, z) (рисунок 3).

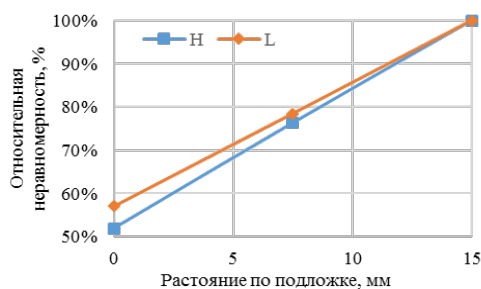


Рисунок 2 - Зависимость относительной неравномерности от расстояния по подложке

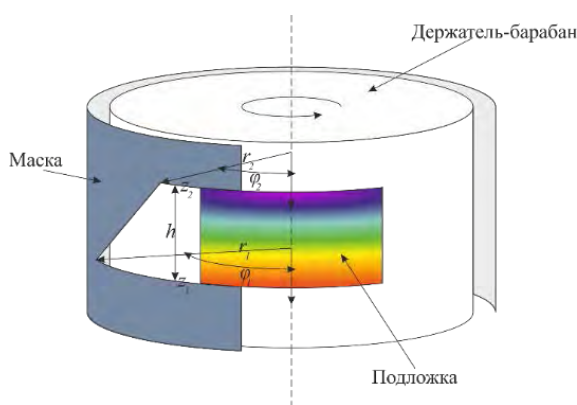


Рисунок 3 – Геометрия маски в цилиндрических координатах

После установки граничных условий на геометрию маски были проведены численные моделирования процессов конденсации пленки с учетом геометрии вакуумной маски. При этом значение полярных углов φ_1 и φ_2 для нижнего и верхнего оснований трапеции задавались для

получения максимального значения коэффициента линейной корреляции r_{XY} (рисунок 4) между расчетной относительной неравномерностью и относительными неравномерностями, полученными в ходе анализа спектральной характеристики при заданном спектральном градиенте. Для нижнего основания трапеции были получены следующие координаты $(210, \pm 15^\circ, 0)$ для H и L, а для верхнего основания $(210, \pm 7^\circ, 30)$ для H и $(210, \pm 6^\circ, 30)$ для L. Величины коэффициентов линейной корреляции для H и L составили $r_{XY}=0,99956$ и $r_{XY}=0,99934$ соответственно.

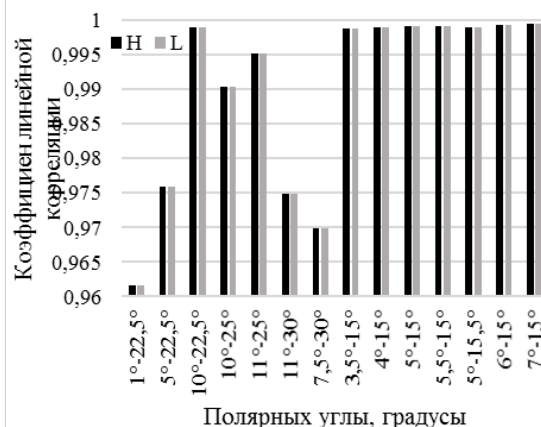


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента линейной корреляции от полярных углов φ_1 - φ_2

Таким образом в ходе работы была показана возможность получения линейных перестраиваемых фильтров на ВТО АОС. Были определены начальные цилиндрические координаты размеров вакуумных масок с минимальным коэффициентом линейной корреляции для материалов с учетом дисперсии показателей преломления для заданного спектрального градиента. Дальнейшим продолжением работы планируется проверка данных полученных в ходе данной работы.

1. Wolfe William L. Introduction to Imaging Spectrometers - Bellingham : SPIE, 1997. – Т. 25.
2. Каширин В. И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
3. Oliver JB и Talbot D Optimization of deposition uniformity for large-aperture National Ignition Facility substrates in a planetary rotation system // Applied Optics. - 2006 г.. - 13 : Т. 45. - стр. 3097-3105.
4. Cunding Liu [и др.] Theoretical design of shadowing masks for uniform coatings on spherical substrates in planetary rotation systems // Optics express. - 2012 г. – 21 : Т. 20.
5. Сенюк Б. Н. Метод определения площади функциональной маски для вакуумной асферизации // Прикладная физика. - 2007 г. –3. - стр. 129-135.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО РЕКУРРЕНТНОГО ФИЛЬТРА ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

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

Введение

Повышение точности фильтрации и надежности при отказах датчиков достигается комплексированием результатов измерений одних и тех же параметров совокупностью измерителей, которые могут быть построены на различных физических принципах. Существующие методы [1] для своей реализации требуют знания моделей и априорных статистических характеристик, которые в ряде случаев недоступны. Для решения задачи в условиях неопределенности применяется метод наименьших квадратов [2]. Однако для увеличения точности фильтрации в этом случае совместно применяют адаптивную фильтрацию, использующую дополнительную информацию из текущих измерений [3, 4].

Вызывает интерес решение общей задачи синтеза адаптивных рекуррентных фильтров с нахождением их структуры, что можно осуществить с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов (РМНК) [5].

1. Исходные положения

Предполагается, что фильтрации подлежит случайная скалярная последовательность x_k , где $k = 0, 1, 2, \dots$ есть дискретное время. Измерения осуществляются посредством N датчиков, совокупность сигналов на выходах которых можно представить N -мерным вектором $x_k \cdot \mathbf{1}$, $\mathbf{1} = [1, \dots, 1]^T$. Вектор сигналов датчиков представляется в виде $x_k H \mathbf{1}$, где $N \times N$ матрица H с элементами $h_{i,j}$ ($i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$) отображает характеристики датчиков и связей между ними. Наблюдения осуществляются со случайными ошибками в виде аддитивных шумов с нулевым математическим ожиданием $\mathbf{v}_k = [v_{1,k}, \dots, v_{N,k}]^T$, в результате чего вектор наблюдений $\mathbf{z}_k = [z_{1,k}, \dots, z_{N,k}]^T$ имеет вид

$$\mathbf{z}_k = H \mathbf{1} x_k + \mathbf{v}_k. \quad (1)$$

Считается, что модель формирования полезного сигнала x_k и его характеристики априори неизвестны. Кроме того, неизвестной полагается и ковариационная матрица шумов \mathbf{v}_k .

Адаптивная фильтрация должна обеспечить текущие рекуррентные оценки скалярного полезного сигнала x_k по результатам измерений (1). Для этого используется РМНК, в основе которого лежит выбор подходящего функционала

потерь. Одним из возможных вариантов функционала J_k может быть следующий:

$$J_k(\hat{x}_k, \hat{a}_k) = (\mathbf{z}_k - H \mathbf{1} \hat{x}_k)^T (\mathbf{z}_k - H \mathbf{1} \hat{x}_k) + (\hat{x}_k - \hat{a}_k \hat{x}_{k-1})^2 + \alpha (\hat{a}_k - \hat{a}_{k-1})^2. \quad (2)$$

В выражении (2) первое слагаемое задает невязкой решения, второе определяет согласование оценки \hat{x}_k с оценкой на предыдущем шаге \hat{x}_{k-1} и неизвестным сглаживающим коэффициентом \hat{a}_k , подлежащим оценке наряду с \hat{x}_k . Третье слагаемое обеспечивает сглаживание оценки этого коэффициента с размерным эмпирическим коэффициентом регуляризации α , дающим возможность получения стабильного решения.

2. Уравнения адаптивного фильтра

Оптимальные текущие оценки \hat{x}_k и \hat{a}_k находятся из условия минимума критерия (2):

$$\hat{x}_k = \frac{\hat{a}_k}{1 + h_0^2} \hat{x}_{k-1} + \frac{1}{1 + h_0^2} \mathbf{b}^T \mathbf{z}_k; \quad (3)$$

$$\hat{a}_k = \frac{\alpha(1 + h_0^2)}{\alpha(1 + h_0^2) + h_0^2 \hat{x}_{k-1}^2} \hat{a}_{k-1} + \frac{\hat{x}_{k-1}}{\alpha(1 + h_0^2) + h_0^2 \hat{x}_{k-1}^2} \mathbf{b}^T \mathbf{z}_k. \quad (4)$$

где $h_0^2 = \mathbf{1}^T H^T H \mathbf{1}$; $\mathbf{b} = H \mathbf{1}$.

В результате сомножитель $\mathbf{b}^T \mathbf{z}_k$ будет скалярным комплексированным входным воздействием фильтра.

Уравнения (3) и (4) являются рекуррентными, в которых значения \hat{x}_{k-1} и \hat{a}_{k-1} определены на предыдущем шаге решения. Они отображают адаптивный характер фильтрации, поскольку их параметры не зависят от априорных сведений о модели полезного сигнала и характеристик шумов, а определяются на основе текущих измерений \mathbf{z}_k . Учет комплексирования происходит посредством коэффициента h_0^2 и вектора \mathbf{b} , связанных с параметрами матрицы датчиков.

3. Сравнение адаптивного фильтра с фильтром Калмана

Пусть формирование полезного сигнала x_k осуществляется посредством модели в виде стохастического конечно-разностного уравнения первого порядка:

$$x_k = a_x x_{k-1} + w_k, \quad (5)$$

где постоянный параметр модели $0 < a_x < 1$, а w_k есть дискретный белый шум с нулевым математическим ожиданием и постоянной диспер-

сией σ_w^2 . Можно показать, что в установившемся режиме параметры модели (5) связаны с дисперсией сигнала x_k [6] соотношением $\sigma_w^2 = \sigma_x^2(1 - a_x^2)$. Параметр a_x связан с длительностью корреляции τ_x , соотношением $a_x = \tau_x / (\tau_x + 1)$. Дисперсия σ_v^2 шума наблюдений в каждом канале фильтра определяется исходя из отношения сигнала к шумам $q = \sigma_x / \sigma_v$ при заданных значениях q и σ_x .

Ниже приводятся результаты оценки точности фильтрации в установившемся режиме при следующих параметрах: $H = I$, $\alpha = 1$; $\sigma_x^2 = 400$; $\tau_x = 10, 20, 50$; $q = 3, 5, 10$. Усреднение проводилось по данным 10^3 испытаний.

На рис. 1 приведен фрагмент реализации результатов фильтрации входного сигнала (штрихпунктирная линия), фильтром Калмана (штриховая линия) и адаптивным фильтром наименьших квадратов (сплошная линия).

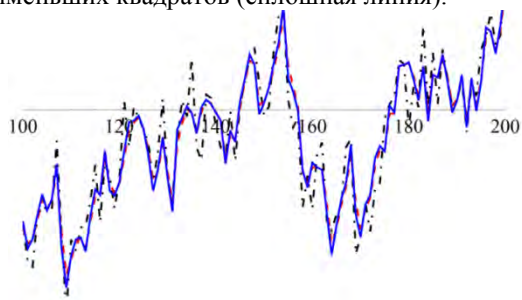


Рис. 1. Фрагмент реализации результатов фильтрации при $\tau_x = 50$, $q = 5$

На рис. 2,а сплошными линиями показана зависимость относительной величины среднеквадратического отклонения (СКО) ошибки фильтрации $\epsilon = \sigma_e / \sigma_x$ от числа каналов N измерений входного сигнала при различных значениях длительности корреляции τ_x при $q = 5$, а на рис. 2,б – зависимость ϵ от N при различных значениях q и $\tau_x = 50$.

На рис. 2 штриховыми линиями показаны результаты для фильтра Калмана, которые могут служить нижней границей ошибок. Увеличение ошибки фильтрации адаптивного фильтра по сравнению с этим случаем вызвано неучетом априорной информации.

Заключение

Полученные результаты позволяют утверждать, что адаптивные фильтры наименьших квадратов при комплексированных измерениях могут быть использованы при отсутствии априорной информации о моделях полезных сигналов и шумов наблюдений. В этом смысле данные фильтры универсальны по

сравнению с фильтром Калмана и могут иметь широкое применение. Нахождение параметров адаптивного фильтра наименьших квадратов менее трудоемко, чем у фильтра Калмана, что упрощает их реализацию в реальном масштабе времени.

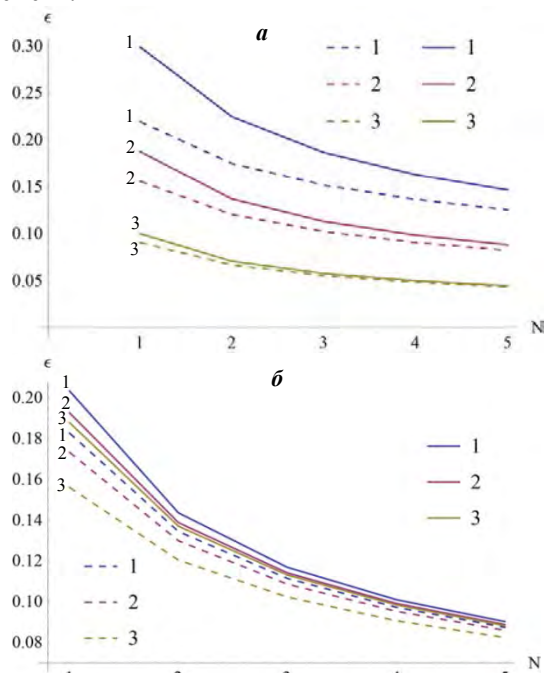


Рис. 2. Относительные значения СКО ошибок фильтрации: а) при различных длительностях корреляции: 1) $\tau_x = 10$, 2) $\tau_x = 20$, 3) $\tau_x = 50$ и $q = 5$; б) при различных отношениях сигнала к шумам: 1) $q = 3$, 2) $q = 5$, 3) $q = 10$ и $\tau_x = 50$

1. Справочник по теории автоматического управления / под. ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 711 с.
2. Степанов, А.О. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации // СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – Ч.1. Введение в теорию оценивания. – 496 с.
3. Maurice, G.B. A Fast Least-Squares Algorithms for Linearly Constrained Adaptive Filtering // IEEE Trans. Signal Processing. – 1996. – Vol. 44, № 5. – P. 1168–1174.
4. Адаптивные фильтры / под. ред. П.Н. Гранта, К.Ф. Коузэна. – М.: Мир, 1988. – 388 с.
5. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки изображений. – М.: Физматгиз, 1962. – 349 с.
4. Артемьев В.М., Наумов А.О., Кохан Л.Л. Оптимальная линейная совмещенная фильтрация случайных последовательностей на основе рекуррентного метода наименьших квадратов // Информатика. – 2015. – № 1. – С. 8–16.

ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗЕРКАЛ

Артюхина Н.К., Марчик В.А., Самусенко А.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Из всех известных методов измерений оптические измерения относятся к наиболее точным. Пороговая чувствительность и точность классических методов оптических измерений находится на уровне длины волны применяемого излучения, которая для видимого светового диапазона составляет величину порядка 0,5 мкм. Современные технологии, в том числе электронные и компьютерные, как и другие научно-технические достижения, позволяют дополнительно повысить точность и чувствительность измерения в десятки раз. Незаменимым свойством результатов оптических методов и исследований является их наглядность, надежность и убедительность. Вследствие этого роль оптических измерений в большинстве областей естественнонаучных и научно-технических исследований, в технической, медицинской и биологической практике возрастает [1].

Интерферометры являются незаменимыми инструментами при оценке качества формы в оптическом производстве. Они используются в измерительных системах для контроля плоскостности и сферичности оптических поверхностей, измерения радиуса кривизны и оптических параметров линз [2].

На сегодняшний день проектирование интерферометров для оценки точности формы поверхности плоских оптических деталей осуществляется по следующим трем направлениям, которые представлены в виде следующих моделей интерферометров:

1. Голографический интерферометр. Особенностью приборов данного типа является обязательное использование голограмм в качестве образцовой поверхности. Однако из-за технологических трудностей получения стабильной во времени голограммы с достаточной разрешающей способностью данные интерферометры применения не получили и существуют лишь на уровне опытных образцов.

2. Дифракционный интерферометр (point-diffraction interferometer – PDI). Отличительной особенностью данного измерительного оборудования является использование волнового фронта сравнения, который образуется в результате дифракции света на малом отверстии в тонком полупрозрачном экране. Данный тип приборов отличается отсутствием образцовой стеклянной поверхности и неизбежных ошибок связанных с изготовлением. Однако функция оценки точности измеряемой поверхности данными

интерферометрами осуществима лишь при вспомогательном оборудовании.

3. Интерферометр, построенный по схеме Физо. В настоящее время интерферометры, позволяющие выполнять контроль формы деталей размерами от 10 до 80 мм, серийно не выпускаются.

Большинство интерферометров для контроля плоскостности построено по принципиальной схеме такого интерферометра (рис.1).

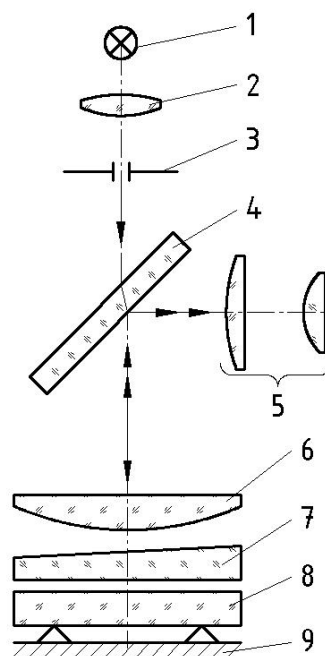


Рис. 1. Интерферометр Физо:

1 – источник света; 2 – конденсор;
3 – диафрагма; 4 – ветоделительная пластинка;
5 – телескопическая лупа; 6 – объектив коллиматора; 7 – эталонная клиновидная пластина; 8 – контролируемая пластина; 9 – стол

Свет монохроматического источника 1 (чаще всего ртутной лампы) собирается конденсором 2 на диафрагме 3, расположенной в фокальной плоскости объектива 6 коллиматора. Интерферирующие пучки отражаются от нижней эталонной плоскости слегка клиновидной пластины 7 и от верхней контролируемой плоскости пластины 8, которая установлена на столе 9 и может перемещаться и наклоняться относительно эталона.

В ОАО «ЛОМО» (г. Санкт-Петербург) разработан современный интерферометр ИКД-14,

предназначенный для внутреннего использования на предприятии и позволяющий осуществлять высокопроизводительный контроль формы поверхностей различных оптических деталей в производственных условиях бесконтактным методом с автоматической обработкой результатов измерений.

В данной работе рассматривается интерферометр для контроля крупногабаритных зеркал, который предназначен для оперативного контроля качества поверхности зеркал размером до 160 мм. Область применения интерферометра – проведение измерений контроля качества поверхности в оптических лабораториях, на производственных сборочных участках.

Принципиальная оптическая схема разрабатываемого интерферометра приведена на рис. 2.

Световой пучок от лазера 1 с помощью микрообъектива 2 фокусируется на матовой пластинке 3, расположенной в фокальной плоскости коллиматорного объектива 8. Матовая пластинка 3 непрерывно вращается для уничтожения спекл-структуры изображения.

Параллельный пучок света, вышедший из объектива 8, проходит через эталон 9 и попадает на контролируемую поверхность детали 10, расположенную на юстировочном столике 11. В обратном ходе лучи, отраженные от эталона 9 и контролируемой поверхности 10, возвращаются обратно через коллимирующий объектив 8 и, отразившись от светоделителя 5, формируют интерференционную картину, которая фокусирующим объективом 12 проецируется на светочувствительную площадку фотоприемника 13, оптически сопряженную с плоскостью контролируемого зеркала 10. Поляризатор 4 предназначен для регулировки уровня освещенности изображения на фотоприемнике.

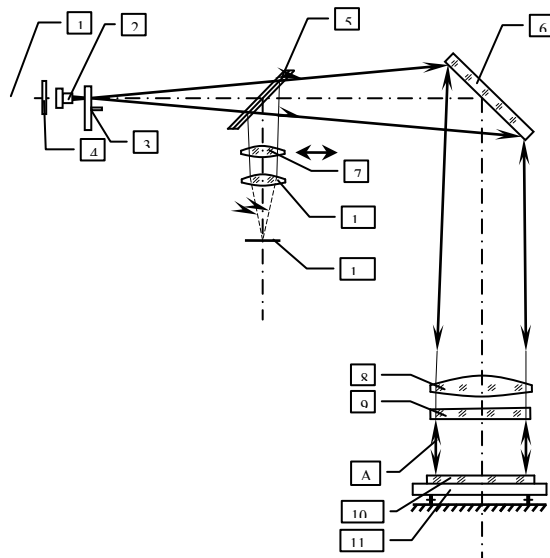


Рис. 2. Принципиальная оптическая схема интерферометра

Оцифрованное изображение интерференционной картины с цифровой камеры передается на монитор (ПК).

Питание лазера 1 осуществляется от источника 14.

Литература

1. В.К. Кирилловский. Оптические измерения. Часть 5. Аберрации и качество изображения. – СПб: СПбГУ ИТМО. 2006.- 107 с.
2. Коломийцев Ю.В. Интерферометры. Основы инженерной теории, применение.- Л., Машиностроение, 1976. – 296 с.
3. Прикладная физическая оптика: Учебник для вузов / И.М. Нагибина, В.А. Москалев, Н.А. Полушкина, В.Л. Рудин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 565 с.

УДК 535.317

ОПТИЧЕСКИЕ КЛИНОВЫЕ ИМИТАТОРЫ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ

Артюхина Н.К., Лещинская А.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Оптические клиновые компенсаторы представляют собой устройства, применяемые для сообщения определенной разности хода двум лучам света. Клиновые компенсаторы применяются для измерения и устранения малых смещений или отклонения изображения в оптических системах. Основным принцип работы компенсаторов заключается в возможности введения очень малых разностей хода посредством грубых

перемещений. Наиболее распространенные типы компенсаторов:

- ✓ Качающаяся плоскопараллельная пластинка (смещение луча перпендикулярно оси);
- ✓ Перемещающийся клин (смещение луча перпендикулярно преломляющему ребру);
- ✓ Качающееся зеркало (отклонение луча на двойной угол поворота);
- ✓ Вращающийся клин (изображение вращается по окружности);

✓ Компенсатор из двух клиньев (отклонение луча пропорционально косинусу угла разворота клиньев).

В данной работе представлены результаты модернизации системы, используемой в формирователе входных сигналов аппаратуры для имитации траектории движения точки. Такая модернизация вызвана необходимостью улучшения технологичности конструкции, упрощения и изменения параметров.

Разработана конструкция из пары оптических клиньев для использования в формирователе. Оптическая система формирователя представлена на рисунке 1; она состоит из коллиматора, создающего необходимую цель, зеркал для излома оптической оси и компенсаторов, конструкция которых состоит из двух клиньев с одинаковыми преломляющими углами.

Моделирование оптической систем проведено в программной среде ZEMAX. Модель оптической системы изображена на рисунке 1, где показано $\frac{3}{4}$ части элементов, для демонстрации угла разворота клиньев. Углы разворота клиньев соответствуют расчетным значениям. Клинья, отклоняющие пучок лучей в плоскости чертежа, развернуты на $60,36^\circ$ каждый относительно друг друга. Отклоняющие клинья в плоскости Y – на $48,12^\circ$.

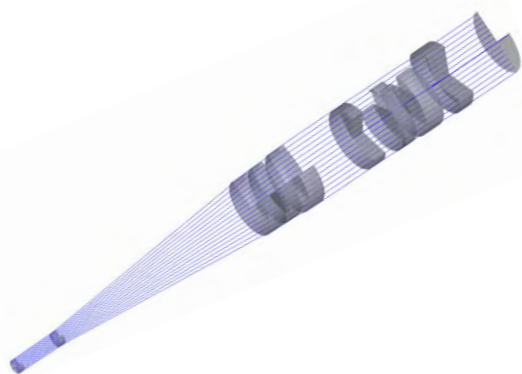


Рис 1. Модель оптической системы, построенная в программной среде ZEMAX

Изучены зависимости изменения положения точки, созданной коллиматором с телескопической насадкой, для расширения до необходимого размера от угла разворота клиньев в паре. Рассмотрены взаимодействие двух пар клиньев с указанием изменяющихся качественных характеристик системы в зависимости от угла разворота клиньев. Проведено исследование влияния использования различных марок стекол на хроматическую aberrацию, возникающую в оптической системе. В данном случае хроматическая aberrация будет представлять разность углов отклонения пучка лучей от крайних длин волн.

Угол отклонения пучка лучей, выходящего из пары клиньев находится по следующей формуле:

$$\varepsilon = 2\omega \cos \varphi = 2(n - 1)\theta \cos \varphi.$$

Проведен анализ 13 марок стекол, и выбрана наиболее подходящая марка: стекло К8. Выявлена зависимость показателя преломления стекол на воздействие хроматической aberrации на систему. График применения различных марок стекол представлен на рисунке 2.

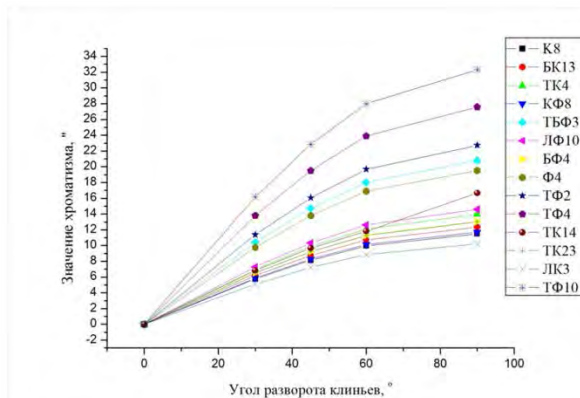


Рис 2. Зависимость хроматизма от угла разворота клиньев

Определен важнейший критерий оценки качества изображения и воздействия хроматизма на систему в целом – диаметр кружка рассеяния.

Для оценки качества изображения рассчитаны функция концентрации энергии, функция рассеяния точки и число Штреля (рисунок 3). Качество изображения данной системы удовлетворяет заданным требованиям. Функция рассеяния точки (ФРТ) имеет один ярко выраженный максимум. Функция рассеяния линии (ФРЛ) в меридиональном и сагиттальном направлениях имеют допустимое расхождение.

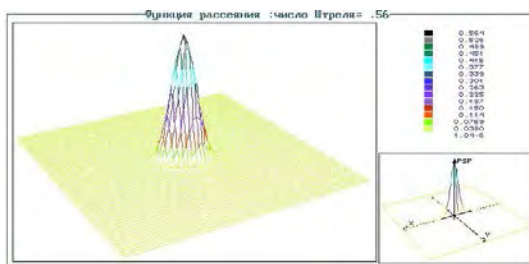


Рис 3. Функция рассеяния точки

Рассчитаны преломляющие углы клиньев и максимальные углы разворота клиньев. Расчет преломляющего угла клиньев состоял из расчета отклонения в горизонтальном направлении, расчета отклонения в вертикальном направлении и расчета чувствительности механизма вращения

при повороте клиньев на 2° , с учетом диаметра клина.

$$l = \frac{2\pi R}{360} * 2, \text{ м.}$$

Результатом данного расчета является вывод о том, что для компенсации ошибки увода оси в призме равной $43''$ в двух сечениях, необходимо развернуть клинья, с разностью преломляющих углов $3''$, на 42° в противоположных направлениях.

Проведено исследование воздействия пары вращающихся клиньев на заклон оптической оси. Призма-ромб БС-0 с двумя независимыми вращающимися клиньями, позволяет компенсировать ошибки, возникающие в призме (рисунок 4).

Были подобраны различные углы клиньев таким образом, чтобы заклон оптической оси составлял $2''$ при повороте клиньев на 2° .

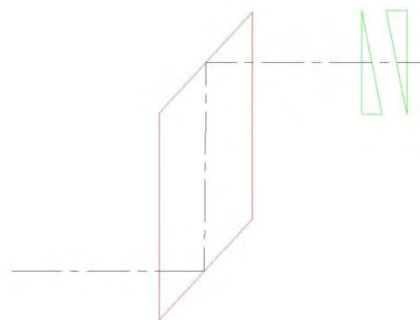


Рис. 4. Система для компенсации увода оси в призме

Данная система рассчитана и проанализирована в программных средах OPAL и ZEMAX. Проведено 3Д моделирование оптической системы и конструкции данной аппаратуры.

УДК 535.317

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОЛЛИМАТОРНОГО ПРИЦЕЛА

Артюхина Н.К., Першин Д.И., Аль-Махмуд Шуайб Хассан

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В настоящее время широкое распространение получили коллиматорные прицелы, используемые при разработке аппаратуры для автоматического стрелкового оружия. Одним из оптических устройств, который получил широкое распространение в настоящее время, является коллиматорный прицел. Прицел – оптическое устройство, предназначенное для наведения оружия на цель при стрельбе в любых условиях освещенности: в дневное время, в сумерках и ночью (вместе с ПНВ). В стрелковом оружии, в зависимости от условий применения, используются различные оптические приспособления.

В данной работе представлена оптическая система для коллиматорного прицела закрытого типа (рис. 1).



Рис. 1. Оптическая схема коллиматорного прицела

Особенностью схемного решения системы является использование полупрозрачной линзы со светоделительным покрытием, установленной под углом к оптической оси. Коллиматор проецирует на линзу прицельную марку, а светоделительное покрытие позволяет одновременно с

прицельной маркой наблюдать через линзу внешние объекты и цели, без искажения и увеличения. Луч света, проходя через линзы, образует световой пучок, в результате чего стрелок и видит «марку».

Для расчета и анализа aberrаций выбрана базовая схема, состоящая из центрированных элементов. Используются следующие условия нормировки для первого параксиального луча:

$$\alpha_1 = 0, \alpha_2 = -1, h_1 = 1.0, f' = 1.0.$$

Методика расчета осуществлялась в два этапа. На этапе габаритного расчета, получены значения конструктивных параметров (радиусы кривизны и расстояния между поверхностями).

На втором этапе для aberrационного расчета использовался пакет прикладных программ (ППП) для проектирования оптических систем OPAL-PC. Ход лучей системы в центрированном варианте дан на рис. 2.

Система рассчитана для относительного отверстия 1:2, величины изображения 0,023 мм.

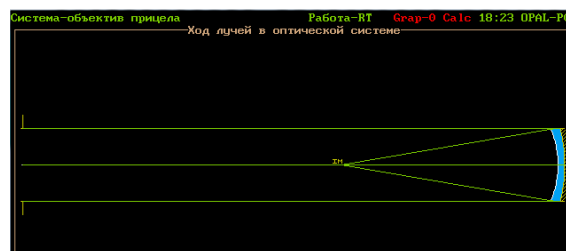


Рис. 2. Ход лучей в оптической схеме

Параксиальные характеристики этой схемы представлены в таблице 1,

Таблица 1. Параксиальные характеристики

f	f'	S_F	S'_F	S_H	S'_H
-	-	-	-	1,59	1,59

где f - переднее фокусное расстояние; f' - заднее фокусное расстояние; S_F - передний фокальный отрезок; S'_F - задний фокальный отрезок; S_H , S'_H - положение главных плоскостей.

Результаты абберационного расчета 3-го порядка оптической системы прицела в центрированном варианте, сведены в таблицу 2.

По графикам аббераций установлено, что объектив удовлетворяет допустимым требованиям для такого типа прицелов.

Таблица 2. Суммы и абберации Зейделя

$S1$	$S2$	$S3$	$S4$	$S5$	$S1xp$	$S2xp$
0,304	0,466	0,715	0,389	1,693	-0,006	0,015
-0,226	-0,104	-0,047	0,904	0,394	0	0
-0,002	-0,031	-0,486	0,389	-1,499	-0,0004	0,001
0,076	0,331	0,180	1,684	0,588	-0,006	0,016

1. Коллиматорные прицелы - все о коллиматорах, 2015. – <http://optical-devices.ru/pages/kollimatorye-pricely-vse-o-kollimatorah.html>
2. Коллиматорные прицелы: принцип работы, устройство и типы, 2010. – <http://www.profoptic.ru/articles/id=55>.

УДК 535.317

ДВУХЗЕРКАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЗАФОКАЛЬНОГО ТИПА

Артюхина Н.К., Самбрано Л.Ф., Власовец Н.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Зеркальные системы приобрели широкое распространение в оптической отрасли в настоящее время в связи с расширением спектрального диапазона работы оптической аппаратуры. В них отсутствуют хроматические абберации для любых значений оптических характеристик. Существующие схемы из двух зеркал имеют несложную конструкцию; их можно разделить на два типа: предфокальные и зафокальные [1].

В работе проводится исследование двухзеркальных систем зафокального типа. Предполагается апланатическая коррекция [2]. Оптические схемы базовых схем представлены на рисунке 1 (второе зеркало имеет центральное отверстие для прохождения светового пучка лучей). Представлены объективы, в которых лучи претерпевают по одному отражению от каждого из зеркал.

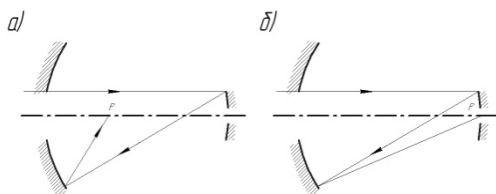


Рис. 1. Схемные решения зафокальных объективов с малым главным и большим вторичным зеркалами

Рассмотренные зафокальные объективы состоят из двух вогнутых зеркал и имеют промежуточное изображение. Кома и сферическая абберация откорректированы за счет придания асферической формы поверхностям зеркал.

Для расчета и анализа аббераций выбраны базовые схемы (рисунок 1). Из пяти известных методов (метод проб, алгебраический, комбинированный, метод автоматической оптимизации и композиционный) в работе применен алгебраический метод, как наиболее подходящий при осуществлении абберационного расчета.

В частности, зафокальный объектив имеет следующие условия нормировки для первого параксиального луча:

$$\alpha_1 = 0, \alpha_2 < 0, \alpha_3 = -1, h_1 = 1,0, h_2 < -1.$$

Методика расчета аббераций осуществлялась в два этапа.

На первом этапе, который называется «габаритный расчет», получены значения конструктивных параметров (радиусы кривизны, высота параксиального луча и расстояние между поверхностями). Значение свободного коррекционного параметра α_2 , влияющего на конструктивное решение системы, имеет пять практических значений:

$$\alpha_2 > -1; \quad \alpha_2 = -1; \quad -1,618034 < \alpha_2 < -1; \\ \alpha_2 = -1,618034; \quad \alpha_2 < -1,618034.$$

На втором этапе – этапе коррекции aberrаций, использована система следующих уравнений, описывающих исправление сферической aberrации и комы:

$$B_0 = \frac{1}{2} \sum_{z=1}^{z=2} h_z Q_z = 0$$

$$K_0 = -\frac{1}{2} \sum_{z=1}^{z=2} W_z + \frac{1}{2} \sum_{z=1}^{z=2} h_z Q_z S_z = 0$$

Таким образом, произведена апланатическая коррекция монохроматических aberrаций третьего порядка. Коррекционными параметрами aberrаций третьего порядка в данном случае являются деформации каждой асферической поверхности. Значения деформаций $\sigma_s = -e^2$ определены квадратом эксцентриситета меридиональных кривых второго порядка зеркальных поверхностей.

Получены конструктивные параметры двух-зеркального зафокального объектива и значения деформаций, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Конструктивные параметры зафокальных объективов (в относительных величинах)

№ п/п	α_2	$r_1 = -r_2$	h_2
1	-1,000	-2,0000	-2,0000
2	-1,618034	-1,236	-1,618034
№ п/п	d	σ_1	σ_2
1	-3,0000	0,33300	-0,08333
2	-1,618034	-0,52786	-0,12461

Для проведения более тщательного анализа aberrаций необходимо было найти aberrационные характеристики; результаты aberrационного расчета зафокальной системы, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Aberrационные характеристики (компьютерные расчеты в ППП Oral)

m	Точка на оси			
	$\Delta S'$, мм	$\Delta Y'$, мм	η , %	2ω
0,707	-0,0112	-0,00225	0,0190	2°
1,0	0,00797	-0,01123	0,0819	4°
Точка вне оси ($2\omega=4^\circ$)				
0,707	Z'_m , мм	Z'_s , мм	$\Delta Y'$, %	
1,0	-0,0073	0,1292	0,0189	

где $\Delta S'$, $\Delta Y'$ - соответственно продольная и поперечная сферическая aberrация, η , % – неизопланатизм, Z'_m , Z'_s - астigmatические отрезки.

Чтобы оценить производственную адаптацию базовых схем, была проведена оценка величин технологических параметров, которые показаны в таблице 3 и 4.

Таблица 3. Технологические параметры асферических поверхностей

Меридиональное уравнение асферических поверхностей	Высота Y, мм	Световой диаметр, мм
$y^2 = -247,2x - 0,72x^2$	38,460	76,92
$y^2 = 247,2x - 0,98x^2$	65,959	131,917

Таблица 4. Расчет профиля асферики первой поверхности

№	Профиль поверхности		
	Y (мм)	Z (мм)	
1	.000000	.000000	
2	.769200	-.002393	
3	1,538400	-.009574	
4	3,076800	-.038299	
5	4,615200	-.086180	
6	5,384400	-.117307	
7	6,153600	-.153228	
8	7,692000	-.239458	
9	8,461200	-.289772	
10	10,768800	-.469543	
№	Отклонение от сферы (мм)		
	Параксиальной $R_0=-123.6$	Ближайшей 1 $R=-124.77868$	Ближайшей 2 $R=-124.73415$
1	.000000	.000000	.019306
2	.000000	-.000031	.019276
3	.000000	-.000122	.019184
4	.000001	-.000274	.019032
5	.000003	-.000486	.018820
6	.000008	-.000756	.018550
7	.000016	-.001084	.018222
8	.000029	-.001468	.017838
9	.000050	-.001906	.017400
10	.000080	-.002396	.016910
11	.000122	-.002936	.016370
12	.000179	-.003522	.015784
13	.000254	-.004152	.015154
14	.000350	-.004822	.014484
15	.000471	-.005529	.013777

Расчет профиля асферики второй поверхности был выполнен аналогично.

Кроме вышеприведенных расчетов оценка производственной адаптации базовой модели к промышленному использованию была выполнена с учетом определения пределов допусков на конструктивные и технологические параметры, а также установлена возможность защиты поверхности приемника изображения от постороннего света и различных бликов.

С целью улучшения оптических характеристик базовой системы проведена оптимизация в программной среде Zemax. При проведении оптимизации базовой системы получены значения деформаций для первой поверхности $\sigma_1 = -0.401$, т.е. уменьшение на 24% , а для второй поверхности $\sigma_2 = -0.074$, (коническая постоянная)

ная уменьшена на 41%). Радиусы кривизны и осевое расстояние между поверхностями, а также парааксиальные характеристики (фокусное расстояние, передний и задний отрезки) остались неизменными.

Таким образом, зафокальные системы с малым главным и большим вторичным зеркалами и равными по абсолютной величине радиусами являются светосильными и способны развивать значительные поля зрения. Они обеспечивают удовлетворительное качество изображения при относительных отверстиях до 1:1,2 и полях зрения до 4°. Возможны варианты модулей, обеспечивающих удобное положение

плоскости изображения. В зафокальных двухзеркальных системах данного типа экранирование определяется размером приемника излучения и блендой-экраном, необходимым для за-

щиты приемника излучения от прямой засветки. Рассчитанная система технологически адаптирована. В зафокальном объективе зеркала имеют эллипсоидную форму, но асферичность зеркальных поверхностей не превышает 0,01мм, что соответствует технологическим стандартам.

Результаты расчетов и полученные формулы могут быть использованы при проектировании новых зеркальных систем с повышенными оптическими характеристиками.

1. Максудов, Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики / Д.Д. Максудов. – М.: Наука, 1984. – 276 с.
2. Артюхина, Н.К. Теория, методы проектирования и расчет зеркальных систем: монография / Н.К. Артюхина, БНТУ. – Минск, 2009. – 309 с.

УДК 620.179.1+534.1

ВОЗБУЖДЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ ПО ОБЪЕКТУ С НЕОДНОРОДНЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ

Баев А.Р., Левкович Н.В., Коновалов Г.Е., Асадчая М.В., Стойчева И.В.

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

На промышленных предприятиях нашей республики и за рубежом упрочнение поверхности металлоизделий производится различными способами обработки, включая термические, химико-термические, а также механические способы. В подавляющем большинстве случаев контроль этой важной операции осуществляется разрушающим методом – по данным зависимости твердости от глубины упрочняемого слоя $B(z)$ либо изменения бальности зерна. Такой подход не дает полного представления о качестве контролируемой выборочно партии производимой продукции. В работе проведен анализ известных в мире разработок по контролю качества упрочнения металлоизделий магнитными, электромагнитными, акустическими методами в США, Франции, Германии, а также в странах СНГ и Республики Беларусь. Применение предлагаемых методов и средств имеет существенные ограничения, обусловленные требованиями к составу металла, геометрии и габаритам объекта, диапазону измеряемых толщин упрочненного слоя h , локальности и точности измерений, а также их трудоемкости и производительности.

Использование именно ультразвукового контроля для решения указанной проблемы обусловлено наличием наиболее высокой степени корреляции между твердостью B и скоростью

моды упругой волны, которая может быть представлена в обобщенном виде:

$$C = \Theta(\mu^*) (E^*/\rho^*)^{0,5} = \Theta(\mu^*) c^*,$$

где E^* , ρ^* и μ^* – некоторые эффективные параметры: модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность материала соответственно; $\Theta(\mu^*)$ – некоторая функция, от вида которой зависит определяемая мода (продольная, поперечная и поверхностная); c^* соответствует скорости нулевой моды стержневой волны. Отметим, что по отношению к свойствам слоя $\Xi_{A,i} \in \{E, \rho, \mu\}$ упрочненный поверхностный слой (УПС) большого числа объектов можно считать слабонеоднородным, т.к.

$$\varepsilon_A = \Delta \Xi_{A,i} / \Xi_{A,i} = \{\Delta C/C, \Delta \mu/\mu, \Delta E/E, \Delta \rho/\rho\} \ll 1,$$

где $\Delta \Xi_{A,i}$ – максимальные изменения указанных параметров по глубине УПС. В то же время для физико-механических параметров величина $\varepsilon_{M,i} = \Delta \Xi_{M,i} / \Xi_{M,i} = \{\Delta \sigma_{np}/\sigma_{np}, \Delta B/B\}$ составляет десятки и сотни процентов. Данные об указанных свойствах УПС могут быть получены как при непосредственном измерении скорости поверхностной акустической волны (ПАВ) [1], так и зависящих от нее (косвенных) акустических параметров. Это могут быть: экстремумы углов падения и отражения падающей на упрочненный объект продольной волны β_m [2]; зависимости амплитуды подповерхностной поперечной волны

$A_T(x)$ от расстояния, характер которых обусловлен эффектами рефракции [3]. Необходимо отметить, во-первых, что для создания надежных и высокоточных методик и средств контроля УПС необходимо учитывать состояние поверхности объекта и характер распределения функции твердости по его глубине $B(z)$, которая может быть неоднозначной. Во-вторых, как правило, не учитываются особенности дисперсии волны и расположение приемных преобразователей с акустической базой между ними L при измерении времени распространения волны Δt между ними и определении скорости волны - $C_{ПAB}=L/\Delta t$.

Одна из задач настоящих исследований заключается в получении связи между характерной высотой слоя h и физико-механическими параметрами $\Xi_{M,i}$ с одной стороны, и скоростью ПАВ с другой. Причем восстановление $\Xi_{M,i}$ по глубине слоя УПС на основе данных о скорости или времени распространения ПАВ представляет собой фундаментальную научно-прикладную задачу.

Проведено численное моделирование процессов возбуждения и распространения ПАВ в зависимости от профиля твердости УПС, частоты волны f и глубины УПС. При моделировании переходных процессов используется программный пакет "COMSOL MULTY PHYSICS". Дисперсионные зависимости скорости ПАВ рассчитывались на основе формулы Олдера и данных о пространственном распределении плотности потока ПАВ:

$$\Delta C_{ПAB}(C_0)^{-2} \sim \int_{-\infty}^0 (-\Delta w^2 \Delta \rho u_i^* u_i + u_{i,j}^* u_{k,l} \Delta P_{ijkl}) F(z) dz,$$

где u_i и u_i^* – скорости смещений невозмущенной и возмущенной волны соответственно; w - абсолютное значение средней за период энергии невозмущенной волны, переносимой через упругое полупространство единичной ширины; C_0 - скорость ПАВ в материале без УПС; ΔP_{ijkl} - максимальные изменения упругих модулей, причем $\{\Delta \rho, \Delta P_{ijkl}\} \sim F(z)$. Некоторые результаты численного моделирования влияния профиля твердости на изменение скорости ПАВ от частоты приведены на рисунках 1 и 2. Причем в первом случае (рисунок 1) профиль твердости УПС подобен ступеньке с различным углом наклона боковой стенки – т.е. $\Delta B \sim z$. Согласно данным работы [1], а также нашим исследованиям - $\Delta B \sim \Delta C$.

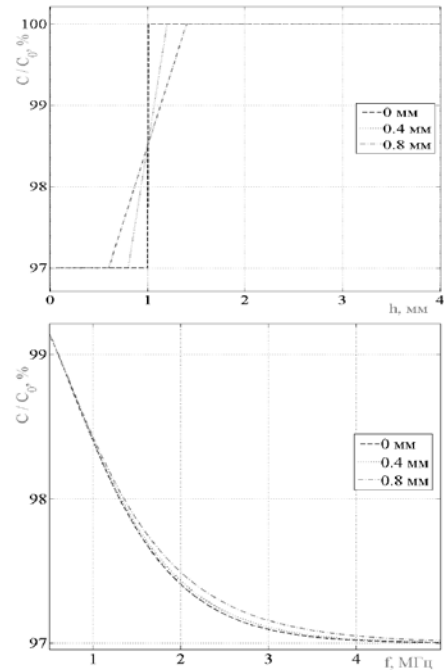


Рисунок 1 – Данные расчета скорости ПАВ от частоты при изменении профиля твердости с учетом того, что $\Delta B \sim \Delta C$

Как показывают результаты численного моделирования, зависимости $C(f)$ являются монотонно убывающими функциями, выходящими на насыщение при $f \rightarrow \infty$, если $\partial B/\partial z < 0$ при $z > 0$, а в окрестности $z \rightarrow 0$ $\partial B/\partial z \rightarrow 0$. С увеличением глубины слоя частотная область квазилинейного изменения дифференциального параметра $c_f = \partial C/\partial f$ возрастает. Показано, что в ряде случаев, измеряя тангенс угла наклона квазилинейной зависимости $C(f)$ путем зондирования объекта на двух частотах f_i , представляется возможным оценить глубину УПС по данным разницы фазовых сдвигов ПАВ: $\varphi_{12} = \varphi_2 - \varphi_1$. На рисунке 2 представлены данные численного моделирования и данные эксперимента для случая, когда максимум твердости лежит в окрестности $z = z_0 > 0$, что может иметь место в реальных производственных условиях. При этом для характерных значений $f > f_0$ или $h < h_0$ отсутствует однозначное соответствие между значениями скорости ПАВ и толщиной упроченного слоя, обусловленное инверсией дифференциального параметра $\partial B/\partial z$ в окрестности z_0 . Устранение неоднозначности измерений достигается в том случае, когда сохраняется подобие профиля $B(z)$, а выбранная длина волны зондирующего сигнала λ больше характерного значения λ_0 .

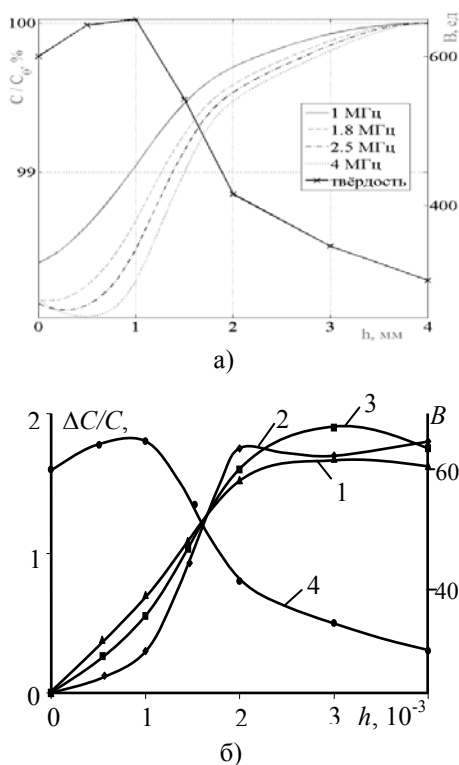


Рисунок 2 - Данные расчета (а) и эксперимента (б) по изменению скорости ПАВ от глубины среза слоя УПС: $\Delta C/C$ - 1-3; твердость УПС - 4; f, MHz = 1 (1); 1,8 (2); 3,5 (3)

В отсутствие же указанной априорной информации, определение глубины УПС производится по характеру изменения фазовых задержек гармоник, составляющих спектр зондирующего сигнала.

1. Кондратьев, А.И. Влияние термообработки на акустические характеристики материалов / А.И. Кондратьев, А.Н. Иванов, С.Н. Химухин // Дефектоскопия. – 2006. - №3. – С.28-31.
2. Баев А.Р., Майоров А.Л., Тищенко М.А. Ультразвуковой метод анализа поверхностного упрочнения металлических изделий -Литье и металлургия. - 2010, №3. – С. 187-192.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: в 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. - М.: Машиностроение, 2003. - Т. 3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов [и др.] –2003. – 864 с.

УДК 620.179.1+534.1

МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ В КАЧЕСТВЕ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА В ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ

Баев А.Р.¹, Майоров А.Л.¹, Митьковец А.И.², Асадчая М.В.¹

¹Институт прикладной физики НАН Беларуси

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Магнитные жидкости (МЖ) относятся к классу наноматериалов, обладают высокой агрегативной и седиментационной устойчивостью в магнитных полях [1]. Под воздействием последних представляется возможным управлять формой поверхности МЖ, локализацией в пространстве, а также микроструктурой [2-3]. Нами предложено применять такие среды для оптоакустического (ОА) преобразования при решении ряда задач технической акустики и неразрушающего контроля. В частности, это касается использования МЖ в качестве как ОА-преобразователя, так и магнитожидкостной призмы. Во-первых, это позволяет достаточно легко возбуждать в объекте продольные, поперечные и поверхностные волны заданной направленности, высокой интенсивности и частоты, что реализуется с помощью представленной на рисунке 1

схемы. При этом угол падения волны θ на исследуемый объект для возбуждения в нем той или иной моды под углом β может быть определен из закона Снеллиуса:

$$\beta \approx \arcsin[(C/C_S)\sin\theta], \quad (1)$$

где C_S – скорость упругой моды в твердом теле.

Учтем, что скорость C в МЖ для широкого спектра коллоидов с органической основой и концентрацией q может быть определена из предложенного ранее аддитивного правила [4], используемого для нахождения адиабатной сжимаемости коллоида β и плотности ρ : $(C_0/C)^2 = (1+AQ)(1+Bq)$, где A и B – некоторые постоянные, характеризующие сжимаемость и весовые характеристики компонент, входящих в коллоид, а $C=C_0$ при $q=0$. Отметим, что коэффициент затухания $\alpha(q)$ для возбуждаемых в объ-

екте продольных и поперечных волн представляет собой монотонно убывающие зависимости, выходящие на насыщение при концентрации магнетика, превышающей 20%. Расчетные зависимости коэффициента звукопрозрачности $D_W(q)$ в предельном диапазоне варьирования q изменяются всего лишь в 2 раза.

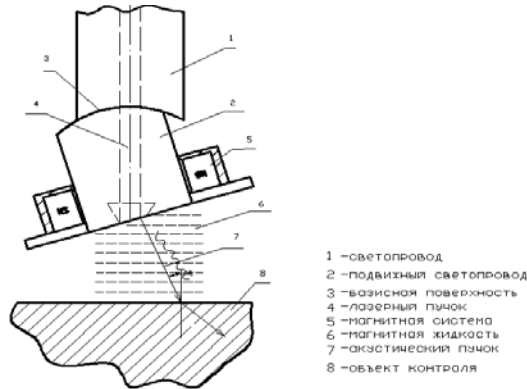


Рисунок 1 – Принципиальная схема возбуждения упругих мод в объекте с помощью МЖ

При произвольной длительности лазерного импульса и наличии неоднородной (для света) поглощающей среды ($\alpha_l = \alpha_l(z)$), форма ОА-отклика может быть представлена в виде:

$$P = \frac{\beta_T I_0}{\tilde{n}_p} F_\alpha(\delta, \xi) \tilde{D}(\theta) \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{f}(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega \xi / c} g^c(\xi) d\xi,$$

где $\tilde{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} f(t) dt$ - спектр интенсивности лазерного излучения;

δ_λ - коэффициент затухания в МЖ; $F_\alpha(\delta_\lambda, \xi)$ - функция, характеризующая диссипацию энергии вследствие затухания упругих волн; $g^c(\xi)$ - дает пространственное распределение источников упругих волн в приповерхностном слое МЖ, обусловленное поглощением лазерного излучения; \tilde{D} - коэффициент звукопрозрачности по амплитуде границы МЖ-объект.

Для прояснения особенностей преобразования лазерного излучения в упругие волны (УВ) были проведены экспериментальные исследования, поясняемые фрагментом экспериментальной схемы, приведенной на рисунке 2. При исследовании ОА-преобразования в МЖ использована установка, разработанная в МГУ им. М. В. Ломоносова [5]. Она содержит оптический квантовый генератор импульсов оптического излучения с длиной волны 1,06 мкм, а также систему коррекции светового фронта, обеспечивающего его заданную величину и однородность по фронту. За системой коррекции, расположена кварцевая призма. Для приема УЗК использованы широко-

полосные преобразователи из ниобата лития на частоту 5 МГц, обеспечивающие требуемую полосу пропускания измерительной схемы. Выход преобразователей соединен с широкополосным усилителем, сигнал с которого подается на вход запоминающего осциллографа, соединенного с компьютером через блок согласования. Согласно расчетам, величина импульсного нагрева исследуемой среды не превышала $T_a \approx (15 \div 20) \text{K}$.

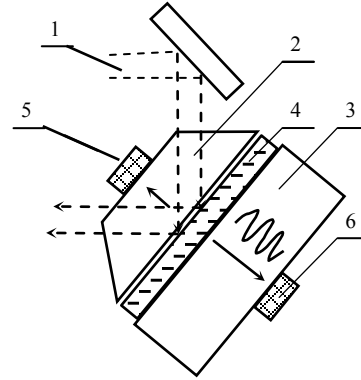


Рисунок 2 – Фрагмент схемы по ОА-преобразованию в МЖ: 1 - лазерный луч; 2, 3 – кварцевые призмы; 4 - МЖ; 5, 6 – пьезопреобразователи

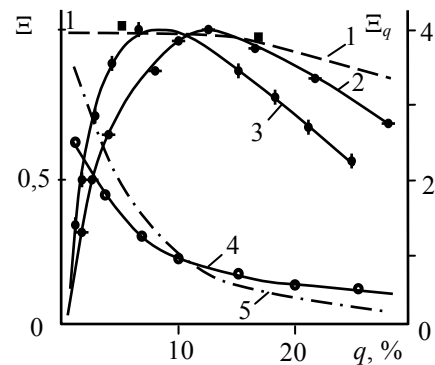


Рисунок 3 - Нормализованная функция Ξ (1-3) и $\Xi_q = \Xi/q$ (4,5) от q в МЖ на основе керосина (2, 4) и масла (3, 5)

В качестве объекта исследования используются образцы МЖ на основе керосина и минерального масла. Изучались амплитудные и спектральные характеристики ОА-преобразования в зависимости от q и дисперсионной основы. Дополнительно с целью прояснения механизма ОА-преобразования проведены исследования коэффициентов диффузного пропускания светового излучения T_1 и диффузного отражения R_1 [5].

Как видно из рисунка 3, экспериментальные зависимости величины функции ОА-преобразования $\Xi(q)$ в режиме отражения на границе кварц-МЖ имеют смещенные по этой оси полные максимумы $\Xi^* = 1$ для характерных $q = q^*$. Это смещение вызвано различием акустических и

теплофизических свойств несущих основ МЖ – керосина и трансформаторного масла. Характерный концентрационный диапазон, в котором величина $\Xi \approx 0,8$ от максимума, составляет (3-4)%. Как показывает анализ спектра передаточной функции, режим длинноволнового приближения ($C\alpha/\tau_L \gg 1$) при длительности лазерного импульса τ реализуется, когда $q \geq q^{**} = (2-3)\%$. Т.о., рост Ξ при $q \geq q^{**}$ не зависит от коэффициента поглощения излучения, а определяется упругими и теплофизическими свойствами коллоида. Т.к. $\tau \sim 20$ нс, то возбуждаемые УВ во всех образцах МЖ имеют характерную длину $\lambda \approx C\tau_L > \alpha^{-1}$. Если УВ возбуждаются в режиме коротковолнового приближения ($C\alpha/\tau_L \ll 1$), наблюдаемого при $q \leq q^{**} = (0,4-0,5)\%$, то во всей области частот ОА-преобразования спектр интенсивности близок к константе. Как показывают исследования, восстановленные для каждого образца зависимости $\alpha(z)$ имеют плато при некотором $z < z_0$, где $\partial\alpha/\partial z \sim 0$. Причем величина z_0 с ростом q убывает, а при $z \rightarrow z_0$ наблюдается резкий рост α , что свидетельствует об изменении структуры коллоида в окрестности границы раздела сред.

На основе полученных результатов и данных по акустическим свойствам МЖ определены оптимальные условия ввода возбуждаемых импульсно-лазерным излучением УВ (продольных, поперечных, поверхностных) в твердые тела. Также показана принципиальная возможность фокусировки и качания возбуждаемого импульсно-лазерным излучением акустического пучка

магнитным полем. Экспериментально апробирована возможность измерения интенсивности лазерного излучения разной длины волны и направленности путем измерения амплитуды УВ, возбуждаемой на границе МЖ со светопроводом. В качестве последнего может быть кварц, прозрачная жидкость, воздух и др.

Настоящая работа выполнена при поддержке БРФФИ: проект T15-163.

1. Блум Э.Я., Майоров М.М., Цеберс А.О. Магнитные жидкости. – Рига, Зинатне, 1989. – 389 с.
2. Baev A.R., Prokhorenko P.P., Asadchaya M. V. Physical principles of magnetic fluid guides used for nondestructive testing. Review of Quantitative Nondestructive Evaluation, 2004, New York, USA. Vol. 23. – P.91-96.
3. Способ оптоакустического контроля границы соединения материалов: пат. 42013 Респ. Беларусь, МПК G 01 N 29/04 / А.Р. Баев, В.Г. Гуделев, А.И. Митьковец. – № u 20130345; заявл. 18.04.13; опубл. 30.08.13.
4. Гусев В. Е. Карабутов А.А. Оптоакустика. – Москва, “Наука”, 1999. – 394 с.
5. Bayeu A., Prokhorenko P., Alexseuk A. Influence of the Dispersive Phase on the Ultrasonic Wave Attenuation Coefficient in Magnetic Fluids Under Magnetic Field Impact, Journal of Engineering and Thermophysics, 2007, Holland, V. 80, No. 5, pp. 133 – 140.

УДК 530.182

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ В НЕМОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ КАНА–ХИЛЛИАРДА

Блинкова Н.Г., Князев М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В (1+1)-мерном случае уравнение движения модифицированной модели Кана–Хиллиарда имеет вид

$$\phi_t + (\phi - \phi^3 + \phi_{xx})_{xx} + \alpha\phi = 0. \quad (1)$$

Здесь ϕ – параметр порядка; коэффициент α определяет отношение характерного размера области, 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. В данной модификации модели Кана–Хиллиарда параметр порядка сохраняется локально. Такая модель находит широкое применение в задачах нанотехнологии [1].

Уравнение (1) допускает решения в виде так называемых «замороженных волн» при $0 \leq \alpha \leq$

$1/4$ [2]. Такие решения являются периодическими функциями пространственной координаты и не зависят от времени. Обозначим их через $\bar{\phi} = \bar{\phi}(x)$.

Для «замороженных волн» уравнение (1) можно представить в виде

$$k^2(\bar{\phi} - \bar{\phi}^3 + \bar{\phi}_{\xi\xi})_{\xi\xi} + \alpha\bar{\phi} = 0, \quad (2)$$

где $\xi = kx$ и $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, определяемое в линейном приближении. Поскольку периодичность решения заложена в его определении, то граничное условие имеет вид $\bar{\phi}(x + 2\pi) = \bar{\phi}(x)$. Так как в случае «замороженных волн» нелинейность носит слабовыраженный характер, то в линейном приближении их можно представить в виде $\bar{\phi} = \varepsilon \cos(kx + p)$; здесь амплитуда ε – малая

величина, p - начальная фаза. Тогда для нелинейного уравнения (2) решение можно представить в виде разложения в ряд по теории возмущений по ε :

$$\bar{\phi} = \varepsilon(\bar{\phi}^{(0)} + \varepsilon^2\bar{\phi}^{(2)} + \dots), \quad (3)$$

$$k^2 = K^{(0)} + \varepsilon^2 K^{(2)} + \dots \quad (4)$$

где функция $\bar{\phi}^{(0)}$ записывается в виде $\bar{\phi}^{(0)} = \cos \xi$. Амплитуда такой волны не существенная, т.к. она зависит от параметра ε , а начальная фаза может быть выбрана равной нулю. Построение решения в таком виде называется одноволновым приближением.

Если подставить соотношения (3) и (4) в уравнение (2), то получим бесконечную систему обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, последовательно решая которую можно в принципе определить все функции $\bar{\phi}^{(i)}(\xi)$, $i = 0, 2, 4, \dots$. Уравнение в ведущем порядке по ε будет однородным, все остальные уравнения системы являются неоднородными.

В работе [1] высказано утверждение, а в работе [3] в результате явных вычислений показано, что для модифицированной модели Кана-Хиллиарда одноволновое приближение применимо для нахождения функции $\bar{\phi}$ только в третьем порядке по параметру ε , т.е. только для вычисления функции $\bar{\phi}^{(2)}(\xi)$. Уже в следующем, пятом по ε порядке разложения, функция $\bar{\phi}^{(4)}(\xi)$ оказывается зависящей от двух волн и сделанное предположение о том, что в каждом порядке разложения вклад в решение будет определяться только волной, соответствующей этому порядку, перестает выполняться.

В связи с таким поведением решения представляет интерес рассмотреть возможность существования «замороженных волн» в немодифицированной модели Кана-Хиллиарда, т.е. в модели, уравнение движения в которой имеет вид [4]

$$\phi_t + (\phi - \phi^3 + \phi_{xx})_{xx} = 0. \quad (5)$$

В принципе, такая возможность должна иметь место, т.к. условие существования решения в виде «замороженных волн», полученное в работе [2], допускает, условие $\alpha = 0$. Однако в модели, описываемой уравнением (5), отсутствует параметр, характеризующий размер области, внутри которой должен локально сохраняться параметр порядка. Это приводит к тому, что такой модели данный параметр сохраняется уже только глобально. Это не может не привести изменения в характер поведения рассматриваемых нами решений.

Уравнение (5) было получено при описании фазовых переходов в бинарных сплавах [5]. В настоящее время список литературы по уравнению модели Кана-Хиллиарда достаточно обширен. Оно применяется для описания неравновесных процессов в различных многокомпонентных

физических, химических, биологических и даже социальных системах (см., например, работы [6-8] и литературу в них).

Для модифицированной модели Кана-Хиллиарда наличие $\alpha \neq 0$ приводит к тому, что уже параметр $K^{(0)}$ может принимать два различных значения. Как следствие, и в более высоких порядках по ε сохраняется существование двух значений параметров $K^{(i)}$, а значит и двух различных представлений для функции $\bar{\phi}$. Если же последовательно применить подход, использованный в работах [1, 3], к уравнению (5), то снова получим бесконечную систему обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, решая которую последовательно можно в принципе определить все функции $\bar{\phi}^{(i)}(\xi)$. По-прежнему уравнение в ведущем порядке по ε будет однородным, все остальные уравнения системы являются неоднородными.

Теперь однако параметр $K^{(0)}$ может принимать только одно значение, равное 1/2. Это, казалось бы, обнадеживающий результат, поскольку для такого значения $K^{(0)}$ вычисление функции $\bar{\phi}^{(2)}$ дает

$$\bar{\phi}^{(2)} = -\frac{\cos 3\xi}{14} \quad (6)$$

и, если в модифицированной модели (1) для каждой из двух функций $\bar{\phi}^{(2)}$ имелась особая точка для своего определенного значения α , в которых они обращалась в бесконечность, то в модели (5) эта функция является гладкой и ее поведение определено при всех значениях аргумента, за исключением бесконечности. Таким образом, если перейти от системы, в которой параметр порядка сохраняется локально, к системе, в которой он сохраняется глобально, то состояние системы, описываемое «замороженными волнами», не будет иметь точек ветвления на фазовой плоскости в рассматриваемом порядке по ε .

Дальнейшее вычисление в следующем порядке по ε приводит к тому, что параметр $K^{(2)}$ становится неопределенным. В модифицированной модели этот параметр принимал два различных значения в зависимости от α и для каждого из этих значений существовала особая точка, в которой он обращался в бесконечность. В тоже время этот параметр мог быть найден точно. Сложности возникали на этапе определения функции $\bar{\phi}^{(4)}$, которая переставала быть одноволновой. В немодифицированной же модели для одноволнового приближения этот параметр не может быть определен в принципе, что не позволяет, в свою очередь, найти $\bar{\phi}^{(4)}$. В результате остаются неопределенными также и вклады в решение последующих порядков.

Таким образом, если в модифицированной модели возникает ситуация, в которой, начиная с некоторого порядка по ε , не удается соотнести

соответствующую гармоническую составляющую только с одним порядком разложения по теории возмущений, и это является указанием на то, что одноволновое приближение «замороженных волн» перестает выполняться, то в модифицированной модели неэффективность применения теории возмущений в одноволновом приближении становится видна еще раньше и проявляется в том, что не удается построить даже выражение для коэффициента в уравнении, не говоря уже о его решении.

Как следует из приведенного анализа, для обеих теорий одноволновое приближение при построении решения в виде «замороженных волн» имеет ограниченную область применения и возникает необходимость использования, как минимум, двухволнового приближения, пример которого приведен в работе [1].

1. 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.
2. Liu. F. Dynamics of phase separation in block copolymer melts / F. Liu, N. Goldenfeld // Phys. Rev. A. – 1989. – V. 39, № 9. – P. 4805-4810.
3. Князев, М.А. Построение решения в виде одиночных волн в модели Кана-Хиллиарда / М.А. Князев // Материалы 7 Международной

научно-технической конференции «Приборостроение-2014», Минск 19-21 ноября 2014 г. / Белорусский национальный технический университет; Минск: БНТУ, 2014. – С. 319-321.

4. Malomed, B.A. Pulled fronts in the Cahn-Hilliard equation / B.A. Malomed, D.J. Frantzeskakis, H.E. Nistazakis, A.N. Yannacopoulos and P.G. Kevrekidis // Phys. Lett. A – 2002. – V. 295, № 5-6. – P. 267-272.
5. Porter, D.A. Phase Transformations in Metals and Alloys / D.A. Porter, K.E. Easterling. – Chapman Hall, 1992. – 514 p.
6. Berti, A. A mathematical model for phase separation: a generalized Cahn-Hilliard equation / Berti A., Bochicchio // Mathem. Methods in Applied Sciences. – 2011. – V. 34, №10. – P. 1193-1201.
7. Bertini, L. Front fluctuations for the stochastic Cahn-Hilliard equation / Bertini L., Brassesso S. and Butta P. // Brazilian J. of Probability and Statistics. – 2012. – V. 29, № 2. – P. 336-371.
8. Bernoff A.J. Biological aggregation driven by social and environmental factors: a nonlocal model and its degenerate Cahn-Hilliard approximation / A.J. Bernoff, Chad M. Topaz // <http://xxx.lanl.gov> (arXiv.org/nlin/1507.04259).

УДК 533.9.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАТОДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА НА УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ЭФФЕКТОМ ПОЛОГО КАТОДА

Божко А.И., Бордусов С.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

В современном мире всё более актуальной становится задача внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий во всех отраслях машиностроения. Разработки в этом направлении идут уже на протяжении долгого времени и всё больший интерес в настоящее время приобретает область вакуумной ионно-плазменной обработки материалов [1].

Исследовалась разрядная система в виде цилиндрического электрода (Рисунок 1) для возбуждения разряда с эффектом полого катода. Электрод-катод представляет собой цилиндрическое основание, внутри которого размещаются сменные вставки разного конструктивного исполнения: цилиндрические различного диаметра (Рисунок 2), с проточками в торце (Рисунок 3), с полым выступом (Рисунок 4). К нижней части катода с помощью винтов и

стальных втулок возможно присоединение пластины.



Рисунок 1 – Внешний вид электрода-катада для возбуждения разряда с эффектом полого катода

Исследования проводились на базе вакуумного поста УРМ–3.279.029. В качестве

источника питания использовался генератор импульсов отрицательной полярности [2,3].

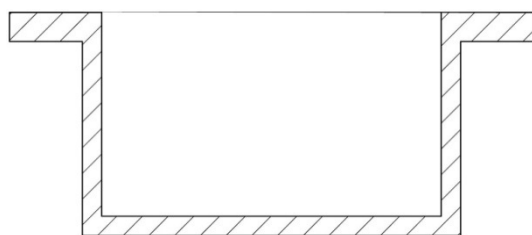


Рисунок 2 – Схема вставки цилиндрической формы

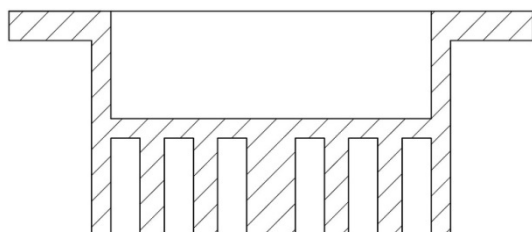


Рисунок 3 – Схема вставки с проточками в торце

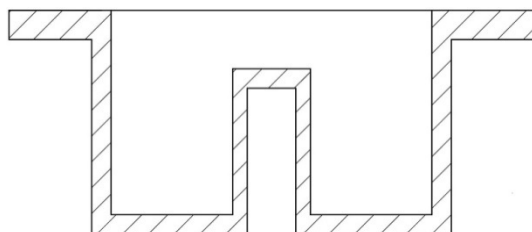


Рисунок 4 – Схема вставки с полым выступом

Исследования условий возникновения тлеющего импульсного разряда с эффектом полого катода выполнялись при следующих значениях режимов возбуждения разряда: давление в рабочей камере – 40-300 Па, подаваемое напряжение – 350-700 В. В качестве плазмообразующего газа использовали азот.

Полученные результаты представлены на рисунках 5-9 в виде графических зависимостей.

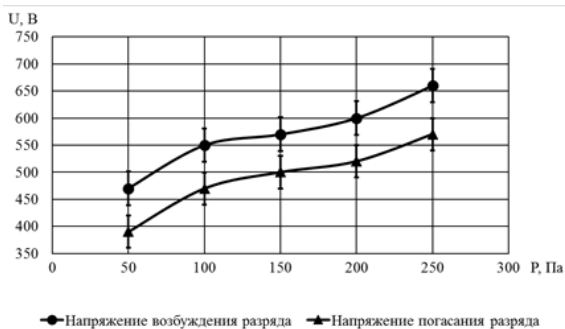


Рисунок 5 – Пробойные характеристики цилиндрического электрода-катода в азоте при расстоянии между стенками основания и вставки 5 мм

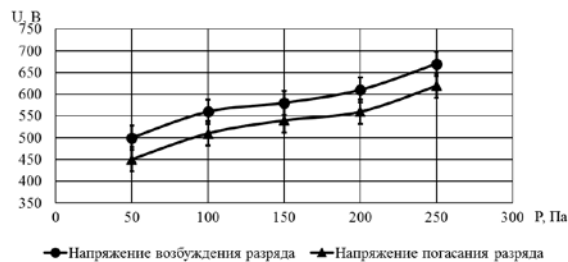


Рисунок 6 – Пробойные характеристики цилиндрического электрода-катода в азоте при расстоянии между стенками основания и вставки 3 мм

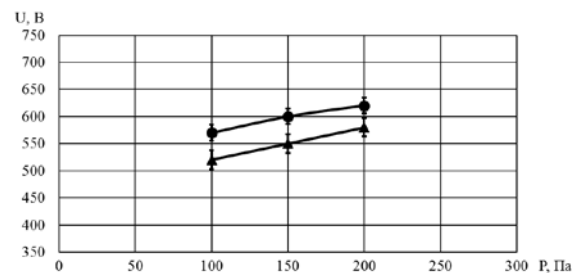


Рисунок 7 – Пробойные характеристики цилиндрического электрода-катода в азоте при расстоянии между стенками основания и вставки 2 мм

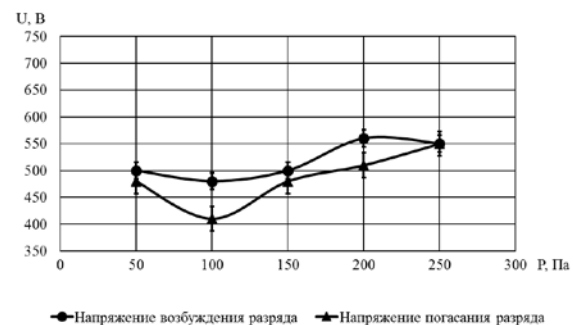


Рисунок 8 – Пробойные характеристики цилиндрического электрода-катода с проточками в торце в азоте при расстоянии между стенками основания и вставки 3 мм

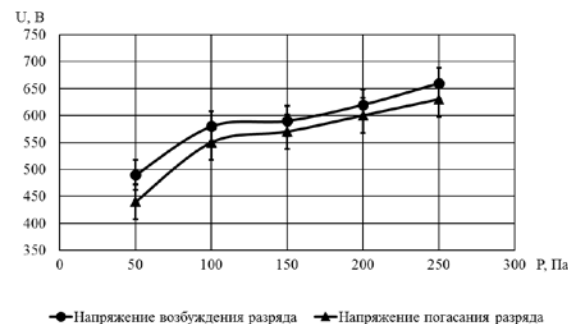


Рисунок 9 – Пробойные характеристики цилиндрического электрода-катода с полым выступом в азоте при расстоянии между стенками основания и вставки 3 мм

Для цилиндрических вставок и вставки с полым выступом, оптимальным давлением, при котором напряжение необходимое для возбуждения разряда с ЭПК минимально, является диапазон 50-100 Па. При давлении ниже или выше этого диапазона величина подаваемого напряжения необходимого для возбуждения разряда с ЭПК повышается. Такую зависимость можно объяснить тем, что при более низких давлениях число частиц газа в единице объёма для ионизации недостаточно и для пробоя требуется более высокое напряжение. При давлении выше указанного диапазона число столкновений частиц увеличивается, длина свободного пробега уменьшается и разрядные условия ухудшаются.

При небольшом расстоянии между стенками катода (2 мм) горение разряда наблюдается в диапазоне 100-200 Па.

Для катода с использованием вставки с проточками в торце зависимость пробивного напряжения от величины давления имеет неравномерный характер. При этом при различных давлениях разряд возбуждается в одной или нескольких проточках.

1. Райзер, Ю.П. Высоочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Применение / Ю.П. Райзер, М.Н. Шнейдер, Н.А. Яценко. - М.: Наука, 1995. - 320 с.
2. Божко, А.И. Электрические характеристики возбуждения разряда с эффектом полого катода при низком вакууме / А.И. Божко, С.В. Бордусов // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР : материалы конф. В 2 ч. Ч. 2, Минск, 18-19 марта 2014 г. / БГУИР; редкол. : А.Н. Осипов [и др.]. – Минск, 2014. – С. 194-195.
3. Божко, А.И. Особенности работы источника импульсного напряжения на плазменную нагрузку в виде разряда с полым катодом / А.И. Божко, Н.В. Козак // Физика конденсированного состояния (ФКС – XXI): тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 18 – 19 апреля 2013 г. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Г.А. Хацкевич [и др.]. – Гродно, 2013. – С. 159-160.

УДК 004.056:061.68

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛА С МЕЖСИМВОЛЬНОЙ ППРЧ

Бокуть Л.В., Деев Н.А.

*Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Стеганографические методы находят все большее применение в оборонной и коммерческой сферах деятельности из-за отсутствия явно выраженных признаков средств защиты. Суть методов энергетической и структурной скрытности заключается в незначительной одновременной модификации целого ряда определенных битов контейнера при сокрытии одного бита информации.

Существует несколько разновидностей метода. В наиболее распространенном варианте исходный сигнал модулируется высокочастотной псевдослучайной последовательностью $W(t)$, которая определена на области значений $\{-1,1\}$. Вследствие этого для передачи результата необходима большая (иногда более чем в 100 раз) полоса пропускания. Обычно последовательности $W(t)$ выбирают ортогональными к сигналу контейнера. Результирующий стегосигнал представляет собой суммарный сигнал контейнерной составляющей $V(t)$ и скрываемых данных $D(t)$:

$$S(t) = V(t) + \alpha \cdot D(t) \cdot W(t),$$

где α – коэффициент затухания, предназначенный для выбора оптимального уровня шума, который вносится данными.

Для извлечения скрытых данных $D(t)$ на принимающей стороне необходимо иметь ту же самую псевдослучайную импульсную последовательность $W(t)$, обеспечив ее синхронизацию со стегосигналом:

$$S(t)W(t) = V(t)W(t) + \alpha D(t).$$

В связи с этим данную псевдослучайную битовую последовательность обычно используют в качестве стегоключа.

Рассматривается система передачи с фазовой информационной манипуляцией сигнала и межбитовой псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ). В качестве контейнерной составляющей $V(t)$ в данном случае служат узкополосные ЧМ - сигналы, а скрываемые данные $D(t)$ передаются на фоне сигнала распределенные по диапазону и модулированные с помощью межсимвольной ППРЧ.

При точном воспроизведении псевдослучайной импульсной последовательности $W(t)$ в

наибольшей степени удастся осуществить подавление контейнерной составляющей $V(t)$. В случае, когда действует сумма сигналов контейнерной составляющей $V(t)$ и скрываемых данных $D(t)$ с различными спектрами, необходимо выделять из смеси каждую из них, оценивать, а затем вычитать из действующей смеси. Линейные фильтры для выделения сигналов контейнерной составляющей $V(t)$ и скрываемых данных $D(t)$ являются неэффективными для построения компенсаторов, поскольку при подавлении контейнерной составляющей $V(t)$ подавляется и часть спектральных составляющих широкополосного сигнала скрываемых данных $D(t)$. Поэтому целесообразно использовать нелинейные методы выделения и оценивания (фильтрации) параметров сигнала контейнерной составляющей $V(t)$, основанные на сочетании безынерционного нелинейного преобразования с линейной фильтрацией.

Схема формирования сигнала (рис.1) включает синтезатор частот (СЧ), вырабатывающего колебания с частотами $\omega_1, \dots, \omega_M$; фазовые манипуляторы ($\Phi_1 \dots \Phi_M$) (перемножители), обеспечивающие манипуляцию колебаний на 180° двоичными информационными символами, которые поступают от источника информации (ИИ). Генератор псевдослучайной последовательности чисел (ГПСЧ) через коммутатор (КОМ) осуществляет коммутацию колебаний (псевдослучайную перестройку рабочей частоты (ППРЧ)). На выходе формирователя образуется M – частотный сигнал $S(t, x, \vec{\beta})$ который можно представить в виде

$$S(t, x, \vec{\beta}) = \alpha_o \sum_{j=1}^M g_j \text{rect}[(t - jT_{\Pi})/T_{\Pi}] \times X(t) \cos[\omega_j t + \beta_j] + V(t),$$

где $\text{rect} = \begin{cases} 1, & \text{если } t \in [0, T] \\ 0, & \text{если } t \notin [0, T] \end{cases}$ – функция включения,

$\text{rect} = 1$, если $t \in [0, T]$,

или $\text{rect} = 0$, если $t \notin [0, T]$;

T_{Π} – длительность интервала с одной из частот ω_j ;

M – количество частот $\omega_j, j = \overline{1, M}$;

$V(t) = \sum_{j=1}^M y_j(t)$ – контейнерная составляющая,

которая представляет сумму y_j узкополосных ЧМ-сигналов $y_j, j = \overline{1, M}$, действующих в узкополосных каналах;

g_j – значение псевдослучайной последовательности;

$X(t)$ – двоичная информационная последовательность;

β_j – начальная фаза колебания с частотой ω_j .

При таком формировании на каждой из M частот образуется фазоманипулированное колебание, амплитуда которого в зависимости от значения элемента g_j равна α_o или 0.

При совпадении значения g_j с номером j -го частотного канала в течение интервала T_{Π} передается сигнал с фазовой информационной манипуляцией. Если период псевдослучайной последовательности чисел равен MT_{Π} , то после активного интервала T_{Π} в j -м частотном канале образуется пауза длительностью $(M-1)T_{\Pi}$. Количество информационных посылок в течение интервала T_{Π} определяется числом $K = T_{\Pi}/T$, где T – длительность информационного символа.

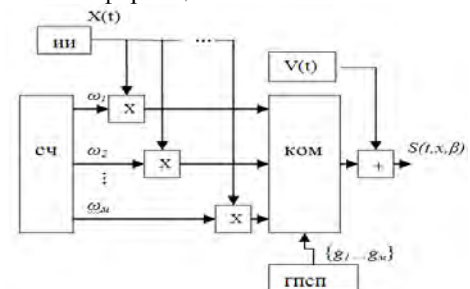


Рис. 1 – Структурная схема формирователя

На рис. 2 показана обобщенная структурная схема устройства обработки сигналов с ФМ_н и межбитовой ППРЧ, где $r(t)$ – сумма сигнала $S(t, x, \beta)$ и контейнерной составляющей $V(t)$. В каждом из M частотных каналов компенсатор (КМП) осуществляет оценку и компенсацию контейнерной составляющей. Схема синхронизации по задержке (ССЗ) управляет генератором ПСП, который обеспечивает синхронную с ППРЧ коммутацию информационных выходов частотных каналов. Решающее устройство (РУ) формирует оценку X^* информационных символов.

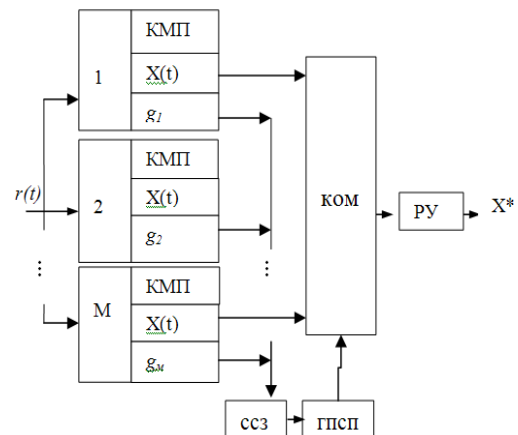


Рис. 2 – Структурная схема устройства обработки сигнала с ППРЧ

Для снижения ошибок воспроизведения контейнерной составляющей в полосе фильтрации могут быть использованы методы оценивания средней частоты ω_i контейнерной составляющей и адаптивная подстройка узкополосных фильтров, согласованных по полосе с шириной спектра контейнерной составляющей. Однако в этом случае требуется корректировать фазочастотную характеристику общего линейного компенсатора, что на практике может вызвать большие трудности. Компенсация узкополосных контейнерных составляющих в рассматриваемой системе позволяет снизить вероятность поражения спектральных составляющих широкополосного сигнала скрываемых данных $D(t)$.

Предельная вероятность ошибки на символ при использовании квадратурной обработки с накоплением оценки начальной фазы β_i , $i = 1, m$ в

каждом частотном канале определяется выражением

$$P_e = 1 - \Phi(\sqrt{q_0 k})$$

где q_0 – отношение сигнал/шум в канале, $k < 1$ – коэффициент, учитывающий потери за счёт ошибок оценивания α_i^* и задержки τ^* псевдослучайной последовательности.

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
2. Чердынцев В.А., Деев Н.А. Подавление комплекса помех в каналах связи / В.А. Чердынцев, Н.А. Деев // Известия Белорусской инженерной академии. – 2002. – № 2. – С. 31–36.
3. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации. – М.: Юниор, 2010. – 501 с.

УДК 621.382.2

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ТОКОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ В СУБМИКРОННОМ КРЕМНИЕВОМ ДИОДЕ

Борздов А.В., Борздов В.М., Кучинский П.В., Сперанский Д.С.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

В связи с уменьшением геометрических размеров активных элементов интегральных микросхем большой интерес вызывает изучение влияния шумов на их работу, а также определение основных физических источников этих шумов. Так, в частности, для микро- и наноразмерных интегральных диодов и транзисторов, интерес представляет исследование флуктуаций плотности протекающего тока, оказывающих принципиальное влияние на нормальную работу этих приборов [1–3]. При этом особое внимание уделяется изучению влияния процессов генерации-рекомбинации носителей заряда на их шумовые характеристики. К таким процессам можно отнести лавинное умножение носителей заряда в результате ударной ионизации [4]. В настоящее время все большее значение при исследовании шумовых характеристик приборов приобретает численное самосогласованное моделирование переноса носителей заряда. Известно, что одним из наиболее перспективных численных методов решения данной задачи является многочастичный метод Монте-Карло, поскольку он позволяет детально исследовать физику этого процесса. Обзор основных проблем, возникающих при моделировании шумов методом Монте-Карло, приведен в [5].

Целью данной работы явилось исследование шумовых характеристик кремниевого диода со структурой $n^+ - n - n^+$ в режиме токовых флукту-

аций в случае, когда к электродам приложено постоянное напряжение.

В качестве объекта моделирования нами выбрана диодная структура, аналогичная рассматриваемой в [6] со следующими параметрами: размеры n^+ -областей, а также n -канала $L_1 = 100$ нм, $L_2 = 100$ нм, $L_3 = 100$ нм (см. рис. 1). Уровни легирования n^+ -областей и n -канала равны 10^{25} м^{-3} и 10^{22} м^{-3} , соответственно. Температура моделирования принималась равной 300 К.

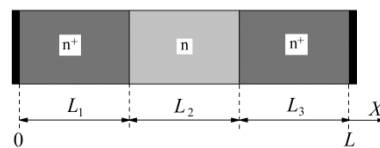


Рисунок 1 – Структура моделируемого диода

Для расчета электрических характеристик диода использовалось самосогласованное моделирование процессов переноса электронов и дырок в структуре, включающее решение одномерного уравнения Пуассона. Контакты металл-полупроводник рассматривались как идеальные омические. В данном случае при моделировании переноса данного случая при моделировании переноса частицы, достигающие контакта металл-полупроводник со стороны полупроводника, свободно покидают область моделирования. Металлический контакт при этом постоянно инжект-

тирует определенное число носителей заряда в приконтактную область полупроводника, необходимое для поддержания квазинейтрального состояния в этой области. Инжектируемые частицы имеют максвелловское распределение по импульсам.

Перенос электронов и дырок рассматривался с учетом эффекта непараболичности и анизотропии законов дисперсии по аналогии с тем, как это было сделано для кремниевого субмикронного МОП-транзистора в [7]. Учитывалось внутридолинное и междолинное рассеяние электронов на фононах, рассеяние на ионизированной примеси и межзонная ударная ионизация. Для дырок учитывались процессы рассеяния на акустических и оптических фононах, а также на ионизированной примеси.

В режиме токовых флуктуаций, при котором на электродах диода поддерживается постоянное напряжение, ток смещения можно положить равным нулю, а величина тока проводимости $I(t)$ задается следующим выражением, полученным на основании теоремы Рамо-Шокли [2, 4]:

$$I(t) = \frac{e}{L} \sum_{i=1}^{N_e(t)} v_i(t) - \frac{e}{L} \sum_{j=1}^{N_h(t)} v_j(t), \quad (1)$$

где $L = L_1 + L_2 + L_3$ – длина области моделирования (расстояние между электродами), v_i и v_j – мгновенные скорости i -го электрона и j -й дырки в момент времени t .

Суммирование в (1) ведется по полному числу электронов $N_e(t)$ и дырок $N_h(t)$, находящихся в области моделирования в момент времени t . При моделировании методом Монте-Карло используется так называемый метод частиц [8], когда реальный ансамбль электронов и дырок заменяется меньшим ансамблем частиц с некоторым эффективным зарядом, значительно большим элементарного. В рамках метода частиц рассчитывается объемная плотность заряда, входящая в уравнение Пуассона.

Автокорреляционные функции, характеризующие шум суммарного тока электронов и дырок в структуре, рассчитывались с использованием выражения:

$$C(t) = \langle \delta I(0) \delta I(t) \rangle, \quad (2)$$

где $\delta I(t) = I(t) - \langle I \rangle$ – флуктуации суммарного тока [1–4]. Усреднение в (2) проводится по времени.

Спектральная плотность флуктуаций плотности тока в диоде S может быть получена с использованием автокорреляционных функций (2) и определяется следующим выражением [1]:

$$S(f) = 4 \int_0^{\infty} C(t) \cos(2\pi ft) dt. \quad (3)$$

На рисунке 2 представлены рассчитанные спектральные плотности флуктуаций плотности

тока в диоде в зависимости от частоты f для напряжений на электродах, равных 1 В (кривые 1), 2 В (кривые 2) и 3 В (кривые 3).

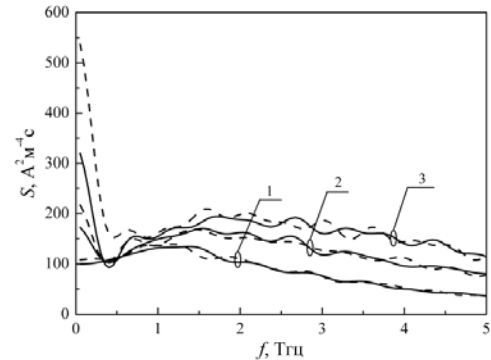


Рисунок 2 – Спектральные плотности флуктуаций плотности тока в диоде. Сплошные кривые — без учета ударной ионизации, штриховые кривые — с учетом этого процесса

При моделировании шумовых характеристик диода принимался во внимание только процесс ударной ионизации электронами. Интенсивность этого процесса рассчитывалась в рамках модели Келдыша с мягким порогом, параметры для которой даны в [9].

Результаты проведенных расчетов показали, в частности, что процесс ударной ионизации оказывает заметное влияние не только на величину плотности тока в рассматриваемом субмикронном кремниевом диоде при напряжениях между электродами, больших 1 В [10], но и на шумовые характеристики прибора. Как видно из рис. 2, процесс ударной ионизации приводит к увеличению спектральной плотности флуктуаций в области низких частот. Увеличение напряжения между электродами диода, в свою очередь, ведет к увеличению спектральной плотности флуктуаций как в области низких частот, так и в области частот, больших 1 ТГц.

1. Zimmerman, J. Application of Monte Carlo techniques to hot carrier diffusion noise calculation in unipolar semiconducting components / J. Zimmerman, E. Constant // Solid-State Electron. – 1980. – Vol. 23. – P. 915–925.
2. Martin, M.J. Analysis of current fluctuations in silicon pn+ and p+n homojunctions / M.J. Martin, J.E. Velazques, D. Pardo // J. Appl. Phys. – 1996. – Vol. 79, No. 9. – P. 6975–6981.
3. Rengel, R. A microscopic interpretation of the RF noise performance of fabricated FDSOI MOSFETs / R. Rengel [et al.] // IEEE Trans. Electron Devices. – 2006. – Vol. 53, No 3. – P. 523–532.
4. Reklaitis, A. Monte Carlo investigation of current voltage and avalanche noise in GaN double-drift impact diodes / A. Reklaitis,

- L. Reggiani // J. Appl. Phys. – 2005. – Vol. 97. – P. 043709-1–043709-8.
5. Gonzalez, T. Monte Carlo simulation of noise in electronic devices: limitations and perspectives / T. Gonzalez [et al.] // Unresolved Problems of Noise and Fluctuations: UPoN 2002: Third International Conference. – 2003. – Vol. CP665. – P. 496–503.
 6. Muscato, O. Electrothermal Monte Carlo validation of a hydrodynamic model for sub-micron silicon devices / O. Muscato, V. Di Stefano // Journal of Physics: Conference Series. – 2009. – Vol. 193. – P. 1–4.
 7. Борздов, В.М. Оценка эффективной пороговой энергии межзонной ударной ионизации в глубокосубмикронном кремниевом p-канальном МОП-транзисторе / В.М. Борздов [и др.] // Микроэлектроника. – 2014. – Т. 43, № 3. – С. 188–192.
 8. Хокни, Р. Численное моделирование методом частиц: пер. с англ / Р. Хокни, Дж. Иствуд. – М.: Мир, 1987. – 640 с.
 9. Ridley, В.К. Soft-threshold lucky drift theory of impact ionization in semiconductors / В.К. Ridley // Semiconductor Science and Technology. – 1987. – No. 22. – P. 116–122.
 10. Борздов, А.В. Моделирование методом Монте-Карло влияния ударной ионизации на ВАХ и флуктуации тока в кремниевом диоде со структурой p⁺-n-p⁺ / А.В. Борздов, В.М. Борздов, В.В. Буслюк // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. трудов VI Международной научной конференции, Минск, 8–9 Октября 2014. – Минск: БГУ, 2014. – С. 40–43.

УДК 621.382

ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОМОЩНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ

Бумай Ю.А.¹, Бобученко Д.С.¹, Трофимов Ю.В.², Цвирко В.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Ультразвуковое воздействие на светоизлучающие диоды (СИД), вызывающее интенсивные механические колебания во всех их элементах, может быть использовано для выявления потенциально ненадежных приборов. В кристаллах СИД оно может вызывать образование точечных дефектов структуры, протяженных дефектов – дислокаций и их миграцию. Проведена обработка ультразвуком (180 кГц, ~12 Вт, до 122 часов) InGaN/GaN СИД фирмы Nichia (NSPB510S) синего свечения. В соответствии с рисунком 1 для данных СИД наблюдались достаточно сильные изменения вольтамперных характеристик (ВАХ), измеренных в режиме стабилизации тока.

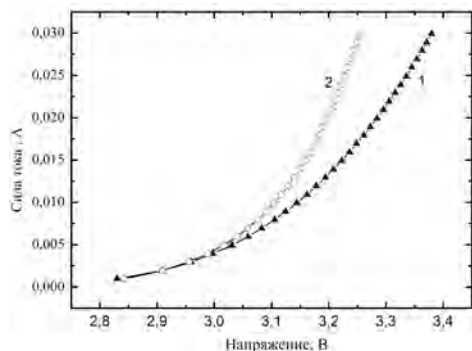


Рисунок 1 – Вольтамперная характеристика СИД № 7 до (1) и после (2) ультразвуковой обработки в течение 90 часов

На первой стадии обработки наблюдалось смещение прямой ветви ВАХ в сторону более низких напряжений смещения. На рисунке 2 приведена зависимость прямого напряжения СИД № 7 при токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки. В течение первых 40 часов (временной интервал 1) на пьезокерамике, генерирующей ультразвук, находилась эпоксидная линза СИД. Снижение напряжения проходило со скоростью 0,46 мВ/час. После этого периода на пьезокерамике располагались электроды СИД. Снижение напряжения проходило с большей скоростью 2,75 мВ/час. В результате на протяжении следующих 50 часов ультразвуковой обработки (временной интервал 2) наблюдалось уменьшение прямого напряжения на 120 мВ. После 90 часов обработки (область 3) наблюдались колебания ВАХ, а через 122 часов произошел пробой СИД. ВАХ СИД стала линейной, сопротивление составило 20 Ом.

При этом необходимо отметить отсутствие временных нестабильностей ВАХ обработанных ультразвуком СИД, они достаточно точно воспроизводились при повторных измерениях через сутки (т.е. колебания напряжения СИД со временем обработки являлись объективными). Возможной причиной такого поведения является то, что под действием ультразвука происходит

разрушение или модификация (перестройка) протяженного дефекта, находящегося в области перехода и способного шунтировать переход, возможно приводя к локальному нагреву, который еще больше должен снижать прямое напряжение.

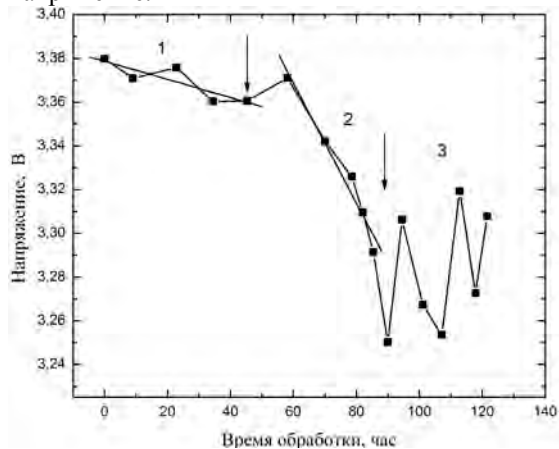


Рисунок 2 – Зависимость прямого напряжения СИД № 7 при токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки. Интервалы времени обработки ультразвуком: 1 – 40 часов; 2 – 40–90 часов; 3 – 90–122 часов

На рисунке 3 приведена зависимость прямого напряжения СИД № 14 на токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки, проводившейся в течение 41 часа (на пьезокерамике располагались электроды СИД). В временном интервале 1 скорость изменения напряжения составляет 2,3 мВ/час (приблизительно как у СИД №7). После 10 часов обработки (временной интервал 2) происходят наиболее сильные изменения напряжения (на 120 мВ) причем с высокой скоростью 10,3 мВ/час. Однако после 23 часов (временной интервал 3) наступило увеличение напряжения и некоторая его стабилизация. ВАХ образца стала близкой к исходной.

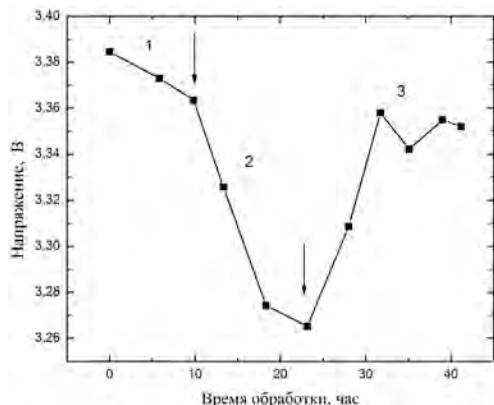


Рисунок 3 – Зависимость прямого напряжения СИД № 14 при токе 30 мА от времени ультразвуковой обработки. Интервалы времени обработки ультразвуком: 1 – 10 часов; 2 – 10–23 часов; 3 – 23–41 часа

Для СИД № 14 измерен спектр электролюминесценции (рисунок 4). Обнаружено, что форма спектра после ультразвуковой обработки не изменилась, но мощность излучения увеличилась в 2,2 раза, КПД с 7,4 % стал равным 16,6 %.

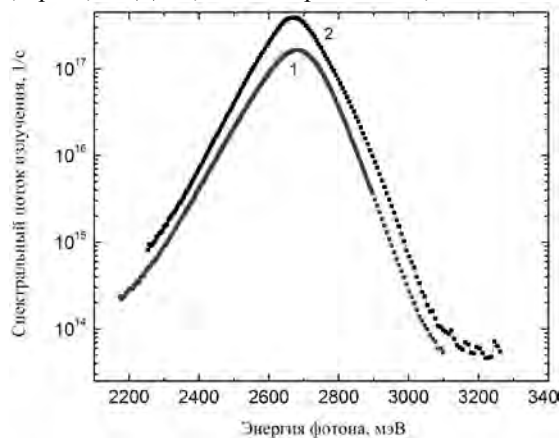


Рисунок 4 – Зависимость спектрального потока излучения от энергии фотона для СИД № 14 Nichia при токе 20 мА до (1) и после (2) ультразвукового воздействия

Механическое напряжение для размножения дислокаций в СИД на базе нитридов составляет $\sigma_0 = 2,8$ МПа (280 г/мм²), мощность ультразвуковой волны для этого можно оценить по формуле [1, 2]:

$$P = \frac{\sigma_0^2 f}{E_p} V_p$$

Для частоты ультразвука $f = 180$ кГц, модуля Юнга и объема пьезокерамики $E_p \approx 7 \cdot 10^{10}$ Па, $V_p = 0,9424 \cdot 10^{-6}$ м³ минимальная мощность ультразвуковой волны, необходимая для эффективного размножения дислокаций (растрескивания), согласно расчету составляет ~22 Вт. В нашем случае мощность несколько ниже, т.е. является пороговой, но в совокупности с повышенной температурой пьезокерамики (~67 °С), увеличивающей амплитуду колебаний атомов, приводит, вероятно, к разрушению или перестройке уже имеющихся в СИД протяженных дефектов, не приводя к растрескиванию.

Таким образом, проведена обработка ультразвуком индикаторных СИД фирмы Nichia (NSPB510S) синего свечения. Обнаружено, что в результате обработки происходит уменьшение прямого напряжения на СИД при стабилизированном токе. Наиболее эффективной для данного типа индикаторных СИД оказалось введение акустической мощности через электроды СИД. Обнаружены колебания прямого напряжения на СИД от времени обработки. Для одних СИД после данного участка наблюдался электрический пробой, для других – стабилизация ВАХ. По

нашему мнению, причиной данного эффекта является то, что под действием ультразвука происходит разрушение или модификация (перестройка) протяженного дефекта, находящегося в области перехода. Обнаружено, что в случае стабилизации ВАХ ультразвуковой обработкой энергетическая эффективность может существенно возрасть.

1. Рабинович, О.И. Моделирование электрических и оптических характеристик светоизлучающих диодов на основе многокомпонент-

ных гетероструктур AlGaInN: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.10 / О.И. Рабинович; Рос. технолог. ун-т. – М., 2008. – 28 с.

2. Наими, Е.К. Влияние ультразвуковой вибрации на деградацию светоизлучающих диодов на основе InGaN / Е.К. Наими, С.Г. Никифоров, О.И. Рабинович, В.П. Сушков // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2009, № 1. – С. 86–92.

УДК 681

ТРАНСФОРМАЦИЯ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ ПЛЕНОК ФОТОРЕЗИСТА НА КРЕМНИИ ПРИ γ -ОБЛУЧЕНИИ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Бумай Ю.А.², Бринкевич Д.И.¹, Харченко А.А.¹, Лукашевич М.Г.¹,
Прасолович В.С.¹, Оджаяев В.Б.¹, Янковский Ю.Н.¹

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Ионная имплантация широко применяется в современной полупроводниковой микро- и нанoeлектронике. Повышение степени интеграции предъявляет высокие требования к блоку операций, обеспечивающих маскирование ионного пучка. В качестве масок в процессах субмикронной и нанолитографии важную роль играют диазохинон-новолачные (ДХН) резисты [1]. Взаимодействие ДХН-резистов с дальним ультрафиолетом, рентгеновским и видимым излучением исследовано достаточно подробно. Однако влияние ионной имплантации и γ -облучения на свойства указанных материалов изучено недостаточно, хотя протекающие в резистах процессы радиационного дефектообразования могут оказывать существенное влияние на качество создаваемых приборов. Целью настоящей работы являлось изучение влияния высокоэнергетического воздействия на спектры отражения пленок диазохинон-новолачного резиста марки ФП9120.

Пленки позитивного фоторезиста ФП9120 толщиной 1,8 мкм наносилась на поверхность пластин кремния марки КДБ-10 (111) методом центрифугирования при скорости вращения 1800 об/мин. Толщина пленок фоторезиста контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4 и механическим способом на профилометре «Dectak». Имплантация ионами Ag⁺ и Sb⁺ с энергией 30 – 60 кэВ в интервале доз 1·10¹⁵–6·10¹⁷ см⁻² в режиме постоянного ионного тока (плотность ионного тока $j = 4$ мкА/см²) проводилась при комнатной температуре в остаточном вакууме не хуже 10⁻⁵ Па на имплантаторах ИЛУ-3 и «Везувий-6». Во избежание перегрева и деградации образца в процессе имплантации на ИЛУ-3 использовалась кассета, обеспечивающая эффективный сток ионного заряда с поверхности полимера и плотный контакт пленок с металли-

ческим основанием, охлаждаемым водой. Облучение осуществлялось γ -квантами ⁶⁰Со при комнатной температуре и атмосферном давлении на установке МРХ- γ -25М. Мощность поглощенной дозы составляла 0.36 ± 0.008 Гр/с. Интервал поглощенных доз 6 – 200 кГр.

Спектры отражения регистрировались в области прозрачности пленки в диапазоне $\lambda = 210$ –1100 нм однолучевым спектрофотометром PROSKAN MC-122 при комнатной температуре с разрешением не хуже 1 нм. Углы падения и отражения света при всех измерениях составляли 25° к нормали. Калибровка спектров отражения проводилась прибором автоматически по интенсивности пропускания диафрагмы. Согласно измерениям методом атомно-силовой микроскопии рельеф поверхности пленки был достаточно гладкий; средняя арифметическая шероховатость R_a поверхности пленки не превышала 2 нм.

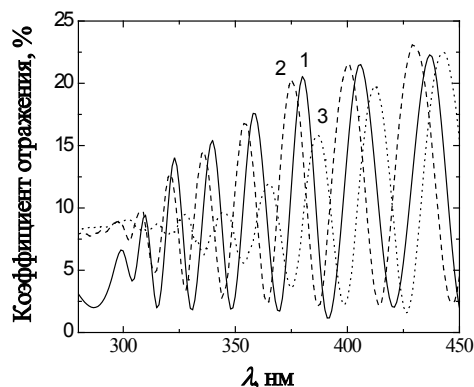


Рис. 1 - Спектральные зависимости коэффициента отражения исходной (1) и γ -облученных (2,3) фоторезистивных пленок на кремнии. Доза, кГр: 1 – 0; 2 – 6; 3 – 2900

В спектрах отражения необлученных полимерных пленок в области прозрачности наблюдались интерференционные полосы (рис.1). γ -облучение приводило к смещению интерференционных максимумов и изменению расстояния между ними.

При ионной имплантации, кроме того, снижается интенсивность полос интерференции в высокоэнергетической области $\lambda = 300-500$ нм (рис.2а). Причем при дозе $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² в спектре отражения наблюдаются только две интерференционные полосы (рис.2б). Этот эффект обусловлен смещением края поглощения пленки в низкоэнергетическую область при ионной имплантации.

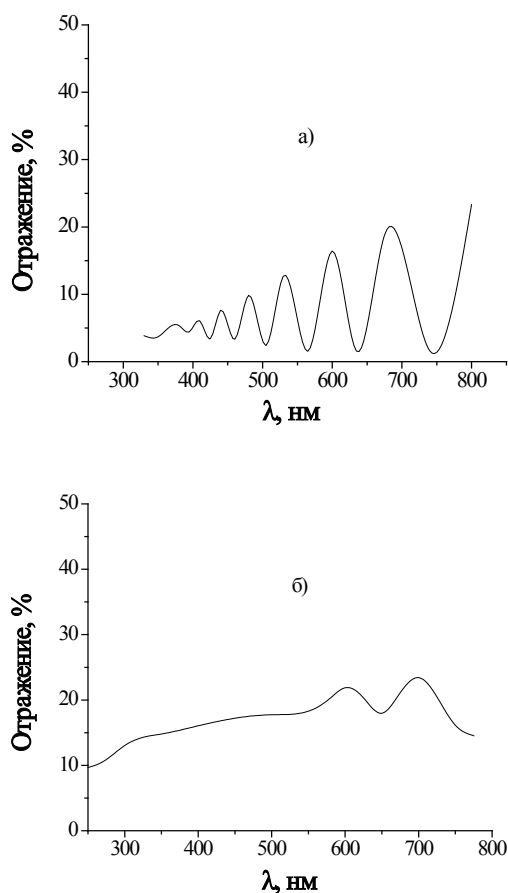


Рис. 2 – Спектральные зависимости коэффициента отражения фоторезистивных пленок на кремнии, имплантированных ионами Sb⁺. E = 60 кэВ. Доза Φ , см⁻²: а - $1 \cdot 10^5$; б - $5 \cdot 10^{16}$

Спектральные зависимости, представленные на рис.3, рассчитывались по формуле

$$2d \langle n \rangle = \left(\frac{1}{\lambda_m} - \frac{1}{\lambda_{m-1}} \right)^{-1}$$

Поскольку толщина пленки d при γ -облучении не изменяется, то на рис.3 отражена зависимость

показателя преломления пленки n от средней для двух соседних максимумов длины волны. Зависимости для всех образцов выглядят как нормальные дисперсии $dn/d\lambda < 0$. В области ближнего ультрафиолета показатель преломления исследуемых образцов резко возрастает.

В видимой области (свыше 400 нм) наблюдается существенное отличие в поведении величины оптической длины ($2dn$) от вида и дозы облучения. При γ -облучении происходит увеличение оптической длины ($2dn$), что может быть обусловлено ростом показателя преломления слоя (кривые 2, 3 рис.3). При увеличении дозы облучения этот эффект усиливается. При ионной имплантации происходит снижение $2dn$, что может быть обусловлено усадкой (уменьшением толщины) модифицированного слоя. Она обусловлена удалением газообразных продуктов радиолитического распада (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 и т.д.), образующихся при ионной имплантации [2]. Причем эффект усадки полимерного слоя существенно перекрывает возрастание показателя преломления в аморфизированном имплантацией слое.

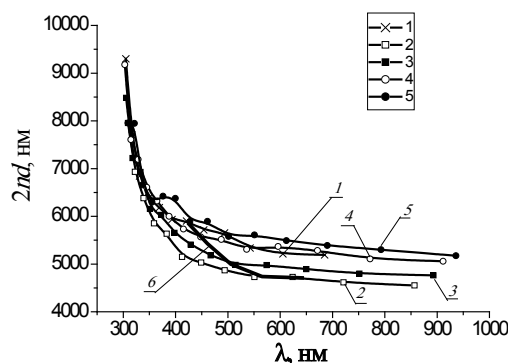


Рис. 3 – Спектральные зависимости оптической длины ($2nd$) исходного фоторезиста (1); имплантированного ионами серебра дозой $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² (2) и $5 \cdot 10^{17}$ см⁻² (3); облученного γ -квантами дозой 6 кГр (4) и 2900 кГр (5); имплантированного Sb⁺ дозой 10^{15} см⁻² (6)

Таким образом показано, что облучение γ -квантами ⁶⁰Со приводит к увеличению показателя преломления фоторезиста в диапазоне длин волн 400-900 нм. При ионной имплантации основной вклад в изменение оптической длины вносит усадка полимерного слоя, существенно перекрывающая рост показателя преломления.

1. Моро, У. Микролитография. Принципы, методы, материалы. В 2-х ч. Ч.2./ У. Моро – М.: Мир, 1990. – 632 с.
2. Экспериментальные методы химии высоких энергий / Под общ. Ред. М.Я. Мельникова. – М.: МГУ, 2009. – 824

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСАДКИ КРИСТАЛЛОВ НА ПРИПОЙ И ЭВТЕКТИКУ В МОЩНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ КП7209 В КОРПУСЕ ТО-254 МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Бумай Ю.А.¹, Васьков О.С.¹, Кононенко В.К.¹, Нисс В.С.¹, Керенцев А.Ф.², Петлицкий А.Н.², Соловьев Я.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО Интеграл

Минск, Республика Беларусь

Методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии (ТРДС) исследованы профили растекания теплового потока и структура внутреннего теплового сопротивления экспериментальных мощных МОП – транзисторов КП7209 (производство ОАО Интеграл) в металлокерамическом корпусе ТО-254, изготовленных при различных температурных режимах и методах посадки кристалла. Для испытания надежности транзисторы также были подвергнуты серии термоударов в интервале от -196 до $+200^{\circ}\text{C}$. Для снижения термических напряжений в кристаллах транзисторов конструкция корпуса ТО-254 (КТ-97В) содержит термокомпенсатор. Подробная теория метода ТРДС описана в работе [1,2]. Исследования тепловых параметров транзисторов проведены с использованием разработанного в БНТУ релаксационного импеданс – спектрометра тепловых процессов [3]. Работа спектрометра основана на регистрации процесса релаксации напряжения на барьере (“исток – затвор” в случае МОП – транзисторов) вследствие нагрева транзистора при прохождении импульса тока в виде ступеньки. Типичный вид дифференциальных и дискретных спектров тепловых сопротивлений $R_{th}(t)$, их компоненты R1 – R7 а также профили эффективной площади растекания теплового потока $S_a(t)$ показаны на рисунках 1а,б.

Вся партия из 24 транзисторов КП7209 в соответствии с методом посадки кристалла (на эвтектику Au-Si, на припой ПОС-10) и типом термокомпенсатора (МД-40, МД-50) разбита на четыре группы. Для образцов группы I и III (посадка на эвтектику, термокомпенсаторы МД-50 и МД-40, соответственно) температура пайки варьировалась в интервале 440 – 480°C , а образцов группы II и IV (посадка на припой, термокомпенсаторы МД-50 и МД-40, соответственно) в интервале 390 – 420°C .

Анализ спектров показывает, что основной вклад в разброс внутреннего теплового сопротивления внутри групп вносят компоненты области посадки кристалла – переходного слоя R3 (кристалл-припой), слоя припоя R4 и переходного слоя R5 (припой – термокомпенсатор).

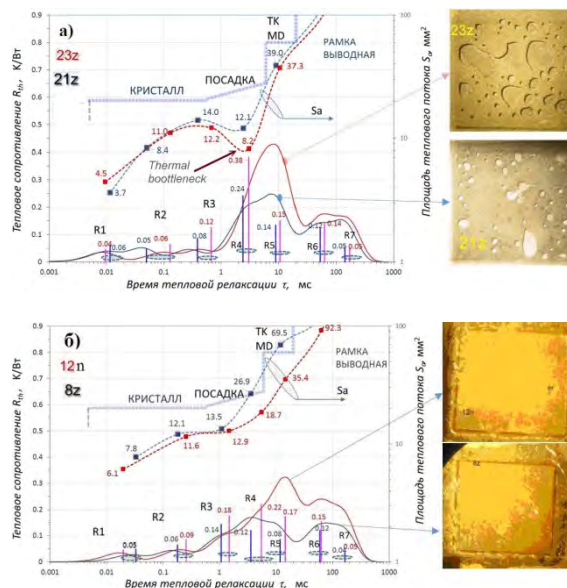


Рисунок 1 – Дифференциальный и дискретный спектры $R_{th}(t)$, профили эффективной площади теплового потока $S_a(t)$ и фотоизображения поверхности слоя посадки пар транзисторов с разным качеством посадки кристалла (верхние рисунки каждой пары соответствуют транзисторам с большим тепловым сопротивлением, нижние – с меньшим):

а) монтаж кристалла на припой (с МД-50), транзисторы 23z, 21z – температура пайки 420°C , 400°C , соответственно (группа II);

б) монтаж кристалла на эвтектику, транзисторы групп I и III 8z (с МД-50), 12n (с МД-40), – температура пайки 460°C , 480°C , соответственно

Наименьший разброс уровня тепловых компонент обнаружен в группе I, а наибольший в группе IV. Для образцов группы I (эвтектика, МД50) наиболее существенен разброс компоненты R3, для группы II (припой, МД50) – R4, для группы III (эвтектика, МД40) и IV(припой, МД40) групп – R4 и R5. Для образцов I и II групп влияние на разброс теплового сопротивления компоненты R5, связанной с дефектами термокомпенсатора, минимально.

Наименьшая зависимость теплового сопротивления слоя посадки от температуры пайки кристалла наблюдалась для транзисторов I и III групп (с посадкой кристалла на эвтектику). От-

носительное изменение компонентов R3–R5 с ростом температуры пайки для образцов этих групп отрицательно и не превышает 0.5% на 1°C. Основным изменениям подвержена компонента R5, что возможно связано с отжигом дефектов на границе эвтектика – термокомпенсатор.

Для образцов II и IV групп выявлена близкая к линейной зависимость теплового сопротивления слоя посадки от температуры пайки кристалла. Для этих образцов, с ростом температуры пайки в диапазоне 300°C – 400°C, характерен существенный рост величины теплового сопротивления компонентов слоя посадки, близкий к 100%. Изменение теплового сопротивления образцов II и IV групп определяется в основном компонентой R4, что вероятно свидетельствует о разрастании дефектов в слое припоя. Из анализа спектров ТРДС для образцов с посадкой кристалла на припой выявлено два типа дефектов слоя посадки, оказывающих существенное влияние на тепловое сопротивление измеренных образцов. Первый тип связан с наличием пустот в припое, приводящих к сужению теплового потока в этой области, и идентифицируется в спектре как пик R4, его значение увеличивается с площадью пустот на фотоизображении припоя под кристаллом. Для одних образцов вместе с ростом теплового сопротивления R4 пропорционально уменьшается и тепловая емкость C4, для других рост R4 не приводит к существенному изменению C4, что свидетельствует с разрастанием объемных и плоских дефектов, соответственно. Второй тип определяется дефектами, присутствующими в переходном слое припой – термокомпенсатор (компонент R5). Для образцов с термокомпенсатором МД-40 наблюдалась существенное увеличение теплового сопротивления R5, связанного, с дефектами слоя посадки в области термокомпенсатора.

Контроль дефектов области посадки кристалла производился также разрушающим методом путем стравливания кристалла и анализа фотоизображения границы посадки. Для пар образцов с посадкой кристалла на припой (групп II и IV), уровень теплового сопротивления увеличивается с площадью дефектов области припоя, видимых на фотоизображении границы посадки. Для образцов с большей площадью дефектов припоя наблюдается сужение сечения теплового потока S_a в слое посадки R4 (рисунок 1а). Вместе с тем, для ряда образцов корреляция между видимой на фотоизображении площадью дефектов припоя и уровнем спектрального теплового сопротивления слабая либо отсутствует, что возможно связано с влиянием дефектов термоком-

пенсатора не видимых на фотоизображении припоя.

Для образцов с посадкой на эвтектику существенным оказывается переходное тепловое сопротивление термокомпенсатора. Различия в спектрах образцов с посадкой на эвтектику, возможно, определяются процессами теплового рассеяния в переходном слое эвтектика – термокомпенсатор, не доступных визуализации на фотоизображении переходного слоя посадки под кристаллом (рисунок 1б).

Термоудары использовались для выявления элементов структуры транзисторов, тепловое сопротивление которых изменялось при деградационных испытаниях. После 100 термоударов выявлен рост теплового сопротивления практически во всех транзисторах, причем в трех из всей партии значительный (более 20%), в остальных, в среднем 6%. Наименьший рост теплового сопротивления зафиксирован в транзисторах группы I (с посадкой кристалла на эвтектику и термокомпенсатором МД50). Корреляция между изменением теплового сопротивления после термоударов и уровнем исходного теплового сопротивления исследованных транзисторов не выявлена. Обнаружена умеренная корреляция между изменением внутреннего теплового сопротивления транзисторов групп I, III и температурой пайки кристалла на эвтектику. Наименьший уровень изменения теплового сопротивления в измеренных образцах наблюдался при температуре пайки кристалла на эвтектику 480°C. Обнаружено, что основные изменения теплового сопротивления всех образцов после термоударов проявились в области посадки кристалла – в компонентах переходного слоя R3 (кристалл – припой), слоя припоя R4 и переходного слоя R5 (припой – термокомпенсатор).

1. Нисс, В.С. Оценка тепловых параметров мощных биполярных транзисторов методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии / В.С. Нисс [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2015. – Т. 6, № 2. – С. 249–256.
2. Vaskou, A.S. Diagnostics of the technological characteristics of high-power transistors using relaxation impedance spectrometry of thermal processes / A.S. Vaskou [et al.] // Russian Microelectron. - 2015. -Vol. 44, No. 8. – P. 579-584.
3. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58-59.

АНАЛИЗ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ-ГЕНЕРАТОРОВ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА

Буслюк В.В.¹, Оджаев В.Б.², Панфиленко А.К.³, Петлицкий А.Н.³, Просолович В.С.², Шведов С.В.³, Филипеня В.А.³, Черный В.В.⁴, Явид В.Ю.², Янковский Ю.Н.², Лановский Р.А.²

¹Научно-исследовательское унитарное предприятие «СКБ Запад»

²Белорусский государственный университет

³Открытое акционерное общество «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

⁴Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Ранее было установлено, что обратный ток и пробой в генераторных диодах обусловлены ионизацией технологических примесей, составляющих основу микроплазм [1]. Влияние примесных атмосфер и структурных дефектов микроплазменных каналов являются определяющими факторами при разработке генераторных диодов, учитывая их возможное влияние на основные параметры вольт-амперных характеристик (ВАХ) диодов. В связи с этим актуальным является исследование влияния как технологических, так и основных легирующих примесей на электрофизические параметры генераторных диодов.

В работе исследованы электрофизические параметры кремниевых диодов-генераторов шума ND102-ND104, изготовленных на основе монокристаллического кремния КДБ0.03(111), и ND201, изготовленных на подложках марки КДБ0.005(111). Глубина p-n-перехода, сформированного диффузией фосфора, составляла ~ 6 мкм. Измерения ВАХ производились в интервале температур от -60 до 125 °С.

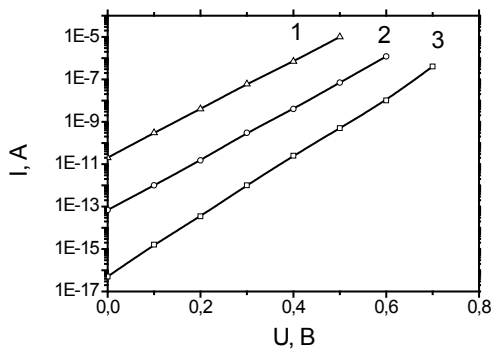


Рис. 1. Типичные прямые ВАХ p-n-переходов, температурных измерений:
1 - 125 °С, 2 - 25 °С, 3 - -60 °С

Установлено, что ВАХ всех исследованных диодов в прямом направлении имеют активационный характер. При построении данных зависимостей в полулогарифмическом масштабе видно, что характеристики имеют экспоненциальную зависимость (рис.1). Поскольку полный прямой ток p-n-перехода приблизительно равен сумме диффузионного и рекомбинационного

токов, то для резкого перехода ($p_{n0} \gg n_{p0}$ и $V > kT/q$) полученные результаты в общем случае можно описать следующим выражением [2]:

$$J_F = \exp(qV / nkT),$$

где $n=1$, если преобладает диффузионный ток, и $n=2$, если преобладает рекомбинационный ток.

Когда оба тока сравнимы по величине, то n имеет значения между 1 и 2. При прямом смещении, из-за генерационно-рекомбинационных явлений в обедненном слое определяющими становятся процессы захватывающих носителей, и к диффузионному току добавляется рекомбинационный ток J_{rec} [2]. В таблице 1 приведены значения коэффициентов наклона ВАХ. Видно, что при уменьшении температуры измерения доля рекомбинационного тока возрастает, что обусловлено снижением при более низких температурах концентрации основных носителей заряда. Причем, для диодов ND201 значения коэффициента наклона ВАХ при всех температурах измерения имеют несколько большие значения, что обусловлено, вероятно, различием в уровнях легирования подложки и концентрации рекомбинационных центров

Таблица 1. Коэффициенты наклона ВАХ

Температура измерений	ND103	ND201
-60 °С	1.40	1.48
20 °С	1.27	1.32
125 °С	1.14	1.17

На рис. 2 приведены обратные ветви ВАХ диодов, построенные в двойном логарифмическом масштабе. Полный обратный ток для резкого p-n-перехода можно приблизительно представить суммой диффузионного тока в нейтральной области и генерационного тока в обедненной области [2]. Плотность тока, обусловленного генерацией в обедненной области, принимается

$$\text{равной } J_{gen} \sim \frac{1}{\tau_e}; J_{gen} \sim W \sim (V_{bi} + V)^{1/2}, \text{ где}$$

τ_e – эффективное время жизни носителей заряда, определяемое скоростью генерации электронно-дырочных пар в обедненной области p-n-пере-

хода толщиной W , V_{bi} – контактная разность потенциалов. Таким образом, следует ожидать, для резкого перехода степенную зависимость генерационного тока от приложенного напряжения с показателем степени 0,5.

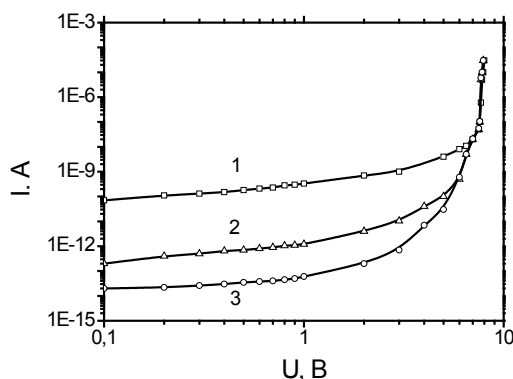


Рис. 2. Типичные обратные ВАХ p - n -переходов, температурных измерений:

1 - 125 °C, 2 - 25 °C, 3 - -60 °C

Из рис. 2 видно, что для ВАХ p - n -переходов при обратном смещении присуще наличие двух областей. При $U < 2$ В ток практически не зависит от V , что свидетельствует о преобладании диффузионной составляющей, что обусловлено низкой концентрацией генерационных центров. При $U > 2$ В наблюдается степенная зависимость тока от напряжения $J \sim V^n$, что характерно для обратной ВАХ p - n -перехода в области пространственного заряда которого преобладает генерация электронно-дырочных пар [2]. В данном случае $n > 1$, что свидетельствует о высокой концентрации рекомбинационно-генерационных центров и их неоднородном распределении.

Из исследования температурных зависимостей обратных токов установлено, что энергия активации в зависимости от величины приложенного к p - n -переходу обратного напряжения имеет значения в диапазоне 0.25-0.45 эВ, причем с увеличением обратного напряжения данная величина уменьшается.

Данный эффект может быть с одной стороны обусловлен температурным изменением ширины запрещенной зоны. Однако, наблюдаемое изменение глубины залегания уровня не превышает для используемого в данной работе температурного интервала исследований 0.05 эВ. С другой стороны, необходимо учитывать эффект Пула-Френкеля [3], заключающийся в уменьшении глубины залегания энергетических уровней в сильных электрических полях. Произведенные оценки показывают, что напряженность поля в

области обеднения превышает 100 В/см. Этого достаточно для изменения глубины залегания энергетических уровней. При экстраполяции зависимостей энергии активации от приложенного напряжения (рис.3), к координатной оси, соответствующей 0 В, полученные значения дают величину залегания энергетического уровня 0.45 ± 0.03 эВ. Такими примесями могут быть технологические фоновые примеси железа и меди.

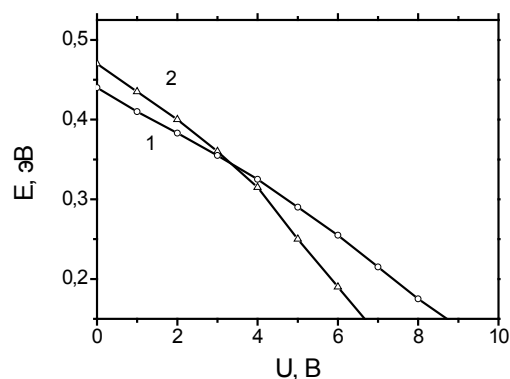


Рис.3. Зависимость энергии активации от приложенного обратного напряжения (1-диод ND103, 2-диод ND201)

Показано, что анализ ВАХ позволяет установить влияние неоднородностей легирования кристалла и ионизации глубоких примесных центров в области пространственного заряда на электрофизические параметры и процессы возникновения лавинного пробоя p - n -переходов генераторных диодов шума, обусловленного включением микроплазм в результате локального увеличения на них напряженности электрического поля.

1. Буслюк В.В., Просолович В.С., Янковский Ю.Н., Русакевич Д.А., Черный В.В. Вольтамперные характеристики генераторных диодов для создания широкополосного шума // Матер. 7-й Межд. н.-т. конф. «Приборостроение – 2014», БНТУ, Беларусь, Минск, 2014, с. 268-269.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Москва «Мир», 1984. Т.1. 455 с.
3. Б.Г. Тагиев, О.Б. Тагиев, Р.Б. Джаббаров, С.А. Абушов, З.Я. Абдулаева, Ф. А. Казымова. Эффект Пула-Френкеля и спектроскопия локальных уровней в полупроводниках // Институт физики НАН Азербайджана, AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида 33., 2003 № 5.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ В ЗАЗОРЕ МАГНИТОПРОВОДА

Васильев А.С., Ланин В.Л.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Использование магнитопровода для концентрации электромагнитной энергии в области зазора позволяет повысить эффективность нагрева. Увеличивается скорость нагрева, зона нагрева более локализована, что существенно при пайке изделий интегральной электроники. Индукционные нагревательные устройства на магнитопроводе из феррита с незамкнутой магнитной цепью обладают высокой скоростью бесконтактного и локального нагрева проводящих материалов и эффективны для монтажной пайки в электронике. Для формирования качественных паяных соединений необходима оптимальная конструкция.

Индукционные нагревательные устройства на магнитопроводе из феррита с незамкнутой магнитной цепью (рисунок 1) обладают высокой скоростью бесконтактного и локального нагрева проводящих материалов и эффективны для монтажной пайки в электронике. Для формирования качественных паяных соединений необходима оптимальная конструкция индуктора, концентрирующая магнитный поток в зоне пайки, и оптимизация температурного профиля нагрева [1].

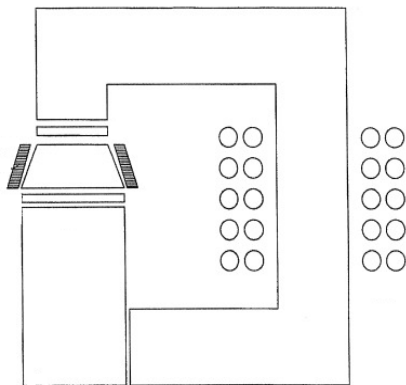


Рисунок 1 – Магнитопровод с незамкнутой цепью

При проектировании индукторов необходимо учитывать следующие ограничительные условия: максимальная плотность магнитного потока, индукция магнитопровода, площадь обмотки и сопротивление обмотки [2].

При подаче максимально возможного тока обмотки I_{max} ожидается получить максимальную плотность магнитного потока B_{max} . Но величина

B_{max} должна быть не больше, чем величина максимального магнитного насыщения материала сердечника магнитопровода. Максимальная плотность магнитного потока будет равна:

$$B_{max} = \frac{h_3}{nI_{max}\mu_0}, \quad (5)$$

где n – количество витков обмотки.

Индукция магнитопровода при этом будет

$$L = \frac{n^2}{R_h} = \frac{\mu_0 A_c n^2}{h_3}, \quad (2)$$

где R_h – сопротивление воздуха в зазоре; A_c – ширина магнитопровода;

Площадь обмотки W_a , доступная для обмотки определяется параметром, называемым коэффициентом заполнения K_f .

$$K_f W_a = n A_w, \quad (3)$$

где A_w – площадь поперечного сечения магнитопровода.

Из-за собственного сопротивления обмотки, оптимальным значением K_f принято считать в диапазоне 0,65 – 0,95 [3].

Сопротивление обмотки магнитопровода

$$R = \rho \frac{l_b}{A_w}, \quad (4)$$

где ρ – сопротивление проводящего материала, l_b – общая длина обмотки.

Переменный магнитный поток, пронизывающий материал сердечника, вызывает появление в массе материала ЭДС индукции. Так как все ферромагнетики относятся к проводникам, то под действием этой ЭДС в сердечнике возникают электрические токи, протекающие по замкнутым контурам, расположенным в плоскостях перпендикулярных направлению магнитного потока, и называемые вихревыми токами. Вихревые токи создают свой магнитный поток, стремящийся, в соответствии с правилом Ленца, ослабить изменение основного потока. Поэтому они действуют размагничивающим образом, уменьшая основной поток.

Размагничивающее действие вихревых токов неодинаково в различных частях сердечника. Наиболее сильно оно выражено в центре сечения, т.к. центральные части охватываются максимальным числом контуров тока, МДС которых и создают размагничивающий поток. Поэтому в центре сечения плотность основного магнитного потока будет меньше, чем на краях, т.е. происходит вытеснение основного магнитного потока в наружные слои магнитопровода. Это явление выражено тем резче, чем выше частота магнит-

ного потока и больше сечение, магнитная проницаемость и удельная проводимость материала сердечника.

Протекающий по материалу сердечника электрический ток вызывает его нагрев. Если это тепло не используется, то говорят о потерях на вихревые токи. В соответствии с законом Джоуля-Ленца, мощность расходуемая на нагрев равна:

$$P = I_F^2 r, \quad (6)$$

где I_F - действующее значение вихревых токов, а r - сопротивление контура, по которому они замыкаются. Очевидно, что эффективно снизить эти потери можно уменьшив ток. Это достигается увеличением удельного сопротивления материала и разделением его на отдельные изолированные друг от друга слои вдоль линий магнитного потока.

Активная мощность, преобразуемая в тепло вихревыми токами P_F , будет равна [3]:

$$P_F = \varepsilon f^2 B_{max}^2 V, \quad (7)$$

где ε – ЭДС, f – частота переменного тока, V – потери на вихревые токи

Из выражения (7) следует, что потери на вихревые токи очень сильно (во второй степени) зависят от частоты переменного тока f а также от амплитуды индукции (плотности магнитного потока) B_{max} .

Методика моделирования распределения электромагнитных полей включает создание геометрической модели, задание свойств материала, источника возбуждения, граничных условий, настройку опций расчета и сетки, решение задачи распределения и анализ результатов.

Геометрическая модель индукционного устройства в соответствии с ANSOFT MAXWELL имеет составные части:

- магнитопровод ферритовый марки Ф-86, свойства которого выбирались из библиотеки ANSOFT MAXWELL;

- катушки возбуждения с числом витков $N=25$ реализуются в модели как два полых цилиндра с толщиной стенок, равной высоте катушки.

Приложенное к ним токовое возбуждение задается в сечении цилиндра с указанием ампер/витков и направления.

Граничные условия: поле H непрерывно при пересечении границ объектов; условие Неймана на границе области моделирования – поле H не пересекает границы области моделирования.

В результате моделирования с использованием уравнений электромагнитного поля Максвелла без учета конвективного теплообмена нагреваемого тела с окружающей средой получены распределения плотности вихревых токов в металлических деталях, магнитного поля индукционного устройства в пространстве.

Анализ зависимостей показывает, что наибольшая мощность нагрева характерна для металлов с наибольшей электропроводностью, т.е. для меди. Плотность вихревых токов с повышением частоты увеличивается, так как сильнее сказывается скин-эффект. Частота более 950 кГц не приводит к существенному повышению эффективности нагрева. Скоростью и температурой нагрева можно управлять, изменяя величину тока в обмотках возбуждения.

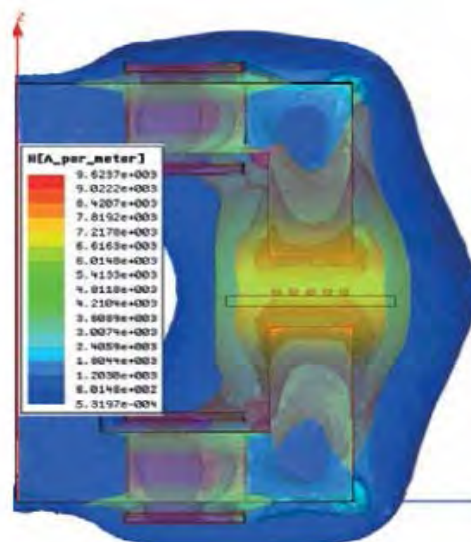


Рисунок 2 – Распределение плотности вихревых токов в зазоре магнитопровода

Для эффективного управления мощностью и скоростью индукционного нагрева необходимо контролировать величину тока в рабочих обмотках, а изменяя частоту питающего тока, можно регулировать характер нагрева – общий или локальный поверхностный.

Избирательный характер индукционного нагрева проводящих материалов позволяет реализовать процесс пайки электронных компонентов на плату без перегрева корпуса. С помощью индукционного нагрева можно осуществлять формирование матричной структуры выводов припоая на контактных площадках печатной платы.

1. Ланин, В.Л. Высокоэффективные индукционные устройства для монтажной пайки в электронике / В.Л. Ланин // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – № 5. – С. 46–49.
2. Erickson, R.W. Fundamentals of Power Electronics / R.W. Erickson. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. – 881p.
4. Немков, В.С. Теория и расчет устройств индукционного нагрева / В.С. Немков, В.Б. Демидович. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1988. – 280 с.

УДК 535.34, 535.37

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО КРИСТАЛЛА Er:LiKYF₅Вилейшикова Е.В.¹, Лойко П.А.², Хайдуков Н.М.³, Юмашев К.В.¹¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²KTH – Royal Institute of Technology

Stockholm, Sweden

³Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Москва, Россия

Кристаллы сложных фторидов K₂YF₅ и LiKYF₅, активированных ионами редкоземельных элементов RE³⁺ = Er³⁺, Nd³⁺ и др., известны как перспективные лазерные среды, характеризующиеся относительно большими временами жизни редкоземельных ионов в возбужденных состояниях и высоким квантовым выходом люминесценции [1,2]. Структурные особенности этих фторидных соединений позволяют достигать высоких концентраций оптически активных ионов RE³⁺, вплоть до получения стехиометрических составов, например K₂ErF₅ и LiKErF₅ [3], без значительного концентрационного тушения люминесценции. В совокупности с относительно невысокими максимальными энергиями в фоновом спектре (~440 см⁻¹), и, следовательно, низкими вероятностями безызлучательных переходов для ионов RE³⁺, возникают благоприятные условия для разработки лазерных материалов на их основе.

Кристаллическая структура LiKYF₅ относится к моноклинной сингонии (пр. гр. P2₁/c) и обеспечивает низкосимметричную координацию ионов Y³⁺/RE³⁺ (симметрия локального окружения C₁). В таких кристаллографических позициях ионы RE³⁺ характеризуются широкими спектральными полосами и высокими пиковыми значениями поперечных сечений в спектрах поглощения и вынужденного испускания [1].

В настоящей работе исследованы спектроскопические свойства лазерных кристаллов LiKYF₅, активированных ионами Er³⁺. Концентрационный ряд кристаллов LiKY_{1-x}Er_xF₅ синтезирован в гидротермальных условиях методом прямого температурного градиента в результате реакции водного раствора, содержащего 20–30 мол. % KF и 5 мол. % LiF, с оксидами (1-x)Y₂O₃-xEr₂O₃, где x = 0.02, 0.05, 0.1, 1.0. Синтез осуществлялся при температуре в зоне синтеза T ~ 750 K, при давлении ~100-150 МПа в течение ~200 ч. В результате были получены кристаллы объемом ~0.5 см³, из которых были изготовлены экспериментальные образцы в виде произвольно ориентированных кристаллических пластин толщиной ~1-2 мм.

На рис. 1 приведен спектр поперечного сечения поглощения σ_{abs} в области длин волн 690 – 990 нм, соответствующей переходу $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$

ионов Er³⁺, зарегистрированный для образца LiKY_{0.9}Er_{0.1}F₅. Данная полоса использовалась для возбуждения люминесценции в образцах излучением лазерного InGaAs диода. Отметим, что максимум значения $\sigma_{\text{abs}} = 0.47 \times 10^{-20}$ см² достигается на длине волны 970.5 нм с FWHM = 1.8 нм. В области длин волн 1450–1650 нм расположена еще одна интенсивная полоса поглощения ионов Er³⁺ (рис. 2) с максимумом на длине волны 1524.0 нм ($\sigma_{\text{abs}} = 0.55 \times 10^{-20}$ см²), которая может быть использована для осуществления резонансного возбуждения ионов Er³⁺ на переходе $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$.

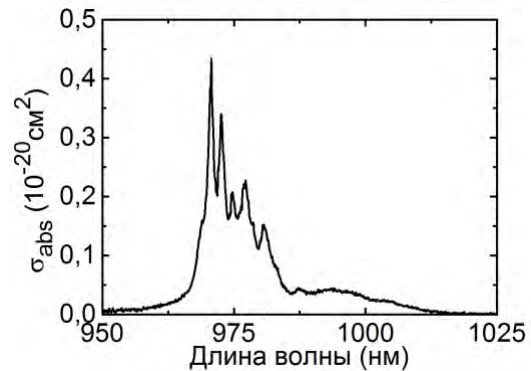


Рисунок 1 – Спектр поглощения кристалла 10 at.% Er³⁺:LiKYF₅ в области 950-1025 нм

Спектральная зависимость поперечных сечений вынужденного испускания σ_{SE} для перехода $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$, соответствующего излучению в области длин волн ~1.47-1.65 мкм, были получены при помощи метода соответствия [4]:

$$\sigma_{\text{SE}}(\lambda) = \sigma_{\text{abs}}(\lambda) \frac{Z_1}{Z_2} \exp\left(-\frac{hc/\lambda - E_{\text{ZL}}}{kT}\right),$$

$$Z_m \approx \sum_k \exp(-E_k^m / kT), \quad (1)$$

где E_k^m – энергии Штарковских подуровней для основного ($m = 1, ^4I_{15/2}$) и возбужденного ($m = 2, ^4I_{13/2}$) состояний [1], E_{ZL} – различие энергий между нижними подуровнями обоих мультиплетов, Z_m – статистические коэффициенты заселенности мультиплетов, k – постоянная Больцмана, T – температура (293 K), c – скорость света, λ – длина волны излучения.

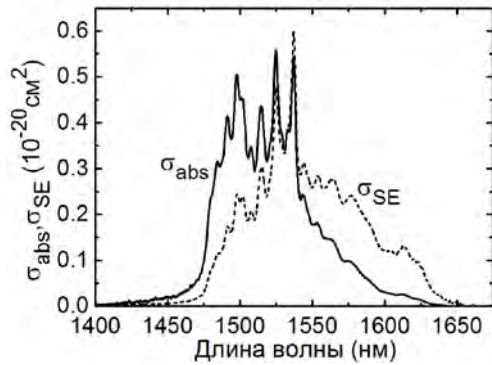


Рисунок 2 – Спектры поперечных сечений поглощения σ_{abs} и вынужденного испускания σ_{SE} , соответствующих переходам ${}^4I_{15/2} \leftrightarrow {}^4I_{11/2}$ ионов Er^{3+} в кристалле $LiKYF_5$

Результаты, полученные для кристалла $LiKY_{0.9}Er_{0.1}F_5$, приведены на рис. 2. Максимальное значение поперечного сечения вынужденного испускания $\sigma_{SE} = 0.61 \times 10^{-20} \text{ см}^2$ достигается на длине волны 1537.1 нм.

С целью определения времен жизни возбужденных состояний ионов Er^{3+} в кристаллах $LiKYF_5$ были зарегистрированы кинетические характеристики затухания люминесценции в ближней ИК области. Измерения проводились для кристаллов $LiKY_{0.98}Er_{0.02}F_5$ на длине волны возбуждения в 960 нм (рис. 3). Время затухания люминесценции из состояния ${}^4I_{11/2}$, измеренное на длине волны ~ 1020 нм, составляет $\tau_{exp} = 1.56$ мс. Затухание люминесценции из состояния ${}^4I_{13/2}$ регистрировалось на длине волны ~ 1540 нм, $\tau_{exp} = 7.1$ мс.

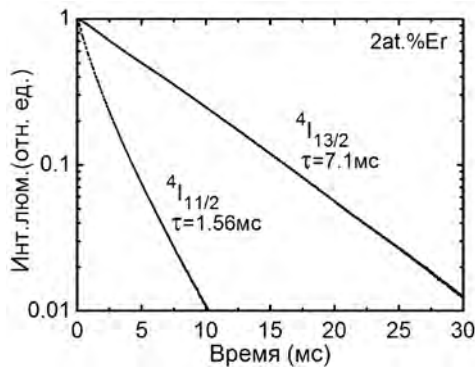


Рисунок 3 – Кинетика затухания люминесценции ионов Er^{3+} из состояний ${}^4I_{13/2}$ и ${}^4I_{11/2}$ для кристалла 2 at.% $Er^{3+}:LiKYF_5$

Радиационное время жизни τ_{rad} состояния ${}^4I_{13/2}$ было оценено при помощи модифицированного метода соответствия [4]:

$$\tau_{rad} = \frac{1}{8\pi n^2 c} \frac{Z_2}{Z_1} \frac{e^{-hc/(kT\lambda_{zL})}}{\int \lambda^{-4} \sigma_{abs}(\lambda) e^{-hc/(kT\lambda_{zL})} d\lambda}, \quad (2)$$

где n – показатель преломления кристалла, λ_{zL} – длина волны, соответствующая переходу между нижними Штарковскими подуровнями основ-

ного (${}^4I_{15/2}$) и возбужденного (${}^4I_{13/2}$) состояний. Радиационное время жизни составляет 10.5 ± 0.5 мс.

Для лазерного перехода ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ были определены спектральные зависимости поперечных сечений усиления:

$$\sigma_g(\lambda) = \beta \sigma_{SE}(\lambda) - (1 - \beta) \sigma_{abs}(\lambda). \quad (3)$$

Здесь $\beta = N_2/N_0$ – параметр, характеризующий инверсию населенностей, где N_2 и N_0 – объемная концентрация ионов Er^{3+} в возбужденном состоянии (${}^4I_{13/2}$) и полная объемная концентрация ионов Er^{3+} в кристалле, соответственно. Результаты, полученные при различных значениях β , приведены на рис. 4.

В условиях низкой инверсии населенностей ($\beta < 0.1$) в спектре усиления наблюдается максимум в области длины волны 1623 нм. С увеличением параметра β вплоть до значения 0.5, спектр усиления распространяется в коротковолновую область спектра, в котором появляется несколько локальных максимумов при ~ 1614 нм, 1579 нм и 1565 нм.

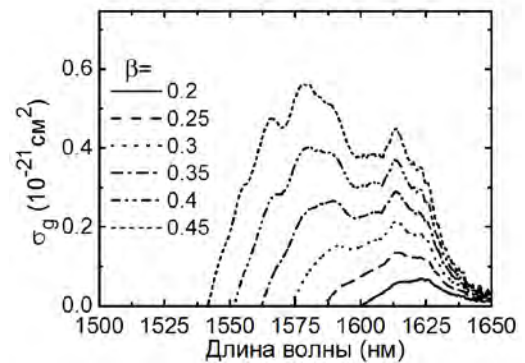


Рисунок 4 – Спектры поперечных сечений усиления σ_g для кристалла $Er^{3+}:LiKYF_5$, соответствующие переходу ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$

Таким образом, кристаллы $Er^{3+}:LiKYF_5$ обладают относительно большим временем жизни ионов Er^{3+} на верхнем лазерном уровне и высокими значениями поперечных сечений поглощения и вынужденного испускания для перехода ${}^4I_{15/2} \leftrightarrow {}^4I_{11/2}$, что делает их перспективными для разработки лазеров с резонансной накачкой, генерирующих в условно безопасной для глаз спектральной области 1.5–1.6 мкм. Соактивация кристаллов $LiKYF_5$ ионами Yb^{3+} и Er^{3+} перспективна для получения up- и down-конверсионных материалов [3].

1. A. Smith, J.P. Martin, M.J. Sellars, N.B. Manson, A.J. Silversmith, B. Henderson. Site selective excitation, upconversion and laser operation in $Er^{3+}:LiKYF_5$ // Opt. Commun. – 2001. – Vol. 188, No. 1. – P. 219-232.
2. P.A. Loiko, E.V. Vilejshikova, N.M. Khaidukov, M.N. Brekhovskikh, X. Mateos, M. Aguiló, K.V. Yumashev. Judd–Ofelt

modeling, stimulated-emission cross-sections and non-radiative relaxation in Er: K₂YF₅ crystals // J. Lumin. – 2016. – Vol. 180. – P. 103-110.

3. P.A. Loiko, N.M. Khaidukov, J. Méndez-Ramos, E.V. Vilejshikova, N.A. Skoptsov, K.V. Yumashev. Up- and down-conversion

emissions from Er³⁺ doped K₂YF₅ and K₂YbF₅ crystals // J. Lumin. – 2016. - Vol. 170. - P. 1-7.

4. A.S. Yasyukevich, V.G. Shcherbitskii, V.É. Kisel', A.V. Mandrik, N.V. Kuleshov. Integral method of reciprocity in the spectroscopy of laser crystals with impurity centers // J. Appl. Spectr. – 2004. – Vol. 71, No. 2. – P. 202-208.

УДК 535.34, 535.37

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ РОМБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ Eu:Li₂Mg₂(MoO₄)₃

Вилейшикова Е.В.¹, Лойко П.А.², Юмашев К.В.¹, Кулешов Н.В.¹, Павлюк А.А.³

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²KTH – Royal Institute of Technology

Stockholm, Sweden

³Институт неорганической химии СО РАН

Новосибирск, Россия

Кристаллы двойных и тройных вольфраматов и молибдатов привлекательны для активации трехвалентными ионами редких земель RE³⁺ = Yb³⁺, Tm³⁺, Ho³⁺ и др., для создания на их основе лазеров, излучающих в ближнем ИК диапазоне спектра. Недавно было показано, что кристаллы двойных вольфраматов, допированные ионами европия Eu³⁺, например, Eu:KY(WO₄)₂, обладают набором привлекательных спектроскопических свойств (высокими сечениями переходов в поглощении и испускании, высоким квантовым выходом люминесценции и стабильностью к изменению валентности ионов Eu³⁺ → Eu²⁺), что позволяет получать лазерную генерацию на данных кристаллах в красной области спектра [1, 2]. Нанокристаллы вольфраматов и молибдатов с ионами Eu³⁺ также находят применение как красные люминофоры.

В настоящей работе представлены результаты исследования спектрально-люминесцентных свойств нового кристалла литий-магниевого молибдата Li₂Mg₂(MoO₄)₃, активированного ионами Eu³⁺ (Eu:LiMgMo).

Рост кристаллов производился в ИНХ СО РАН. Кристаллы Eu:LiMgMo плавятся инконгруэнтно при температуре 1130 °С, что препятствует их синтезу традиционным методом Чохральского из стехиометрического расплава. В данной работе кристалл Eu:LiMgMo был выращен из высокотемпературного раствора в расплаве Li₂MoO₄ (метод TSSG). В качестве шихты использовались спеки, полученные из реагентов Li₂CO₃, MgO и MoO₃. Затравка была ориентирована вдоль кристаллографической оси [010]. Скорость вытягивания составляла 1–5 мм/сут, скорость вращения – 20–30 об/мин. Полученная буля показана на рис. 1. Выращенные кристаллы являются прозрачными с розоватым оттенком.



Рисунок 1 – Кристалл 0.4 ат.% Eu:LiMgMo

По данным рентгеноструктурного анализа, структура кристалла Eu:LiMgMo соответствует ромбической сингонии (структурный тип лионсита, пр. гр. *Pnma*, параметры решетки: $a = 5.085 \text{ \AA}$, $b = 10.482 \text{ \AA}$, $c = 17.614 \text{ \AA}$, $Z = 4$, $V = 938.799 \text{ \AA}^3$), см. рис. 2. Поперечное сечение кристаллической були имеет прямоугольную форму, вытянутую вдоль оси [100].

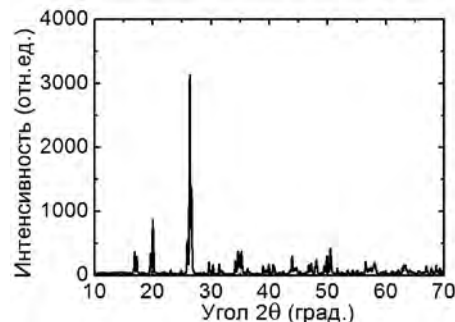


Рисунок 2 – Рентгенограмма порошка кристалла 0.4 ат.% Eu:LiMgMo

Концентрация Eu в шихте составила 10 ат.%. По данным метода Energy Dispersive X-ray (EDX) Spectroscopy, концентрация Eu в кристалле составила 0.4 ат.% (по отношению к ионам Mg²⁺, которые преимущественно замещаются ионами Eu³⁺). Низкий коэффициент сегрегации для

ионов Eu^{3+} $K_{\text{Eu}} \sim 0.04$ связан с тем, что их ионный радиус (0.947 Å для к.ч. = VI, соответствующего октаэдрам $(\text{Eu}/\text{Mg})\text{O}_6$ в структуре LiMgMo), существенно больше, чем соответствующий ионный радиус Mg^{2+} (0.72 Å).

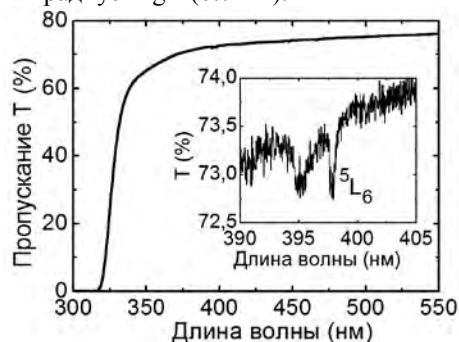


Рисунок 3 – Спектр пропускания кристалла 0.4 at.% $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$ (толщина 4 мм)

Для исследования оптических свойств кристаллов $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$ были приготовлены полированные пластинки, вырезанные перпендикулярно оси [010], толщиной 4 мм. Спектры поглощения и люминесценции измерялись в неполяризованном свете, при комнатной температуре.

В спектре оптического пропускания кристалла $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$, рис. 3, в области прозрачности кристаллической матрицы наблюдается несколько слабых полос поглощения, характерных для ионов Eu^{3+} , наиболее интенсивная из которых с максимумом при 397.8 нм (вставка на рис. 3) соответствует переходу ${}^7\text{F}_0 \rightarrow {}^5\text{L}_6$. Данная полоса поглощения позволяет возбуждать люминесценцию ионов Eu^{3+} излучением синих GaN лазерных диодов. УФ край оптического поглощения матрицы LiMgMo соответствует длине волны $\lambda_g = 320$ нм ($E_g = 3.9$ eV).

Спектр люминесценции ионов Eu^{3+} в кристалле LiMgMo при возбуждении на длине волны люминесценции 400 нм показан на рис. 4. Люминесценция Eu^{3+} связана с излучательными переходами из долгоживущего состояния ${}^5\text{D}_0$ в более низколежащие состояния ${}^7\text{F}_J$ ($J = 0-6$). В спектре отсутствуют полосы в синей области спектра, относящиеся к ионам Eu^{2+} .

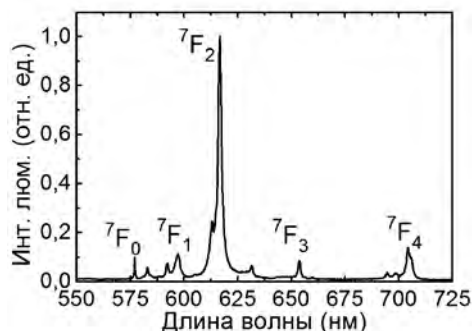


Рисунок 4 – Спектр люминесценции кристалла $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$, длина волны возбуждения 400 нм

Для иона Eu^{3+} переход ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$ является электрическим дипольным (ED) и он гипер-чувствителен к симметрии локального окружения иона. Преобладание по интенсивности данного перехода над магнитным дипольным (MD) переходом ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1$ говорит о преимущественно нецентральной симметрии ближайшего окружения иона Eu^{3+} . Параметр асимметрии люминесценции:

$$R = \frac{I_{\text{ED}}({}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2)}{I_{\text{MD}}({}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_1)}, \quad (1)$$

характеризующий степень искажения ближайшего окружения иона Eu^{3+} от центросимметричного, для кристалла $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$ равен $R = 7.8$. Данное значение несколько ниже, чем для ионов Eu^{3+} в моноклинных кристаллах двойных вольфраматов ($R = 10-13$).

Исследованы кинетические характеристики люминесценции ионов Eu^{3+} в кристалле LiMgMo при импульсном возбуждении на длине волны 532 нм в состояние ${}^5\text{D}_1$ (при этом ионы Eu^{3+} быстро безызлучательно релаксируют в более низколежащее состояние ${}^5\text{D}_0$), и регистрации люминесценции на длине волны 612 нм, см. рис. 5.

Кривая затухания люминесценции имеет типичный моноэкспоненциальный характер, время жизни уровня ${}^5\text{D}_0$ составляет $\tau({}^5\text{D}_0) = 0.537$ мс. Полученное время жизни близко к значениям $\tau({}^5\text{D}_0)$ для ионов Eu^{3+} в моноклинных кристаллах двойных вольфраматов (0.4–0.6 мс) [1,2].

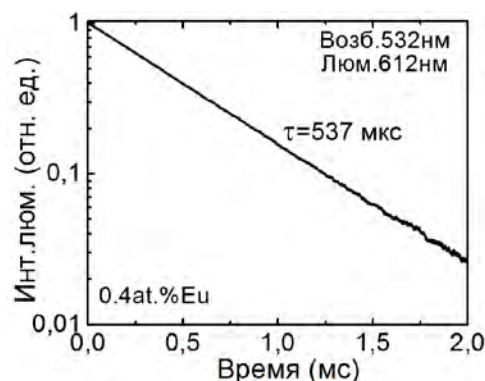


Рисунок 5 – Кинетика затухания люминесценции ионов Eu^{3+} для кристалла 0.4 at.% $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$

Согласно стандарту CIE 1931 (*Commission internationale de l'eclairage*), наблюдаемая люминесценция характеризуется цветовыми координатами ($x = 0.672$; $y = 0.328$) – красный цвет – с доминантной длиной волны $\lambda_d = 610$ нм и параметром чистоты цвета $p > 99\%$.

Перспективны исследования кристаллов LiMgMo с другими лазерными активными ионами, например Yb^{3+} или Tm^{3+} , для которых более вероятно получение лазерной генерации. Соединения же $\text{Eu}:\text{LiMgMo}$ и $\text{Eu}:\text{LiMgW}$,

синтезированные в форме нанокристаллов, представляют интерес как красные люминофоры [4].

1. P.A. Loiko, et al. Spectroscopic characterization and pulsed laser operation of Eu^{3+} : $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ crystal // *Laser Phys.* – 2013. – Vol. 23. No. 10. – P. 105811.
2. V.I. Dashkevich, et al. Red $\text{Eu,Yb:KY}(\text{WO}_4)_2$ laser at ~ 702 nm // *Laser Phys. Lett.* – 2015. – Vol. 12. No. 8. – P. 085001.
3. V.A. Trifonov, et al. Growth and spectroscopic characteristics of $\text{Li}_2\text{Mg}_2(\text{MoO}_4)_3$ and $\text{Li}_2\text{Mg}_2(\text{MoO}_4)_3:\text{Co}^{2+}$ crystals // *Inorg. Mater.* – 2013. – Vol. 49. No. 5. – P. 517–519.
4. Z. Mu, et al. Red phosphor $\text{Li}_2\text{Mg}_2(\text{WO}_4)_3:\text{Eu}^{3+}$ with lyonsite structure for near ultraviolet light-emitting diodes // *Displays.* – 2016. – Vol. 43. – P. 18–22.

УДК 535.34, 535.37

СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ $\text{Eu}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ДЛЯ КРАСНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ

Вилейшикова Е.В.¹, Хорт А.А.², Подболотов К.Б.², Лойко П.А.⁴, Шиманский В.И.³, Юмашев К.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет

³Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

⁴KTH – Royal Institute of Technology
Stockholm, Sweden

Кристаллы гранатов $\text{RE}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, где RE = Y, Gd или Lu, широко используются в качестве лазерных кристаллических материалов, а также как основа для порошковых и керамических люминофоров. Они обладают высокой механической и радиационной устойчивостью и привлекательными люминесцентными свойствами различных ионов-активаторов, например, Eu^{3+} , для применения в красных люминофорах [1]. В настоящей работе представлены результаты исследования спектрально-люминесцентных свойств и структуры керамических люминофоров на основе нанопорошков $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, легированных ионами Eu^{3+} .

Образцы $\text{Eu}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ были синтезированы методом экзотермического горения в растворах (SCS) стехиометрических смесей нитратов соответствующих металлов и восстановителей. В качестве восстановителей использовалась смесь карбамида (U) и глицина (G) в мольном отношении U:G = 2.778:1. Стехиометрические количества нитратов лутеция, алюминия, европия и восстановители в количествах, необходимых для соблюдения соотношения восстановитель / окислитель $\phi = 1.25$ были растворены в малом количестве горячей бидистиллированной воды. В полученный раствор при постоянном перемешивании медленно приливался раствор аммиака до получения значения pH = 6.5–7. После этого образовавшийся гель быстро обезвоживался в микроволновой печи до получения пены. Затем прекурсор материала в термостойком стакане помещался в предварительно разогретую до 600 °C муфельную печь, где в течении 10–15 сек началась экзотермическая реакция горения, сопро-

вождающаяся выделением большого объема газообразных продуктов реакции. В результате горения образовывался легкий рыхлый порошок. Синтезированный порошок измельчался и для дальнейшего исследования делился на три равные порции, две из которых прокаливались на воздухе при температурах 800 °C и 1150 °C, соответственно.

Синтез порошков осуществлялся для соотношения реагентов, обеспечивающих стехиометрическую формулу $(\text{Lu}_{0.7}\text{Eu}_{0.3})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, т.е. активацию материала 30 at.% Eu^{3+} .

С целью исследования структурно-фазовых превращений, протекающих во время синтеза $\text{Eu}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, были проанализированы рентгенограммы, зарегистрированные для исходного порошка и для прокаленных образцов. Согласно полученным результатам, рис. 1, образцы кристаллизовались в кубическую структуру (пр. гр. Ia-3d) с близкими параметрами кристаллической решетки a.

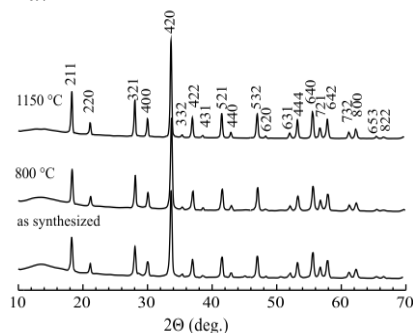


Рисунок 1 – Рентгенограммы нанопорошков $\text{Eu}:\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ до и после термической обработки

В процессе термической обработки (т.о.) исходного порошка параметры структуры несущественно изменялись. Уточненные методом Ритвелда параметр a , объем кристаллической ячейки V и средний размер кристаллитов d приведены в табл. 1. Рост температуры прокаливания приводит к увеличению d от 26 нм (для непрокаленного порошка) до 37 нм (для порошка, прокаленного при $T = 1150^\circ\text{C}$).

Таблица 1 – Параметры кристаллической ячейки $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$.

Образец	a , Å	V , Å ³	d , нм
исходный	11.9300	1697.94	26
т.о. 800°C	11.9221	1694.46	29
т.о. 1150°C	11.9309	1698.32	37

SEM-изображения порошков зарегистрированы на растровом электронном микроскопе LEO1455VP при ускоряющем напряжении 20 кВ в режимах регистрации отраженных и вторичных электронов. Элементный состав порошков определялся на основе рентгеноспектрального микроанализа (EDX) на микроанализаторе Oxford Instruments X-Max^N, работающего совместно с растровым электронным микроскопом.

Анализ изображений показывает, что морфология нанопорошков характерна для материалов, полученных по методу экзотермического горения. Образец представляет собой агломераты высокопористых образований. В следствие того, что материалы на основе $\text{R}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ характеризуются высокими значениями температуры начала плавления ($>1600^\circ\text{C}$) т.о. приводит к укрупнению кристаллитов, но не их спеканию. На рис. 2 приведены SEM-изображения, полученные для образца, прокаленного при температуре 1150°C . Элементный состав полученных порошков подтвержден при помощи метода EDX.

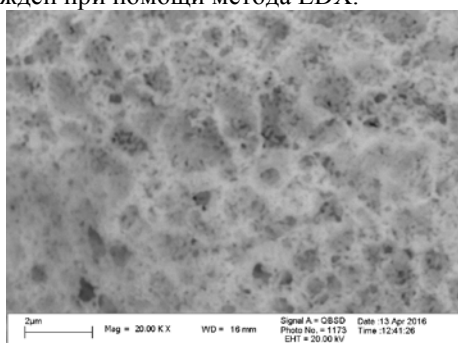


Рисунок 2 – Микроструктура порошка $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, прокаленного при $T = 1150^\circ\text{C}$. Изображение получено при помощи сканирующего электронного микроскопа

На рис. 3 приведены спектры люминесценции ионов Eu^{3+} в порошках $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ при возбуждении на длине волны 400 нм при помощи синего GaN лазерного диода. В спектрах для

непрокаленного порошка и порошков, прошедших термическую обработку, наблюдается ряд узких пиков со спектральным положением 573.7 нм (переход $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_0$ для ионов Eu^{3+}), 587.5 нм и 592.2 нм ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$), 605.7 и 626.7 нм ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$), 646.1 нм ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3$) и 692.1 нм и 705.6 нм ($^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_4$).

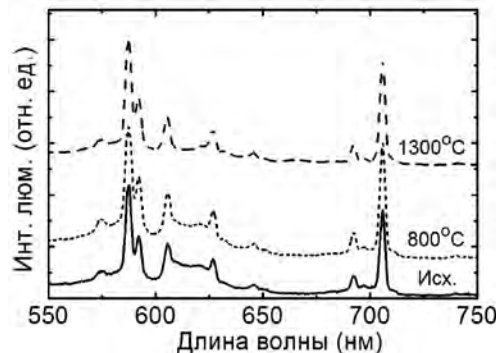


Рисунок 3 – Спектры люминесценции нанопорошков $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ до и после термической обработки, длина волны возбуждения 400 нм

Распределение интенсивностей в спектрах люминесценции характерно для ионов Eu^{3+} в высокосимметричном кубическом окружении. Переход $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$ по характеру принято считать магнитным дипольным (MD). Пользуясь известными значениями вероятности $A_{\text{MD}} = A_{\text{MD}(\text{vac})}n^3 = 90 \text{ c}^{-1}$ ($A_{\text{MD}(\text{vac})}$ – вакуумное значение вероятности магнитного дипольного перехода [2], $n \approx 1.84$ – показатель преломления материала) и определенными экспериментальными значениями коэффициентов ветвления люминесценции B_{JJ} , можно оценить вероятности остальных переходов, а также радиационное время жизни состояния $^5\text{D}_0$, $\tau_{\text{rad}} = 5.4$ мс. Результаты приведены в табл. 2. Ненулевое значение вероятности перехода $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3$ интерпретируется как вклад действия кристаллического поля, который может также объяснить появление в спектре слабого пика, относящегося к переходу $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_0$, также запрещенному по правилам отбора для магнитных и электрических дипольных переходов.

Таблица 2 – Вероятности излучательных переходов ионов Eu^{3+} из состояния $^5\text{D}_0$ для нанопорошков $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (т. о. при $T = 1150^\circ\text{C}$).

Переход	λ , нм	A_{JJ} , c^{-1}	B_{JJ} , %	A_{tot} , c^{-1}	τ_{rad} , мс
$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_1$	591	90 ^{MD}	41	185	5.4
$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$	605	22 ^{ED}	10		
$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_3$	630	20	9		
$^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_4$	700	53 ^{ED}	24		

Параметры Джадда-Офельта, оцененные на основе полученных вероятностей, составили $\Omega_2 = 0.35 \times 10^{-20} \text{ см}^2$ и $\Omega_4 = 1.84 \times 10^{-20} \text{ см}^2$.

Согласно стандарту CIE 1931, люминесценция непрокаленного порошка и образцов, прокаленных при $T = 800$ °C и 1150 °C, характеризуется цветовыми координатами ($x = 0.608$; $y = 0.392$) с доминантной длиной волны $\lambda_d = 594$ нм, ($x = 0.594$; $y = 0.406$) и $\lambda_d = 592$ нм, ($x = 0.589$; $y = 0.411$) и $\lambda_d = 590$ нм, соответственно.

Высокие значения параметров чистоты цвета (красный, по системе CIE 1931) зарегистрированной люминесценции делают синтезированные нанопорошки $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ перспективным материалом для разработки на их основе красных люминофоров. Дальнейшая работа с данными материалами будет направлена на их допирова-

ние парой ионов (Yb^{3+} , Eu^{3+}) для реализации up- и down-конверсионных процессов.

1. D. Uhlich, P. Uppertz, D.U. Wiechert, T. Jüstel. Preparation and characterization of nanoscale lutetium aluminium garnet (LuAG) powders doped by Eu^{3+} // Opt. Mater. – 2007. –Vol. 29. No. 11. – P. 1505-1509.
2. С.М. Dodson, R. Zia. Magnetic dipole and electric quadrupole transitions in the trivalent lanthanide series: Calculated emission rates and oscillator strengths // Phys. Rev. B. – 2012. – Vol. 86. No. 12. – P. 125102.

УДК 621.385.6

НОВАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОАКУСТИЧЕСКОЙ ИНТРОСПЕКЦИИ

Волкенштейн С.С.¹, Керенцев А.Ф.², Рубцевич И.И.², Хмыль А.А.³

¹ОАО «Планар-СО»

²ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

³УО БГУИР

Минск, Республика Беларусь

Метод лазерной фотоакустической (ЛФА) интроспекции разрабатывался и доказал эффективность контроля качества и диагностики неисправностей во всём диапазоне сборочных операций при производстве изделий электронной техники и микроэлектроники (ИЭТиМЭ) применительно ко всем типам неразъёмных соединений, используемых в монтажных конструкциях приборов [1].

Такие широкие возможности обеспечиваются координатными системами пространственного сканирования (X , Y) охватывающими диапазон перемещений более четырёх порядков от 51200 мкм до единиц микрометра, обеспечивая пространственное X , Y разрешение от 200 мкм до $0,5$ мкм. При этом также предусмотрена возможность изменения диаметра пятна сфокусированного лазерного импульсного ультрафиолетового излучения от 2 до 200 мкм.

Высокая чувствительность данного метода к нарушению сплошности неразъёмных соединений в монтажных конструкциях позволяет качественно оценить адгезионные свойства различных систем металлизационных покрытий. Отличные результаты в своё время были получены при проведении контроля металлизированных шин СВЧ транзисторов (рис. 1) [2].

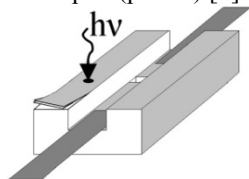


Рис. 1. Общий вид кристаллодержателя СВЧ транзистора с отслоением металлизации на шине

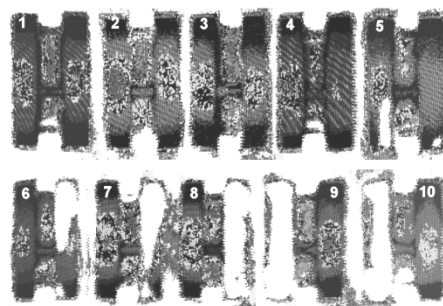


Рис. 2. Лазерные фотоакустические топограммы кристаллодержателей СВЧ транзистора: годных (1, 2, 3, 4) и с отслоением металлизации на шине (5, 6, 7, 8, 9, 10). Пространственное разрешение X , Y – 50 мкм

Импульсное ($\tau = 10$ нс) нормальное зондирование поверхности металлизации 10 приборов проводилось ультрафиолетовым ($\lambda = 337$ нм) пучком (рис. 1) с шагом регистрации фотоакустического отклика на теневой стороне равным 50 мкм. В результате на топограммах (рис. 2) визуализировались области отслоения металлизации (белый цвет), а также особенности её тонкой структуры.

В данном случае при помощи ЛФА интроспекции была проведена качественная оценка адгезии без разрушения образцов, что позволяет провести многочисленные повторные оценки после различных тестов и проследить динамику влияния внешних воздействий на состояние адгезионного покрытия. Это позволит спрогнозировать эксплуатационную надёжность испытуемого изделия.

Задача оценки адгезии различных покрытий выходит далеко за пределы микроэлектронной отрасли.

В качестве примера можно привести stealth-технологии, где зачастую применяются радиопоглощающие покрытия (РПП). РПП изготавливается, как правило, в виде слоев радиопоглощающего материала (РПМ), нанесенных на металлическую или диэлектрическую подложку, которая представляет собой поверхность защищаемого изделия. Нанесение слоев РПМ традиционно производится путем сухого распыления с последующей сушкой каждого слоя. Толщина каждого слоя и количество слоев определяется заданными условиями получения РПП, определяющими необходимые конкретные параметры покрытия. Одной из важных задач при создании РПМ является требование высокого коэффициента поглощения и одновременно низкого отражения в широком диапазоне длин волн. Важными свойствами радиопоглощающего покрытия являются их термостойкость, эластичность, коррозионная стойкость, стойкость к другим экстремальным условиям, к которым относятся воздействие повышенных и пониженных температур, воздействие повышенной влажности, солевого (морского) тумана, термическое старение покрытия при низких и высоких температурах, циклическое изменение температуры окружающей среды.

Реализованная на действующем оборудовании возможность макросканирования образцов на поле 5x5 см позволяет получить достоверные данные при исследовании опытных образцов покрытий и оценки их физико-механических свойств при воздействии наиболее критичных климатических факторов. В конечном счёте, это позволит точно прогнозировать эксплуатационную надёжность конкретной реализации технологического решения.

Ещё одной областью со схожими проблемами является создание различных биметаллических соединений.

В настоящее время разработано большое количество всевозможных силовых элементов, принцип работы которых основан на реализации эффектов памяти формы (ЭПФ). В процессе осуществления обратного мартенситного превращения они в заданной последовательности способны восстанавливать предварительно заданную деформацию различного типа. В основном эти элементы представляют собой взаимосвязанную пару из сплава с ЭПФ и упругого контртела. От жесткости контртела зависит рабочий ход и усилие, развиваемое рабочим телом с ЭПФ. В связи с этим, актуальной является задача разработки композитов, сочетающих функции исполнительного механизма с ЭПФ и контртела, в частности, получение биметаллических

конструкций.

Процесс соединения никелида титана с другими материалами, особенно с нержавеющей сталью, довольно труден. При сварке нитинола образуются хрупкие интерметаллические фазы, которые значительно уменьшают силу соединения [3, 4]. С точки зрения технологии материала, самым многообещающим способом для соединения TiNi является метод высокоскоростного деформирования (сварка взрывом).

В качестве образца исследования было взято трёхслойное соединение TiNi-сталь обеспечивающее высокие термоупругие и возвратные характеристики силовых элементов, работающих на эффекте памяти формы (рис. 3).

Слой металла наносился друг на друга методом сварки взрывом в два этапа. Вначале проводили сварку пластин TiNi-сталь, затем на двухслойный пакет наносился третий слой – нержавеющая сталь [5].

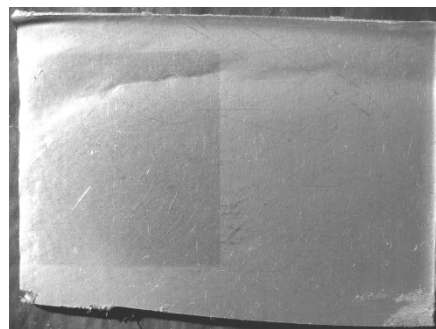


Рис. 3. Внешний вид трёхслойного образца TiNi-сталь со стороны стали

На рис. 3 приведен внешний вид исследуемого образца, на поверхности которого за счёт абляционного воздействия импульсного лазерного излучения на поверхностные загрязнения отобразилась область сканирования 25,6x23,5 мм.

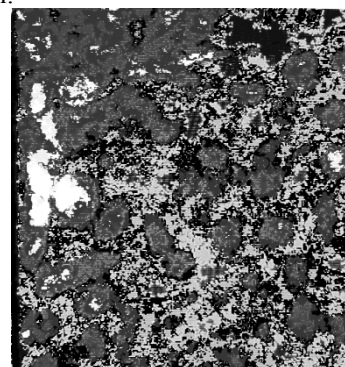


Рис. 4. Лазерная фотоакустическая топограмма трёхслойного образца TiNi-сталь со стороны стали

На лазерной фотоакустической топограмме (рис. 4) исследуемого трёхслойного образца

TiNi-сталь зарегистрирован кривой излом в верхней части поля сканирования, что явно коррелирует с внешним видом при визуальном осмотре образца. Дальнейшие исследования требуют проведения верификации, тестовых испытаний и анализа полученных результатов.

1. Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Неразрушающие методы контроля качества монтажа полупроводниковых кристаллов в корпуса ИМС. Технологии в электронной промышленности, №2, 2011 г., с. 18-22
2. Волкенштейн С.С., Турцевич А.С., Соловьёв Я.А., Керенцев А.Ф., Хмыль А.А. Формирование и контроль системы металлизации Mo-Ni-Au на бериллиевой керамике. V Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2012», Минск, Беларусь, 2012 г. с. 256-258
3. Schlobmacher P., Haas T., Schubler A. Laser-welding of a Ni-rich NiTi shape memory alloy // SMST-97: Proceedings Conference, California, 2-6 March 1997 / Ed. by A.Pelton.- Asilomar, California, 1997.- P. 137-142.
4. Schubler A. Micro-machining and joining of NiTi-alloys using Nd:YAG lasers // SMST-97: Proceedings Conference, California, 2-6 March 1997 / Ed. by A.Pelton.- Asilomar, California, 1997.- P. 143-148.
5. Рубаник В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В.мл., Петров И.В., Рубаник О.Е. Получение трехслойных соединений сталь-Ti-Ni сваркой взрывом // Актуальные проблемы прочности. XLVI Международная конф. Тез. докл. Витебск, 15-17 октября 2007 г. – С.330-331.

УДК 621.315

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР С ГЛУБОКИМИ МНОГОЗАРЯДНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Формирование приборных структур многофункциональных датчиков (МФД) на основе собственных полупроводников с глубокими многозарядными примесями возможно и традиционными методами, широко используемыми при формировании активных слоев с высокой концентрацией примеси. Однако процессы формирования активных слоев МФД на основе собственных полупроводников отличаются специфическими требованиями и для них желательно использовать ряд технологических операций, оптимизированных для формирования слоев с высокой чистотой примесного состава при низкой концентрации примеси.

Электронные свойства приборных структур, формируемых в собственных полупроводниках, в значительной степени зависят от метода их получения. Так, например, свойства активных слоев ряда МФД на основе собственных полупроводников формируются низкими концентрациями глубоких примесей с несколькими зарядовыми состояниями, но в той же области энергий образуются локализованные состояния, связанные с вводимыми при технологической обработке дефектами. Различные технологические операции характеризуются и различным составом, и концентрацией сопутствующих дефектов.

В отличие от традиционных, газоразрядный метод легирования, использующий в качестве материала электродов примесные элементы, позволяет получить легирующие примеси непосред-

ственно в установке диффузии или эпитаксиального наращивания. В качестве газа, в котором формируется разряд, используют инертные газы, которые не являются легирующими примесями, в качестве источника легирующих примесей используют сильнолегированный электрод в форме пластины (электрода-мишени). Легирующий элемент появляется в газовой среде за счет катодного распыления электрода-мишени при ионной бомбардировке. В дальнейшем ионы легирующего элемента ионизируются и внедряются в пластину.

Этот метод обеспечивает высокую чистоту процесса. Степень легирования легко управлять электрическими параметрами газового разряда и тем самым можно получать заданные распределения примесей в процессе эпитаксиального наращивания. Собственно, газоразрядный метод легирования обычно использует искровой или тлеющий разряды, часто при атмосферном давлении. Кроме того, плазма может быть возбуждена и с помощью лазерного излучения. Получение легирующей примеси непосредственно в процессе легирования позволяет избавиться от применения высокотоксичных соединений, которые к тому же являются нестабильными, например, диборан как соединение устойчив не более 2-х месяцев. Все это приводит к неконтролируемому легированию при использовании смесей.

Газоразрядные методы легирования лишены недостатков методов жидкостного легирования, индивидуальных легирующих соединений в потоке транспортирующего газа, газовых смесей. К преимуществам газоразрядных методов легирования относятся: возможность внедрения ряда элементов при отсутствии токсичных газов, более точный контроль условий легирования и меньшая степень загрязнения формируемых слоев.

Газоразрядный метод легирования позволяет получить легирующие примеси из материала электродов непосредственно в технологической установке. Этот метод при использовании электродов из примесных элементов обеспечивает высокую чистоту процесса. Степень легирования легко управлять электрическими параметрами газового разряда. Если электроды выполнены из различных материалов, то смена полярности разряда приведет и к смене вводимой в полупроводник примеси. При этом возможно формирование слоев с чередующимся типом проводимости.

Конструктивно основу технологической установки составляет диодная система, образованная сильнолегированным электродом-источником примеси, и размещенная в технологическом реакторе со средствами прокачки и напуска газов.

Наиболее просто реализуется искровой газовый разряд, он характеризуется большей интенсивностью процесса внедрения примеси, но он хуже управляем и не позволяет достичь тех же значений качества, которые реализуются в тлеющем разряде. Искровой метод легирования эпитаксиальных структур обладает рядом существенных недостатков: 1) применение искрового разряда для газоразрядного легирования приводит к заметному увеличению числа дефектов упаковки за счет образования аэрозолей; 2) управлять током искрового разряда с необходимой степенью точности невозможно; 3) в случае искрового разряда происходит значительное разрушение поверхности электродов, что приводит к изменению геометрии газоразрядного промежутка, а это, в свою очередь, вызывает изменение тока газового разряда, что обуславливает неконтролируемое легирование. Указанные недостатки могут быть исключены, если для осуществления газоразрядного легирования эпитаксиальных структур использовать тлеющий разряд. Поэтому в технологических установках необходим постоянный контроль процесса газового разряда для предотвращения перехода тлеющего разряда в искровой. В газоразрядных методах легирования фактором, ограничивающим применимость того или иного материала для легирования, является не его давление паров, как в традиционных методах, а электрическая про-

водимость электрода, который и является источником внедряемой примеси. Но и это ограничение снимается при возбуждении плазмы в области мишени-электрода с помощью лазерного излучения. Физические процессы, связанные с поглощением лазерного излучения в твердых телах, существенно разнятся для диэлектриков (прозрачные материалы) и металлов (сильно поглощающие материалы) только при сравнительно небольших плотностях мощности оптического излучения. С возрастанием плотности потока излучения диэлектрик также становится непрозрачным, и наблюдающиеся явления становятся близкими по своей физической природе. При некоторой пороговой плотности потока лазерного излучения поглощенная энергия превышает энергию связи атомов в веществе и энергию ионизации, в результате чего слой облучаемого вещества превращается в плазму. Сильно ионизированная плазма эффективно поглощает лазерное излучение, что приводит к ее значительному разогреву. Из-за большого градиента давления вещество выбрасывается с облученной поверхности мишени. При этом не важно, какими свойствами, диэлектрическими или металлическими, обладает мишень. Характерное время развития лавинной ионизации слабо зависит от начальной и конечной концентрации электронов и составляет около 10^{-10} с, что значительно меньше длительности импульсов технологических лазеров, например, длительности импульса лазера в режиме модулированной добротности (около 10^{-8} с). Это означает, что степень ионизации лазерной плазмы, образующейся при воздействии лазерного излучения с плотностью потока более 10^9 Вт/см², практически равна 100 %.

При использовании тлеющего разряда в газоразрядном легировании тлеющий разряд возбуждается в потоке водорода. В процессе развития разряда происходит изменение температуры и плотности газа, и, связанное с этим, перемещение зон ионизации. Характер разряда зависит от скорости газового потока. При увеличении скорости потока выше некоторого критического значения, разряд скачкообразно переходит в диффузную форму, характеризующуюся высокой степенью однородности. Критическая скорость потока газа увеличивается с ростом тока разряда. Однородность и воспроизводимость параметров формируемых слоев существенно выше при диффузной форме тлеющего газового разряда, поэтому важно поддерживать скорость прокачки газа выше критического значения. Уровень легирования слабо зависит от межэлектродного промежутка, и определяется в основном током разряда. Изменяя ток разряда можно управлять скоростью внедрения легирующей примеси в широких пределах, до нескольких десятков раз.

Газоразрядные методы легирования, включая лазерный метод возбуждения плазмы на поверхности мишени, отличаются тем, что легирующее соединение синтезируется в плазме тлеющего разряда между электродами, содержащими материал требуемой примеси. Это позволяет проводить контролируемое легирование полупроводниковых структур, расширяет диапазон концентрации вводимых примесей, дает возможность получать эпитаксиальные слои с количеством дефектов упаковки на несколько порядков меньше, чем это возможно в случае искрового метода, улучшает качество эпитаксиальных структур, позволяет создавать многослойные полупроводниковые структуры с заданным градиентом концентрации по глубине каждого слоя, поддается автоматизации. Исходя из требований, предъявляемых к структурам многофункциональных датчиков на основе собственных полупроводников (германия и кремния) с глубокими

многозарядными примесями (*Cu, Pt, Au, Ni, Fe, Se, S*), которые должны содержать минимально возможное количество структурных дефектов, низки требуемым уровнем легирования, можно сделать вывод, что газоразрядные методы легирования с лазерной инициализацией плазмы, хотя и не являются единственно пригодными, но желательными технологическими методами формирования активных слоев МФД.

5. Газоразрядные технологии легирования позволяют исключить из технологического процесса такие высокотоксичные химические соединения, как арсин, фосфин, диборан. Отказ от гидридов и галогенидов легирующих элементов позволяет проводить процесс плазменного легирования без специальных мер безопасности, убрать из процесса дорогостоящие высокочистые токсичные, пожаро- и взрывоопасные газы, упростить техпроцесс и снизить затраты.

УДК 544.22+544.08

ДАТЧИКИ ДИОКСИДА АЗОТА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ WO_3 - In_2O_3

Гайдук Ю.С.¹, Реутская О.Г.², Савицкий А.А.¹, Таратын И.А.³

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский национальный технический университет

³ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»,
Минск, Республика Беларусь

Полупроводниковые резистивные датчики на основе SnO_2 , In_2O_3 , WO_3 , ZnO и др. оксидов широко применяются для обнаружения и определения концентрации различных газов. В работе [1] исследовалось влияние добавки In_2O_3 в количестве 1,5, 3,0 и 5,0 % мас. на газочувствительные свойства WO_3 . Соответствующие композиции были получены твердофазным высокотемпературным синтезом из коммерчески доступных WO_3 и $InCl_3$. В интервале температур 100 – 200 °С датчики были селективны к NO_2 , при этом наибольшей чувствительностью к 4 ppm NO_2 в воздухе, превышающей 170 %, обладал состав, содержащий 3 % мас. In_2O_3 [1, рис. 2]. Целью нашей работы стало изучение структурных и газочувствительных свойств композиции оксидов вольфрама (WO_3) и индия (In_2O_3), полученных золь-гель методом. Золь-гель метод позволяет получать наноразмерные материалы с высокой однородностью и развитой удельной поверхностью, что особенно важно для оксидных газочувствительных материалов.

Методика эксперимента. Гель вольфрамовой кислоты получен из 1,23М р-ра вольфрамата натрия и 12М р-ра азотной кислоты. $Na_2WO_4 \times 2H_2O$ по каплям добавляли к раствору HNO_3 . При термическом разложении геля образуется нанокристаллический триоксид вольфрама.

Оксид индия In_2O_3 получали осаждением 9,24М р-ром аммиака гидроксида индия из 0,78 М р-ра $In(NO_3)_3 \times 4,5H_2O$. Отжиг высушенного при комнатной температуре ксерогеля в интервале 200 – 800 °С приводил к получению нанокристаллического In_2O_3 . Полученные золи смешивались в необходимых пропорциях для получения пористых газочувствительных наноконструкций, содержащих 3, 25, 50, 95, 99 % In_2O_3 .

С целью изучения газочувствительных свойств исследованных композиций были изготовлены двухэлектродные датчики (Рис. 1).

Газовые датчики были изготовлены по стандартной технологии следующим образом: на кремниевую пластину осаждалась методом магнетронного распыления платина. Затем производились процессы фотолитографии, ионно-лучевого травления платины с целью формирования нагревателей и электродов. Затем производили травление подложки для разделения на кристаллы 1,3 × 1,3 мм с одновременным формированием в них мембраны и сквозных участков, разварку в корпус платиновой проволоки диаметром 20–35 мкм, нанесение чувствительных слоев, приклеивание газопроницаемого колпака с сеткой из нержавеющей стали. Чувствительные слои после нанесения отжигали при 450–600 °С в течение 72 ч.

Чувствительность (сенсорный отклик) S , % определяли по формуле $S = (R_a - R_g)/R_a \times 100$ % при воздействии газовой смеси, содержащей CO и пропан, и по формуле $S = (R_g - R_a)/R_a \times 100$ % при воздействии газовой смеси, содержащей диоксид азота.

Рентгенографические исследования проводились при помощи дифрактометра ДРОН-3 (Co-K α_1 -излучение). ОКР (размер кристаллитов) определяли по формуле Дебая–Шеррера.

Обсуждение результатов. Термообработка ксерогеля вольфрамовой кислоты ($H_2WO_4 \times H_2O$) в интервале 200 – 800 °С (2 ч) приводит, по данным РФА, к образованию моноклинной структуры оксида вольфрама WO_3 . С увеличением температуры наблюдается рост степеней кристаллизации и увеличение области когерентного рассеяния (ОКР), размеры которой принято соотносить с физическим размером кристаллитов, от 60 – 70 нм при 200 °С до 200 нм при 800 °С.

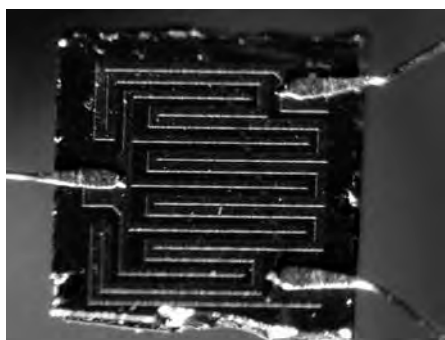


Рис. 1. Внешний вид Si-подложки с Pt-нагревателем и измерительными электродами газового датчика (увеличение, без чувствительного слоя)

Исследования методом РФА полученных золь-гель методом образцов оксида индия, показали формирование (на стадии фильтрации и сушки при 20 °С ксерогеля) аморфной, слабокристаллизованной структуры гидроксида индия $In(OH)_3$. Последующий отжиг при повышенных температурах (200 – 800 °С) приводит к образованию In_2O_3 . Для образца, отожженного при 200 °С, ОКР составила 10 – 12 нм, при 300 °С – 20 нм, при 450 °С – 35 нм, а при 800 °С – 50 нм. При совместном отжиге смесей порошков оксидов индия и вольфрама формируется гетерогенный материал, состоящий из фаз: $C-In_2O_3$ (PDF 6–416) и моноклинного WO_3 . (JCPDS 71–2141). Отжиг при 800 °С и выше приводит к образованию $In_2(WO_4)_3$.

Полупроводниковый слой из чистого WO_3 в составе газовых датчиков с рабочей температурой до 250 °С демонстрирует определённую чувствительность к различным газам окислительной и восстановительной природы, в т.ч. к CH_4 , C_3H_8 , CO, NO_2 [2].

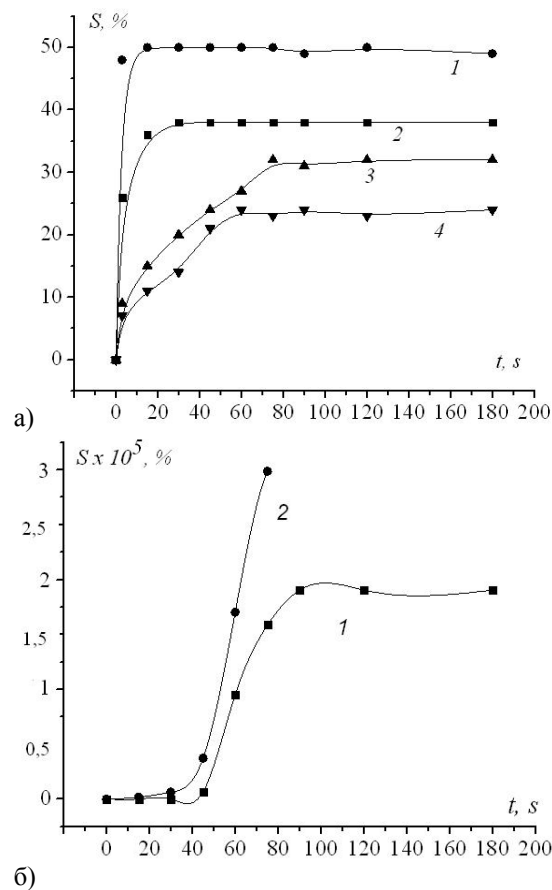


Рис. 2. Зависимость сенсорного отклика от времени пропускания газовой смеси: а) In_2O_3 ; 1 – 80 ppm CO/воздух, 131 мА; 2 – 80 ppm CO/воздух, 121 мА; 3 – 4 ppm NO_2 , 121 мА; 4 – 4 ppm NO_2 , 131 мА б) 1 – In_2O_3 , 4 ppm NO_2 , 71 мА; 2 – $WO_3 + 3\%$ In_2O_3 , 4 ppm NO_2 , 51 мА

Наибольшую чувствительность к диоксиду азота обладают датчики, содержащие в составе газочувствительного слоя 1 – 5 % мас. In_2O_3 . При увеличении содержания оксида индия снижается как чувствительность, так и селективность датчиков к NO_2 . Высокое время возврата для указанных слоев может быть в значительной мере уменьшено путём оптимизации топологии подложки или специальным режимом работы прибора, предусматривающем возможность кратковременного отжига при повышенной температуре.

Вместе с тем, датчики, содержащие 1 – 5 % мас. WO_3 , также демонстрируют сравнительно высокую чувствительность к NO_2 при низких рабочих температурах, и обладают при этом удовлетворительными временами срабатывания и восстановления. Для датчиков, содержащих 25, 50, 75 % мас. In_2O_3 характерна сравнительно невысокая газовая чувствительность и низкая селективность к диоксиду азота.

Композиция $WO_3 + 3\%$ мас. In_2O_3 демонстрирует более низкие отклики к 80 ppm CO и 20 ppm C_3H_8 во всем исследованном интервале то-

ков нагрева (11 – 131 мА, наибольший $S = 18\%$ при 131 мА для CO и 3 % для C_3H_8 при 111 мА).

Все исследованные датчики характеризуются также низким энергопотреблением (не более 30 мВт при токе нагрева 51 мА).

Выводы. Высокая газовая чувствительность ($S \leq 2 \times 10^5$ %) полученной золь-гель методом оксидной композиции $WO_3-In_2O_3$, превышающая чувствительность исходных оксидов, позволяет её применение для формирования чувствительных элементов селективных газовых датчиков NO_2 с низким порогом чувствительности (1 ppm и менее), рабочей температурой < 200 °С, низкой чувствительностью к газам-восстановителям. По сравнению с чистыми WO_3 и In_2O_3 композиция обладает значительно большей чувствительно-

стью и селективностью к NO_2 , а также существенно меньшей рабочей температурой.

1. Khatko, V. Gas sensing properties of nanoparticle indium-doped WO_3 thick films / V. Khatko, E. Llobet, X. Vilanova, J. Brezmes, J. Hubalek, K. Malysz, X. Correig // Sens. Actuators B. Chem. – 2012. – Vol. 111 – 112. – P. 45 – 51.
2. Гайдук Ю.С., Реутская О.Г., Таратын И.А., Савицкий А.А., Стрижаков Д.А. Газовые сенсоры на основе композиций WO_3 с Co_3O_4 и многостенными углеродными нанотрубками: Материалы 8 Междунар. конф. «Приборостроение-2015», Минск, 25–27 ноября 2015 г. Т. 1 / Белорусский национальный технический университет; под ред. О.К. Гусев [и др.]. – Мн., 2015. С. 67 – 69. – 320 с.

УДК 519.63

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛЕНКАХ TiAlN ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Гацкевич Е.И.¹, Ивлев Г.Д.², Людчик О.Р.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

Одними из наиболее перспективных покрытий, используемых для упрочнения режущего инструмента, являются покрытия на основе TiAlN [1]. В частности, эти покрытия обладают высокой тепло- и износостойкостью, а также более высокой стойкостью к окислительному износу по сравнению с существующими покрытиями [1]. Для оптимизации свойств указанных покрытий используют различные способы их нанесения и последующей обработки [2,3]. Недавно [4] было проведено экспериментальное исследование эффектов модификации тонких пленок TiAlN на кремнии воздействием интенсивного наносекундного излучения рубинового лазера. Установлено, что в определенном интервале плотностей энергии лазерного облучения системы TiAlN/Si ниже установленного порога разрушения/абляции субмикронной пленки TiAlN наблюдается изменение морфологии покрытия. Наблюдаемая трансформация строения/морфологии пленки является следствием релаксационных процессов, происходящих в поле значительных (термостимулированных) механических напряжений, которые обусловлены нагревом пленки во время действия лазерного импульса.

Цель настоящей работы заключается в анализе методом численного моделирования применительно к экспериментальной ситуации [4] термостимулированных процессов лазерного воз-

действия, приводящих к модификации структурного состояния пленок TiAlN/Si.

Для моделирования процессов нагрева и остывания численно решалось нелинейное уравнение теплопроводности. В условиях эксперимента [4] плотность энергии падающего излучения равномерно распределена по облучаемой зоне образца (радиус зоны облучения $r_0=4$ мм), что позволяет ограничиться одномерным приближением. Временная форма (гаусс) и длительность лазерного импульса (70 нс по уровню 0,5) соответствовали эксперименту. Конкретные расчеты проводились для образца TiAlN/Si с толщиной пленки нитрида 0,5 мкм.

В расчете учитывались температурные зависимости теплофизических параметров пленки и подложки. Для коэффициентов отражения и поглощения TiAlN использовались экспериментальные данные, полученные в работе [4], отражательная способность $R=28\%$ и коэффициент поглощения $\alpha=1,7 \cdot 10^5$ см⁻¹.

Уравнение теплопроводности для системы пленка – подложка решалось в конечных разностях методом прогонки по неявной разностной схеме. В результате вычислений получены данные о пространственно-временной эволюции температуры в нагреваемом слое системы TiAlN/Si при ряде плотностей энергии лазерного облучения. На рисунке 1 представлено распределение температуры по глубине в момент достижения пиковой температуры поверхности и в

момент окончания импульса (140 нс) при облучении образцов лазерными импульсами с различными плотностями энергии W .

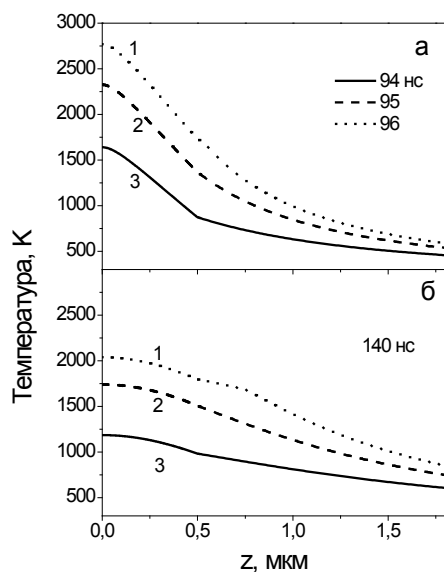


Рисунок 1- Распределение температуры по глубине в момент достижения максимальной температуры (а) и в момент окончания импульса (б) при плотностях энергии облучения 1(1), 0,8 (2) и 0,5 Дж/см² (3)

Согласно [4] при $W=0,5$ Дж/см² каких-либо изменений в морфологии плёнки не наблюдается. В этом режиме лазерного воздействия расчётная пиковая температура поверхности составляет 1640 К. На границе пленка-подложка максимальная температура равна 1020 К. При увеличении W до 0,6 Дж/см² происходит морфологическое изменение состояния пленки с образованием системы латеральных ячеек микронных размеров (в среднем 1,8 мкм), превышающих толщину самой плёнки TiAlN, причём средний размер ячеек уменьшается примерно в 2 раза с увеличением W до 0,8 – 0,9 Дж/см² [4].

Для оценки термоупругих напряжений, возникающих при наносекундном лазерном нагреве, воспользуемся аналитическими выражениями из работы [5]. В центре зоны облучения ($r=0$) для составляющих тензора напряжений σ можно использовать выражения:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr}(z) = \sigma_{\varphi\varphi}(z) = & -\frac{E\alpha_T}{(1-\nu)} [T'(z) \\ & - \frac{(\nu-1)r_0^2}{3} \int_0^D dz' T'(z) \mu\pi \quad (1) \\ & + \frac{3z^2 r_0^2}{2(z^2 + r_0^2)^{\frac{5}{2}}} \int_0^D dz' T'(z)], \end{aligned}$$

где E и ν - модули Юнга и Пуассона, α_T - коэффициент линейного расширения, D - глубина прогрева. $T'(z)=T(z)-T_0$, $T_0=300$ К – начальная температура. Расчетные данные для рассмотренных выше режимов облучения, полученные по формуле (1), показаны на рисунке 2.

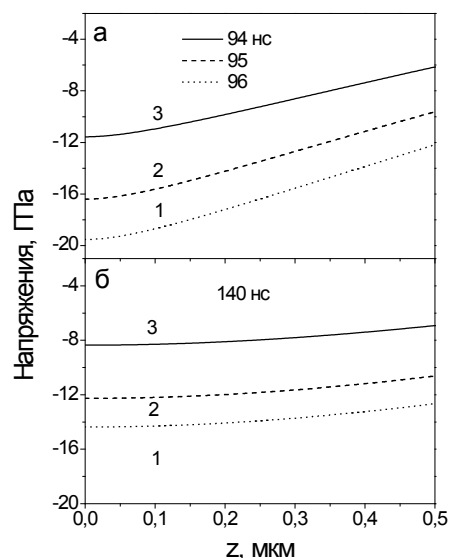


Рисунок 2 – Распределение термоупругих напряжений по оси лазерного пучка в пленке TiAlN. Обозначения те же, что на рисунке 1

Наряду с термоупругими напряжениями в пленке будут также присутствовать напряжения несоответствия, обусловленные различием между параметрами решетки пленки и подложки. Согласно справочным данным параметр кристаллической решетки пленки $a_f = 0,423$ нм [6], для кремниевой подложки $a_s = 0,543$ нм. Напряжения несоответствия можно оценить по формуле [7]

$$\sigma_f = \frac{E}{(1-\nu)} \frac{(a_s - a_f)}{a_f}. \quad (2)$$

Внутренние напряжения в пленке действуют в плоскости параллельно её свободной поверхности и являются напряжениями сжатия, как и термоупругие напряжения. Расчетное значение σ_f соответствует значению порядка 200 ГПа. Указанная оценка является завышенной, то есть соответствует верхнему пределу внутренних напряжений. В действительности в значения внутренних напряжений будут вносить вклад дополнительные напряжения, возникающие в пленке в результате пластической деформации. Релаксационные процессы, связанные с пластической деформацией, существенно снижают внутренние напряжения в пленке.

Экспериментальные значения предела текучести σ_T соответствуют значению 12,26 ГПа [6].

Таким образом, возникающие в пленке TiAlN на кремниевой подложке термоупругие напряжения при импульсных лазерных воздействиях сравнимы по величине с пределом текучести TiAlN покрытий, что может быть причиной морфологических изменений в пленке.

1. Локтев, Д. Основные виды износостойких покрытий / Д. Локтев, Е. Ямашкин // Наноиндустрия.-2007.-№5.-С.24-30.
2. Получение и свойства покрытий TiAlN на стали / Ф.Ф. Комаров [и др.]// Ползуновский альманах.-2014.-№2.-С.10-15.
3. Влияние структуры напыляемых слоев TiN и AlN на свойства нанокompозитного TiAlN покрытия/ А.Н. Броздниченко [и др.]// Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. -2006. –Т.6, №15.-С. 64-68.
4. Воздействие наноимпульсного лазерного излучения на тонкие пленки TiAlN/Si /

Г.Д.Ивлев [и др.] // Взаимодействие излучений с твёрдым телом. Материалы 11-й Международной конференции. Минск, Беларусь, 23-25 сентября 2015 г. Минск, Издательский центр БГУ, 2015.- С.33-35.

5. Гацкевич, Е.И. Термоупругие напряжения в поверхностных слоях при наносекундном нагреве // ИФЖ.-1991.-Т.60, №2.-С.344.
6. Табаков, В.П. Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана / В.П. Табаков, А.В. Чихранов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010.-Т.12, №4.-С.292-297.
7. Овидько, И.А. Релаксация напряжений несоответствия путем зернограничной диффузии в нанокристаллических пленках / И.А. Овидько, Н.В. Скиба, А.Г. Шейнерман // Materials Physics and Mechanics.-2009.-V.8. – P.149-154.

УДК 681

ГАЗОВЫЙ СЕНСОР С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЕ

Горох Г.Г.¹, Захлебаева А.И.¹, Ткач А.Н.¹, Реутская О.Г.², Хатько В.В.², Таратын И.А.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

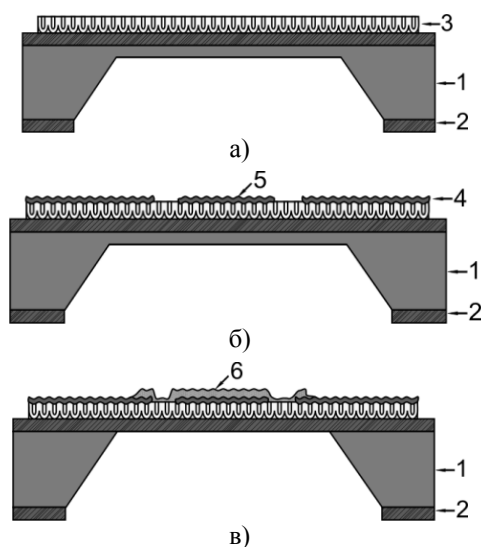
Исследован газовый сенсор с низким энергопотреблением на двухслойной диэлектрической мембране с тонким слоем анодного оксида алюминия. Представлена технология изготовления газового сенсора на наноструктурированной мембране Si_xN_y/Al_2O_3 . Исследованы отклики сенсора к 1 ppm CO при различных температурах нагрева чувствительного слоя. Определен оптимальный режим работы сенсора

Для минимизации потребляемой мощности полупроводниковых газовых сенсоров их изготавливают на тонких диэлектрических мембранах, формируемых в кремниевых подложках по МЭМС-технологии [1]. Стандартная технология формирования мембран на основе оксида и нитрида кремния обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить плохое согласование термомеханических свойств используемых материалов и их плохую адгезию к нитриду кремния [2]. Одним из способов решения данных проблем является формирование двухслойных мембран с высокоупорядоченным диэлектрическим слоем на основе анодного оксида алюминия (АОА), который за счет пористой структуры обеспечивает высокую адгезию и хорошее согласование термомеханических свойств используемых материалов [3]. Изготовление газовых сенсоров на двухслойных Si_xN_y /АОА мембранах позволяет уменьшить тепловые потери на нагрев

сенсоров до рабочих температур за счет упорядоченной структуры АОА, ограничивающей распространение тепла по подложке [4]. В настоящей работе представлена технология изготовления тонкопленочного сенсора на комбинированной Si_xN_y /АОА мембране, исследованы его структурные и функциональные характеристики.

Технологический маршрут изготовления сенсора на комбинированной мембране включает в себя три технологических блока. Первый блок объединяет операции формирования мембраны Si_xN_y /АОА (рис. 1, а): очистка поверхности Si, осаждение слоя Si_xN_y , фотолитография и локальное плазмохимическое травление Si_xN_y с непланируемой стороны подложки до Si, анизотропное щелочное травление Si, напыление Al и его двухстадийное электрохимическое анодирование. Ко второму блоку относятся операции по изготовлению платинового нагревателя и информационных электродов к чувствительному слою (рис. 1, б): напыление слоя Pt на поверхность АОА и его ионно-лучевое травление. Хорошая адгезия платины к пленке оксида алюминия позволяет избежать применения адгезионных слоев, что в свою очередь улучшает стабильность Pt нагревателя, работающего при высокой температуре, по сравнению с Si микронагревателями [4]. Третий блок включает в себя операции нанесения и термооб-

работки полупроводникового чувствительного слоя $\text{In}_2\text{O}_3\text{-GaO}_2$ (рис. 1, в).



1 – Si подложка; 2 – Si_xN_y ; 3 – АОА; 4 – Pt электроды; 5 – Pt нагреватель; 6 – $\text{In}_2\text{O}_3\text{-GaO}_2$

Рис. 1 – Технология изготовления газосенсора на двухслойной мембране $\text{Si}_x\text{N}_y/\text{AOA}$

Разработанная конструкция сенсора представляет собой Si подложку площадью $1,35 \times 1,35$ мм и толщиной 0,38 мм, в центре которой сформирована диэлектрическая мембрана размером $400 \times 400 \times 1,7$ мкм (рис. 2, а), состоящая из 0,8 мкм слоя Si_xN_y и 0,9 мкм слоя АОА (рис. 2, б). На планарной стороне мембраны сформирован Pt нагреватель и информационные электроды к чувствительному слою $\text{In}_2\text{O}_3\text{-GaO}_2$.

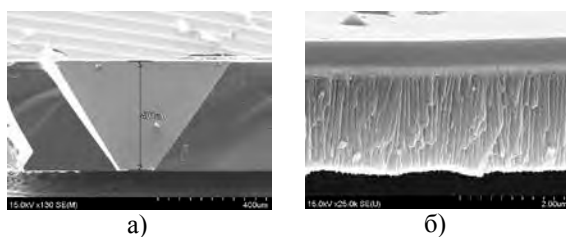


Рис. 2 – Микрофотографии поперечного сечения Si подложки с мембраной (а), мембраны $\text{Si}_x\text{N}_y/\text{Al}_2\text{O}_3$ (б)

Изучение теплопроводности изготовленных структур показало, что при нагреве сенсора максимум температуры локализован в области чувствительного элемента и не выходит за пределы мембраны (рис. 3). При этом температура края кремниевой подложки, а также контактных площадок для АОА пористостью 10% в 2 раза, а для АОА пористостью 70% в 3 раза ниже температуры чувствительного слоя [4].

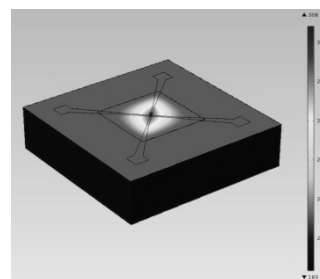


Рис. 3 – Распределение температурного поля в конструкции сенсора на двухслойной мембране

Исследования вольт-амперных характеристик сенсоров на двухслойной мембране показали снижение потребляемой мощности сенсоров на 21% с увеличением пористости АОА до 70% [4].

Сформированные сенсорные структуры исследовали на чувствительность к воздействию 1 ppm CO. На рис. 4 представлены временные зависимости сенсорного отклика сформированных структур при температурах нагрева чувствительного слоя 300°C (кривая 1) и 340°C (кривая 2). Температуре нагрева чувствительного слоя 300°C соответствовала величина потребляемой мощности сенсора 14,0 мВт, а температуре 340°C – 15,4 мВт.

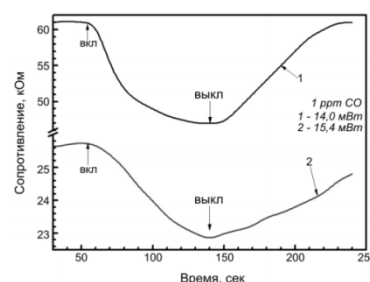


Рис. 4 – Отклики сенсора, сформированного на двухслойной мембране $\text{Si}_x\text{N}_y/\text{AOA}$, на 1 ppm CO

Величину сенсорного отклика определяли как разность между сопротивлением сенсора при воздействии активного газа (R_{gas}) и сопротивлением сенсора в воздухе (R_{air}). Чувствительность сенсора 1 ppm CO была рассчитана как процентное отношение R_{gas} и R_{air} : $S = [(R_{air} - R_{gas}) / R_{gas}] \times 100\%$ и составила 23,08% для потребляемой мощности сенсора 14,0 мВт и 9,73% для потребляемой мощности сенсора 15,4 мВт. Нагрев чувствительного слоя до температур свыше 300°C приводит к уменьшению чувствительности сенсора, увеличению его потребляемой мощности и ухудшению вида кривой сенсорного отклика (рис. 4).

Формирование газовых сенсоров на наноструктурированных двухслойных диэлектрических мембранах из нитрида кремния и анодного оксида алюминия позволяет решить проблему адгезии и согласования термических и механических свойств используемых материалов, повысить чувствительность и уменьшить потребляе-

мую мощность. Изготовленные структуры показали хорошие отклики на 1 ppm CO, при этом для работы сенсора в оптимальном режиме температура нагрева чувствительного слоя не должна превышать 300°C. Чувствительность сенсора к 1 ppm CO в этом случае составляет 23,08% при потребляемой мощности 14,0 мВт. Нагрев чувствительного слоя до температур выше 300°C приводит к уменьшению чувствительности сенсора, увеличению его потребляемой мощности и ухудшению вида кривой сенсорного отклика.

1. Semiconductor type MEMS gas sensor for real-time environmental monitoring applications / S.E. Moon, N.-J. Choi, H.-K. Lee [et al.] // ETRI Journal. – 2013. – Vol. 35. – Iss. 4. – P. 617-624.
2. Васильев, А.А. Технология «Нано-на-микро». Улучшение характеристик газовых сенсоров / А.А. Васильев, И.М. Олихов,

Н.Н. Сомтаев // Электроника. Наука, технологии, бизнес. – 2011. – №1(00107). – С. 36-44.

3. Пути снижения потребляемой мощности тонкопленочных химических сенсоров / Г.Г. Горох, А.И. Захлабаева, И.А. Таратын, О.Г. Реутская, В.В. Хатько // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: КрыМиКо`2015: Материалы 25-й Международной Крымской конференции, Севастополь, 6–12 сентября 2015 г. : в 2 т. – Севастополь, 2015. – Т. 1. – С. 645–648.
4. Маломощный газовый сенсор на наноструктурированной диэлектрической мембране / Е.А. Белогуров, В.В. Хатько, Г.Г. Горох, А.И. Захлабаева, О.Г. Реутская, И.А. Таратын // Нано- и микросистемная техника. – 2015. – № 6. – С. 34–42

УДК 519.210

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ТРЕЩИНЫ ОБЩЕГО ВИДА

Гундина М.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Рассматривается неподвижная трещина в бесконечной пластине, материал которой предполагается упругопластическим, упрочняющимся по степенному закону, несжимаемым, в условиях плоской деформации. Исследуется напряженно-деформированное состояние в малой окрестности конца трещины общего вида.

Заметим, что под трещиной общего вида понимается прямолинейная неподвижная трещина-разрез, произвольно ориентированная по отношению к нагрузкам на бесконечности.

Задача решается методом асимптотических разложений по малому параметру, где в качестве малого параметра используется расстояние от вершины трещины. При рассмотрении процесса разрушения необходимо находить асимптотики полей напряжений и деформаций, которые являются предельным представлением решений краевых задач у вершины трещины. В этом случае, напряжения и деформации представляются в виде разложений по степеням расстояния от вершины трещины. Единственной возможностью построения таких разложений для упругопластических задач является реализация итерационного процесса: вначале задача решается для нахождения первого члена ряда, затем находится второй член разложения и т.д.

С целью исследования основных закономерностей деформирования упругопластического материала для сравнения используем решение упругопластической задачи в рамках деформационной теории методом конечных элементов.

С целью исследования основных закономерностей деформирования упругопластического материала у вершины трещины при растяжении используем решение упругопластической задачи в рамках деформационной теории методом конечных элементов. Построим модель для задачи о растяжении плоскости, ослабленной прямолинейной трещиной.

Бесконечную плоскость заменим квадратом достаточно большого размера. Размеры квадрата будем выбирать так, чтобы была возможной замена бесконечной области конечной. Можно рассматривать квадрат $-a \leq x \leq a, a \leq y \leq a$. Проанализировав аналитическое решение задачи, можно сделать вывод, что при удалении от края отверстия на величину a концентрация напряжений быстро уменьшается. Локальный характер оправдывает возможность сравнения решений, полученных для бесконечной пластины и пластины конечных размеров. В задачах теории упругости и пластичности [1,2], если ширина пластины превышает на порядок длину трещины, то разница в решениях по наиболее чувствительному параметру σ_φ не превысит 6%.

Объектом численного исследования служила пластина высотой 200 мм, длиной 200 мм с трещиной длиной $l = 20$ мм. Размеры пластины были приняты схожими как в [1].

Поскольку в пакете SolidWorks плоский образец представляем, как приближение пространственного с малой толщиной пластины. Толщина

пластины удовлетворяет следующему соотношению: $l \geq 0,6W$, где W – ширина брутто-сечения образца, т.е. в нашем случае W можно взять равным 10 мм.

Зададим на границе рассматриваемого квадрата давление, соответствующее одноосному растяжению пластины в -70МПа .

Поскольку трещину можно представить в виде отверстия в форме эллипса с полуосями l, b . То дальнейшие расчеты в нелинейной постановке будут проводиться на сформированной расчетной схеме, содержащей трещину с

конечным радиусом кривизны $\rho = \frac{b^2}{l}$, где l, b

– полуоси эллипса, который в приближении дает прямолинейную трещину. Отношение этого радиуса к длине трещины l примерно составляет $\rho/l = 10^{-3}$, т.е. $b^2 = \rho l = 10^{-2}\text{мм}$.

После того, как будут полученные значения напряжений и деформаций, соотнесем их к величине коэффициента интенсивности K^2/G^2 .

В качестве материала для пластины выбрана сталь Х6СrNiTi18-10, иностранный аналог близкий к стали Сталь марки 12Х18Н9Т, рассмотренной в данной работе.

Поскольку материал должен обладать способностью к пластическому деформированию, в качестве модели пластического течения примем модель Мизеса с изотропным упрочнением для численного решения.

В качестве материала для пластины выбрана сталь Х6СrNiTi18-10. На рисунках представлены распределения безразмерных компонент напряжений для стали с упругопластическими характеристиками:

$$G = 77000 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2},$$

$B_2 = 3.2124114 \cdot 10^{-6}$ при нагрузке $P = 70\text{МПа}$ (рис. 1-3).

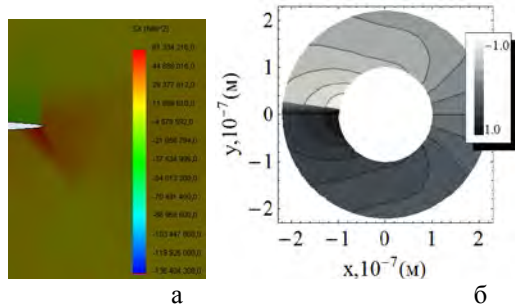


Рисунок 1 – Распределение напряжений σ_{11} :
а – полученные методом конечных элементов;
б – полученные методом асимптотических разложений

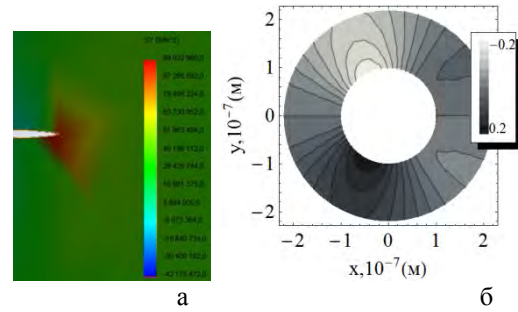


Рисунок 2 – Распределение напряжений σ_{22} :
а – полученные методом конечных элементов;
б – полученные методом асимптотических разложений

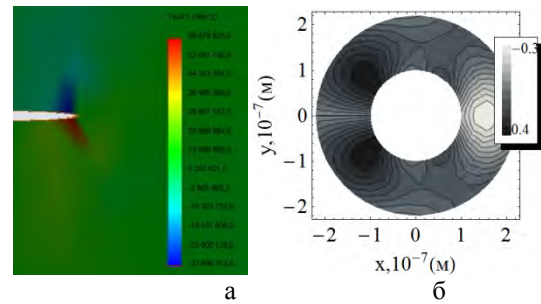


Рисунок 3 – Распределение напряжений σ_{12}
а – полученные методом конечных элементов;
б – полученные методом асимптотических разложений

Влияние отверстия носит локальный характер: с увеличением отдаления от отверстия напряжения σ_{22} приближаются к значению P .

Следует отметить, что максимальное напряжение принимает наибольшие значения не при $\varphi = 0$, а при $\varphi = -\pi$. Среднее напряжение достигает своего наибольшего значения при $\varphi = -\pi$.

Исследование распределения окружной компоненты напряжений $\sigma_{\varphi\varphi}$ показывает, что максимум имеет место в направлении предполагаемого развития трещины. Наблюдается схожая с полученной в работе [3] картина распределения нормальных компонент тензора напряжений: напряжения убывают по мере удаления от конца трещины.

На определенном удалении от вершины трещины по длине трещины наблюдается более равномерное распределение касательных напряжений.

Противоположная ситуация возникает для нормальных напряжений. В непосредственной окрестности вершины касательные напряжения имеют минимальные значения для трещины нормального отрыва и общего вида, в то же время для поперечного сдвига они достигают максимального значения, но при удалении от трещины быстро уменьшаются. При увеличении радиуса скорость изменения касательных напряжений уменьшается.

Рассмотренное в работе асимптотическое решение сравнивается с приближенным решением, полученным методом конечных элементов. Сравнивая численное и аналитическое решения, можно объяснить различия в значениях тем, что при использовании численного метода имеем дело с сеткой конечных элементов.

Проявляются следующие закономерности:

- увеличение внешней нагрузки сопровождается разрастанием пластической области;
- при фиксированной нагрузке в более мягком материале появляется большая пластическая область.

УДК 621.373.826:535.54

НЕПРЕРЫВНЫЙ ТУЛИЕВЫЙ МИКРОЧИП ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ, ИЗЛУЧАЮЩИЙ В ОБЛАСТИ 1,95 МКМ

Гусакова Н.В., Демеш М.П., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Ивашко А.М.

НИИ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одним из актуальных направлений лазерной физики в настоящее время является создание лазерных систем, работающих в спектральном диапазоне 1.9 мкм. Для этих целей широко применяются лазерные кристаллы, активированные ионами тулия. Освоение данного спектрального диапазона открывает благоприятные перспективы решения ряда прикладных задач, таких как: дистанционное зондирование атмосферы, экологический мониторинг окружающей среды, развитие медицинских технологий, создание систем оптической связи. Кроме того, излучение с длиной волны более 2 мкм может быть эффективно преобразовано в средний ИК-диапазон (3-8 мкм) с помощью нелинейных кристаллов.

В последнее время все больше внимания уделяется разработке эффективных микрочип-лазеров, способных работать без системы активного охлаждения. Это обусловлено компактностью, простотой конструкции и сравнительно низкой стоимостью данных систем. Ранее микрочип-лазеры были реализованы на ряде кристаллов легированных ионами тулия например, на основе матриц: YVO_4 [1], $YLiF_4$ [2], $YAlO_3$ [3], YAP [4], $KY(WO_4)_2$ [5].

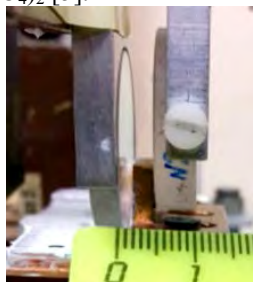


Рис. 1 – Фотография микрочип лазера

1. Timoshenko, S.P. Theory of Elasticity / S.P. Timoshenko, J.N. Goodier. – NY: McGraw-Hill –1970. - С. 100-209.
2. Морозов, Е.М. Техническая механика разрушения – 1997. – 390 с.
3. Subramanya, H. Y., Viswanath, S., Narasimhan, R., A three- dimensional numerical study of mixed mode (i and ii) crack tip fields in elastic-plastic solids / H.Y. Subramanya, S. Viswanath, R. Narasimhan // International Journal of Fracture. – 2005. – P. 167–184.

В настоящей работе была получена эффективная генерация на основе кристалла $Tm(13.2 \text{ ат}\%):KLuW$. На рисунках 1 и 2 представлены фотография и схема макета микрочип лазера.

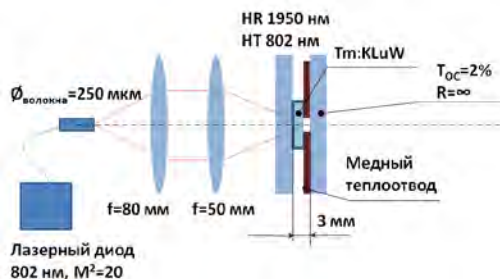


Рис. 2 – Схема микрочип лазера

Накачка осуществлялась лазерным диодом ($M^2=20$) с длиной волны 802 нм, что соответствует максимуму в спектре поглощения ($EINm$) кристалла $Tm:KLuW$. Диаметр волокна лазерного диода – 250 мкм. Система фокусировки излучения накачки, состоящая из двух линз, обеспечивала диаметр перетяжки в активном элементе 150 мкм. Кристалл толщиной 0.5 мм был вырезан вдоль оси оптической индикатриссы N_g . Лазерный элемент был закреплен на медном теплоотводе таким образом, что входное зеркало резонатора подводилось вплотную к торцу активного элемента. Между выходным зеркалом и активным элементом был воздушный зазор 2.5 мм. Лазер работал в непрерывном режиме генерации. Пропускание выходного зеркала составляло $T=2\%$. Зависимость выходной мощности от падающей мощности накачки показана на рисунке 3. Максимальная выходная мощность лазера составила 576 мВт.

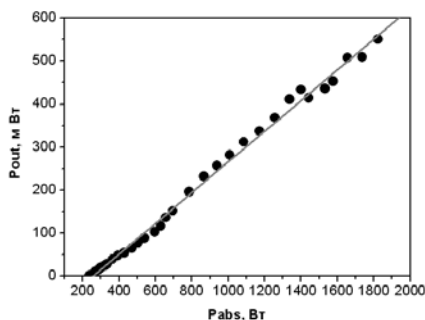


Рис. 3 – Зависимость выходной мощности микрочип Tm(13.2 ат%):KLuW лазера от поглощенной мощности накачки

На рисунке 4 представлен спектр лазерной генерации при падающей мощности накачки 1 Вт.

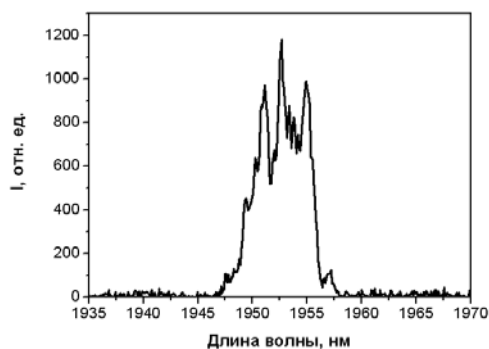


Рис. 4 – Спектр генерации микрочип лазера при падающей мощности накачки 1 Вт

На рисунке 5 представлен спектр усиления для Nm поляризации при относительной заселенности верхнего лазерного уровня 10.5%. Пунктирной линией показаны потери в резонаторе. Как видно из представленных данных, лазерная генерация возникла в области максимума в спектре усиления.

Порог генерации лазера наблюдался при 292 мВт падающей мощности накачки. В кристалле поглощалось ~70% падающей мощности накачки. Дифференциальная эффективность по поглощенной мощности накачки составляла 36%. Лазер работал в режиме генерации TEM₀₀ моды. Генерируемое излучение было поляризовано вдоль оптической индикатрисы Nm.

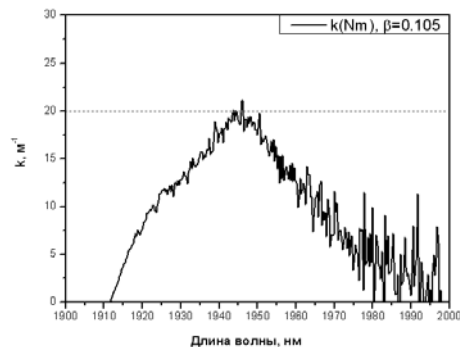


Рис. 5 – Спектр усиления кристалла Tm(13.2 ат%):KLuW для Nm поляризации, при относительной заселенности верхнего лазерного уровня 10.5%

Таким образом, была получена эффективная генерация на основе кристалла Tm:KLuW в микрочип конфигурации с диодной накачкой. Сравнительно высокая концентрация ионов тулия (13.2 ат.%) позволила использовать тонкий активный элемент и реализовать эффективное охлаждение кристалла, как результат, снизить термооптические напряжения. Максимальная выходная мощность лазера ограничивалась максимальной мощностью накачки.

1. Tm:YVO₄ microchip laser/ J. J. Zayhowski, J. Harrison, C. Dill III, and J. Ochoa // Applied Optics, –1995.–Vol. 34, Issue 3, P. 435-437.
2. LD-pumped Ho,Tm:YLF microchip laser / Jing-hua Sun and Xin-lu Zhang// Journal of Marine Science and Application, Volume 2, Number 1, 71-75, 2003.
3. Comparative investigations on continuous wave operation of a-cut and b-cut Tm,Ho:YAIO₃ lasers at room temperature/ H. Bromberger, K.J. Yang, D. Heinecke, T. Dekorsy, L.H. Zheng, J. Xu, and G. J. Zhao // Appl. Phys. – 2008.
4. Room-temperature cw and pulsed operation of diode-end-pumped Tm:YAP laser/ S.S. Cai, J. Kong [et al.] // Appl. Phys. – 2008. – P. 133-136.
5. Thermal lensing and microchip laser performance of N_g-cut Tm³⁺:KY(WO₄)₂ crystal / M.S. Gaponenko, P.A. Loiko, N.V. Gusakova, K.V. Yumashev, N.V. Kuleshov, A.A. Pavlyuk // Appl. Phys. B, P. 603-607, 2012.

МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ Bi – Sn – Ag

Гусакова О.В.¹, Шепелевич В.Г.², Гусакова С.В.²¹Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ²Белорусский государственный университет,

Минск, Республика Беларусь

Ограничение на использование легкоплавких припоев, содержащих опасные для человека и окружающей среды свинец, кадмий и другие компоненты, вызвали проведение исследований по разработке новых припоев. К таким припоям относятся и эвтектические сплавы систем Sn – Bi, Sn – In, и такие сплавы составы которых незначительно отличаются от эвтектического [1,2]. Качество пайки при использовании указанных припоев можно улучшить, используя дополнительное легирование третьим компонентом [3-5]. Компоненты, заменяющие свинец в припоях, значительно дороже свинца, что повышает себестоимость новых припоев. Поэтому при изготовлении бессвинцовых припоев целесообразно применение ресурсо- и энергосберегающих технологий, к которым относится и сверхбыстрое охлаждение жидкой фазы со скоростью не менее 10^5 К/с [6,7]. Быстрозатвердевшие сплавы могут быть получены в виде фольг толщиной в несколько десятков микрон, что позволяет расширять область применения припоев, а также автоматизировать процесс пайки [8]. В данной работе представлены результаты исследования микроструктуры быстрозатвердевших фольг сплавов системы висмут-олово, дополнительно легированных серебром.

Сплав Bi – 62 ат.% Sn легировался серебром, их состав определялся формулой $(Bi - Sn)_{100-x}Ag_x$ ($x=0.8, 1.5$ и 3.0). Капля расплава выплескивалась на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра [7]. При затвердевании получалась фольга длиной до 15 см и шириной до 10 мм. Для исследования использовались фольги толщиной 30...70 мкм. Средняя скорость охлаждения расплава, как показал расчет [6], выше 10^5 К/с.

Изучение микроструктуры быстрозатвердевших сплавов проведено на растровом электронном микроскопе LEO 1455 имеющем приставку, позволяющую проводить рентгеноспектральный микроанализ, исследовать структуру фаз и зерен. При обработке фотографий микроструктуры применялся метод случайных секущих [9]. Изображение микроструктуры быстрозатвердевшей фольги сплава $(Bi - Sn)_{97}Ag_3$, полученное через 70 часов после ее изготовления, приведено на рисунке 1. Наблюдаются белые, серые и черные зоны.

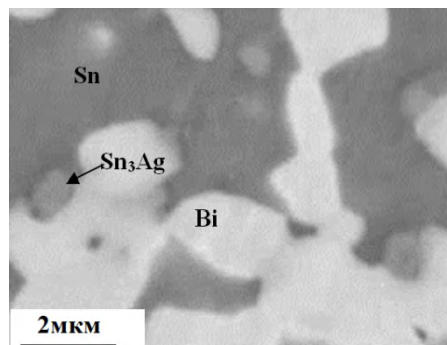


Рисунок 1 – Изображение микроструктуры фольги сплава $(Bi - Sn)_{97}Ag_3$

Распределение интенсивностей линий висмута, олова и серебра при сканировании электронного луча вдоль линии на поверхности А фольги приведено на рисунке 2.

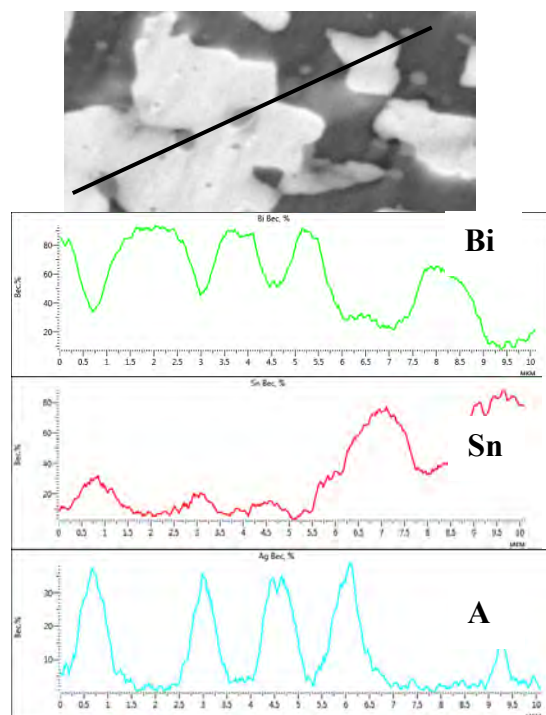


Рисунок 2 – Распределение интенсивностей линий висмута, олова и серебра при сканировании электронного пучка по поверхности фольги сплава $(Bi - Sn)_{97}Ag_3$

Сопоставление их с изображением фольги позволяет утверждать, что белые зоны соответствуют висмуту, черные – олову, а серые – про-

межуточному соединению олова и серебра. Согласно диаграмме состояния [10], таким соединением может быть Sn_3Ag (ϵ -фаза).

Гистограмма распределения хорд случайных секущих, расположенных на сечениях висмута фольг сплава $(\text{Bi} - \text{Sn})_{97}\text{Ag}_3$ по размерным группам представлена на рисунке 3. Максимальная доля хорд приходится на размерную группу 0,45...0,85 мкм. Максимальная длина хорд случайных секущих не превышает 6 мкм. Средние размеры хорд на сечениях выделений висмута и олова равны $D_{\text{Bi}}=1,2$ мкм $D_{\text{Sn}}=1,3$ мкм соответственно. Удельная поверхность межфазных границ равна $S=1,5$ мкм⁻¹.

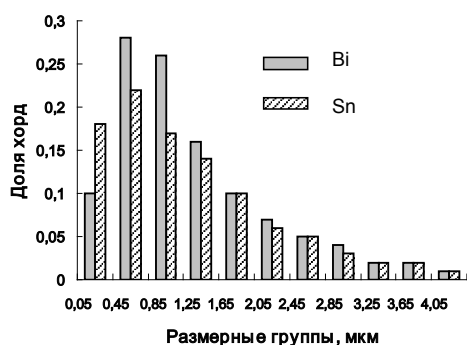


Рисунок 3 – Распределение длин хорд случайных секущих, расположенных на сечениях висмута и олова фольг сплава $(\text{Bi} - \text{Sn})_{97}\text{Ag}_3$ по размерным группам

Изображения зеренной структуры висмута и олова на поверхности А фольги сплава $(\text{Bi} - \text{Sn})_{97}\text{Ag}_3$ полученные через 72 часа после изготовления приведены на рисунке 4.

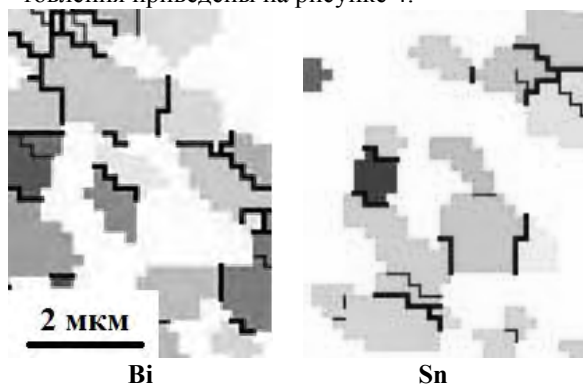


Рисунок 4 – Зеренная структура фольги быстрозатвердевшего сплава $(\text{Bi} - \text{Sn})_{97}\text{Ag}_3$

Толстые линии соответствуют высокоугловым границам зерен, а тонкие – малоугловым. Сечение висмута и олова может содержать несколько сечений зерен. Средние длины хорд случайных секущих на сечениях зерен висмута и олова равны $d_{\text{Bi}}=0,56$ мкм⁻¹ и $d_{\text{Sn}}=0,62$ мкм⁻¹ соответственно. Удельная поверхность высокоугловых границ зерен типа «грань» равна

$S_{\text{BVT}}^{\text{Bi}} = 0,60$ мкм⁻¹ и $S_{\text{BVT}}^{\text{Sn}} = 0,46$ мкм⁻¹ соответственно. Таким образом быстрозатвердевшие фольги сплавов $(\text{Bi} - \text{Sn})_{100-x}\text{Ag}_x$ являются микрокристаллическими. Удельная поверхность малоугловых границ в висмуте $S_{\text{MVT}}^{\text{Bi}} = 0,13$ мкм⁻¹ и в олове $S_{\text{MVT}}^{\text{Sn}} = 0,21$ мкм⁻¹.

Таким образом, быстрозатвердевшие фольги сплавов $(\text{Bi} - \text{Sn})_{100-x}\text{Ag}_x$ ($X=0,8, 1,5$ и $3,0$) состоят из трех фаз: висмута, олова и Sn_3Ag . Средние длины хорд секущих на сечениях этих фаз не превышают 1 мкм, а удельная поверхность межфазной границы достигает значения $1,5$ мкм⁻¹. Фольги имеют микрокристаллическую структуру.

1. О.В. Гусакова, В.Г. Шепелевич. Быстрозатвердевшие сплавы олова. Минск: РИВШ, 2012. – 150 с.
2. J.W. Morris Jr., J. L. F.U., Goldstein, Z. Mei. Microstructure and Mechanical Properties of Sn-In and Sn-Bi Solders // JOM, 1993, July. – P. 25–27.
3. K.-W. Moon, W.J. Boettinger, U.R. Kattor, C.A. Handwerker, J.-J. Lee. The Effect of pb Contamination on the Solidification Behavior of Sn-Bi Solder // J. Electron. Mater. – 2001, – 30. – P. 45–52.
4. R.M. Shalaby. Wettability and Electrical Properties of Bi-Based Lead Free Solder Alloys // Int. J. of Physics and Research. – 2013, – vol. 3, iss3. – P. 1–3.
5. M.H. Braga, J. Vizdal, A. Kroupa, J. Ferreira, L.F. Malheiros. The Experimental Study of the Bi-Sn, Bi-Zn, Bi-Sn-Zn System // Computer Coupling of Phase Diagrams Thermochemistry. – 2007, – 31. – P.468–467.
6. И.С. Мирошниченко. Закалка из жидкого состояния. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
7. Ван Цзинцзе, В.Г. Шепелевич. Быстрозатвердевшие фольги индия. – Минск: РИВШ, – 2011. – 172 с.
8. И.Н. Пашков, М.В. Пикунов, С.А. Таволжанский, А.И. Пашков. Разработка процессов получения и применения сплавов припоев в дисперсионном состоянии с микрокристаллической или аморфной структурой // Металлургия. – 2010, №6. – С.43–45.
9. С.А. Салтыков. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. – 272 с.
6. Диаграммы состояния двойных металлических сплавов /Спр. В 3 т./Под ред. А.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. Т.1. – 992 с.

УДК 51-73

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИНКЛИНОМЕТРА ЕМКОСТНОГО ТИПА

Гущик Р.Ю.¹, Рыжковская Д.С.², Хатько В.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»

Минск, Республика Беларусь

Инклинометр (датчик угла наклона) – это первичный датчик, используемый для измерения величины угла наклона различных объектов. В основе работы датчика лежит явления воздействия гравитационного поля Земли на его чувствительный элемент. Измерение угла происходит относительно гравитационного поля Земли. При нахождении контролируемого объекта не в статическом состоянии датчик измеряет результат взаимного воздействия не только вектора земной гравитации, но и всех векторов ускорения и вибрации, действующих на данный объект.

Акселерометры и инклинометры на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС), а также экодатчики (миниатюрные датчики для измерения освещенности, температуры и влажности) благодаря своим особенностям находят все большее применение в беспроводных системах мониторинга объектов. Преимущества интеграции МЭМС-датчиков – малый размер, низкое энергопотребление, возможность динамических измерений по одной или нескольким осям, высокая температурная стабильность, а также изменяющаяся (т. е. можно задавать) в зависимости от приложения чувствительность.

Повышенные характеристики разрабатываемых устройств, оснащенных МЭМС-сенсорами, позволяют применять беспроводную сенсорную сеть (БСС) в жестких условиях эксплуатации. Эти устройства регистрируют и передают данные о статических и динамических измерениях в реальном времени, устанавливают оптимальный режим сбора данных, уровень энергопотребления. Благодаря применению более мощных антенн и, как следствие, увеличенной дальности действия, в БСС можно использовать меньшее число сенсоров. Сегодня БСС с интегрированными МЭМС-датчиками находят все большее применение для мониторинга сохранности зданий, промышленных сооружений, производственного оборудования, мостов, контроля микроклимата теплиц, мониторинга работы буровых установок и состояния стационарных нефтяных платформ, трубопроводов, используемых в нефтяной и газовой промышленности, а также в инженерных системах (например в системах "умный дом").

На рис. 1 представлены схематическое изображение емкостного МЭМС инклинометра (а) и

геометрическая модель его чувствительного элемента (б).

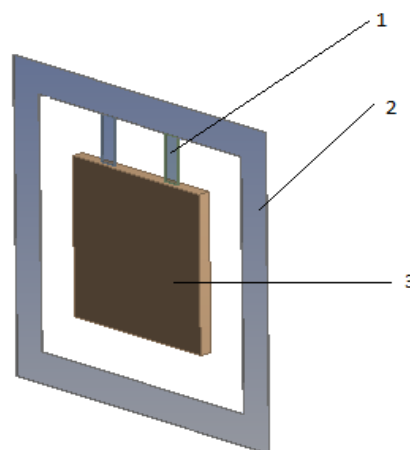
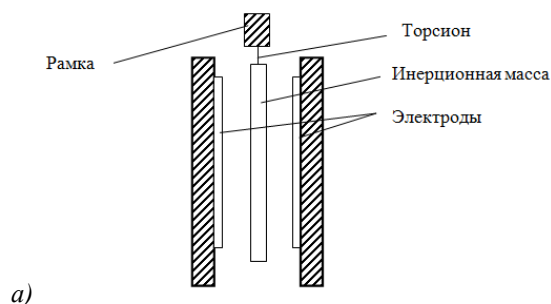


Рис. 1. Схематическое изображение емкостного МЭМС инклинометра (а) и геометрическая модель его чувствительного элемента (б): 1—кремниевый торсион, 2—кремниевая рамка, 3—инерционная масса из кремния

В ходе создания трёхмерной модели МЭМС инклинометра были приняты некоторые ограничения и допуски. Моделирование проводилось при определенных условиях: в местах крепления торсионов к рамке и к инерционной массе отсутствуют плавные переходы из одного объема в другой. Предполагалось также, что вся конструкция абсолютно жестко крепится за одну из поверхностей рамки. Таким образом, все точки, расположенные на данной поверхности при любом воздействии обладают нулевым перемещением.

При создании модели использовался внутренний модуль пакета Ansys, используемый для создания геометрических моделей. Чувствитель-

ный элемент МЭМС инклинометра состоит из рамки, двух торсионов, инерционной массы. При создании модели задавались следующие размеры чувствительного элемента инклинометра: рамка – 10 x 10 x 0,38 мм; торсион – 1,5 x 0,5 x 0,03 мм; инерционная масса – 4 x 4 x 0,38 мм.

В вертикальном положении емкость между электродом инерционной массой и электродом корпуса инклинометра составляет $C_0=4$ пФ при расстоянии между ними $d_0 = 17$ мкм. В данном положении сила тяжести действует вдоль инерционной массы и не приводит к изменению расстояния между электродами, а, следовательно, и емкости C_0 . При наклоне корпуса инклинометра сила тяжести разлагается на две составляющие, одна из которых действует вдоль инерционной массы ($P_{||}$), а другая – перпендикулярно к ней (P_{\perp}). Именно действие составляющей P_{\perp} приводит к изгибу торсионов, смещению инерционной массы к одной из стенок корпуса инклинометра и, как следствие, изменению расстояния между ними (Δd) и начальной емкости на ΔC .

На рис. 2 схематически представлено действие составляющей P_{\perp} силы тяжести на горизонтально расположенную инерционную массу инклинометра (а) и его представление в среде Ansys (б).

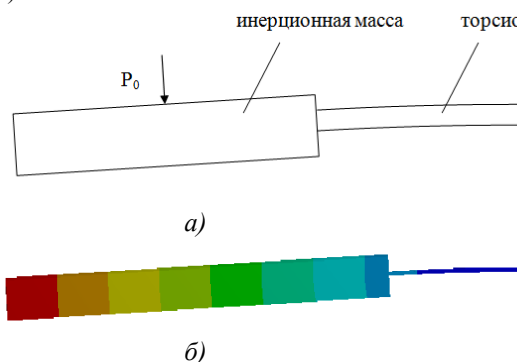


Рис. 2. Положение наклона инерционной массы под действием силы P_0 (P_{\perp}) схематическое (а) и в среде Ansys (б)

Величина P_{\perp} зависит от угла наклона инклинометра (α) и находится из выражения $P_{\perp}=V \times \rho \times g \times \sin \alpha$, где V и ρ - соответственно объем инерционной массы и плотность кремния, g – ускорение свободного падения.

Значения изменения емкости инклинометра от смещения Δd (или угла наклона) инерционной массы, находятся по формуле

$$\Delta C = C_0 \times \frac{\Delta d}{(d_0 - \Delta d)}$$

На рис. 3 представлены расчетные значения изменения емкости для трех диапазонов угла наклона инклинометра $10''-1'$ (а), $1'-1^\circ$ (б) и $1^\circ-10^\circ$ (в).

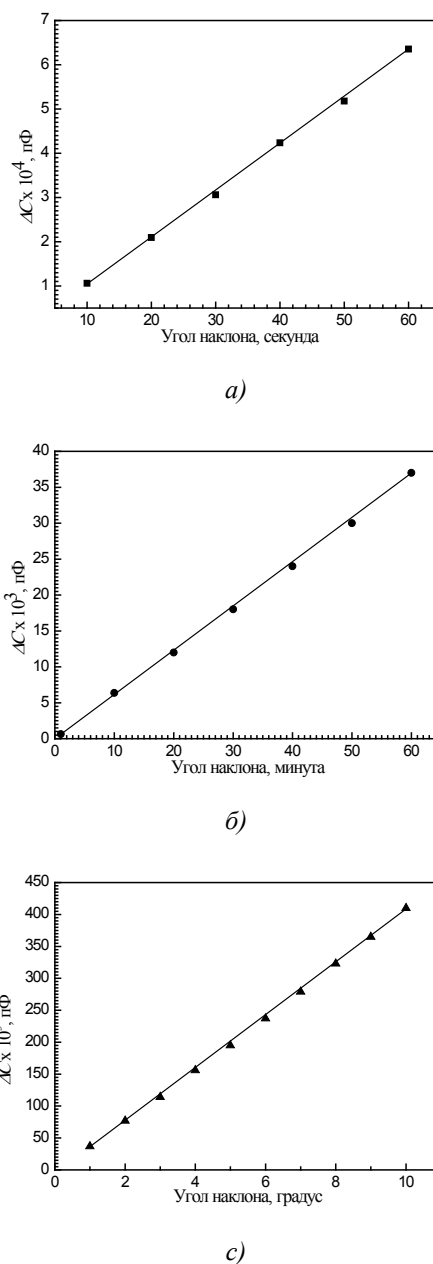


Рис. 3. Изменения емкости инклинометра в зависимости от угла наклона: диапазон углов $10''-1'$ (а), $1'-1^\circ$ (б) и $1^\circ-10^\circ$ (в)

Таким образом, при начальном значении емкости инклинометра $C_0=4$ пФ ее изменение при углах отклонения $10''$, $1'$, 1° и 10° составляет $1,059 \times 10^{-4}$, $6,354 \times 10^{-4}$, $0,037$ и $0,41$ пФ.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СЛОЯ $\text{Er:KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$ ДЛЯ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ЛАЗЕРОВ

Дернович О.П.¹, Курильчик С.В.¹, Кисель В.Э.¹, Кулешов Н.В.¹
Гурецкий С.А.², Колесова И.М.²

¹НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ

²ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»
Минск, Республика Беларусь

Твердотельные лазеры на основе монокристаллических слоев, называемые волноводными, сочетают в себе преимущества как волоконных, так и объемно-кристаллических лазеров. Они характеризуются пространственной согласованностью мод резонатора и накачки, отличаются высокими коэффициентами усиления, имеют низкий порог генерации, и могут использоваться вместе с другими оптическими компонентами в составе современных интегральных оптических систем. В настоящее время для создания волноводных лазеров стали активно применяться монокристаллические слои калий-редкоземельных вольфраматов $\text{KRe}(\text{WO}_4)_2$ ($\text{Re}=\text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}$) [1-3]. Указанные моноклинные кристаллы, активированные ионами редкоземельных элементов, обладают большими сечениями поглощения и стимулированного испускания, допускают возможность высокого уровня легирования примесными ионами (до 100 ат. %), имеют широкие спектральные линии при активации редкоземельными ионами, а также характеризуются сравнительно высокими показателями преломления ($\sim 2,0$ - $2,1$) [1,4]. В случае использования ионов Er^{3+} в качестве активных, их концентрация в таких матрицах не может превышать 1,5-2,0 ат. % по причине наличия ап-конверсионных потерь [5], что не позволит достичь необходимой разницы показателей преломления слоя и подложки для получения волноводного режима. В работе [6] был предложен подход, позволяющий увеличить показатель преломления слоя и добиться хорошего согласования кристаллической решетки подложки и слоя, состоящий в дополнительном легировании слоя оптическими инертными ионами, такими как Gd^{3+} и Lu^{3+} . Основная задача исследователей при этом заключается в выборе оптимального химического состава слоя, обеспечивающего необходимые значения показателя преломления и согласование кристаллической структуры слоя и подложки для получения образцов требуемой толщины без трещин и дефектов.

Цель данной работы заключалась в расчете химического состава и получении методом жидкофазной эпитаксии на подложке кристалла $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ (KYW) монокристаллических слоев $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$, легированных ионами Er^{3+} , для использования в качестве активных сред планарных волноводных лазеров. Для этого

была разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать параметры кристаллической ячейки и показатель преломления слоя $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$ при различном соотношении ионов Gd и Yb . Расчет производился на основании выражений для размеров кристаллической ячейки вдоль кристаллических осей a , b и c , описанных в [7]. Как было показано в [7], для получения свободных от трещин слоев требуется рассогласование по размерам кристаллической решетки слоя и подложки не более $\sim 0,08\%$.

На рисунке 1 представлено соотношение между содержанием ионов Gd и Yb в слое $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$, обеспечивающее выполнение условия по рассогласованию параметров решетки при изменении содержания ионов Gd^{3+} в пределах от 0 до 60 %.

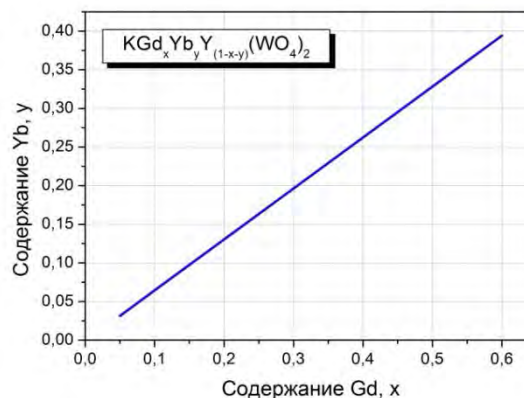


Рисунок 1 – Содержание ионов Gd и Yb в слое $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$, обеспечивающее минимальное рассогласование параметров кристаллической решетки слоя и подложки $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$

На рисунке 2 показано, как изменяется разность показателя преломления слоя и подложки $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$, при различном содержании ионов Gd^{3+} в слое на длине волны 1,6 мкм. При этом содержание ионов Yb^{3+} в слое линейно зависит от содержания Gd^{3+} , как показано на рисунке 1.

По результатам выполненных расчетов выбран химический состав экспериментального образца слоя – $\text{Er}_{0,01}:\text{KGd}_{0,2}\text{Yb}_{0,148}\text{Y}_{0,642}(\text{WO}_4)_2$. Разность показателя преломления подложки и слоя при этом составляет 0,004-0,006.

Рост монокристаллического слоя $\text{Er}_{0,01}:\text{KGd}_{0,2}\text{Yb}_{0,148}\text{Y}_{0,642}(\text{WO}_4)_2$ на подложке KYW

производился методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ).

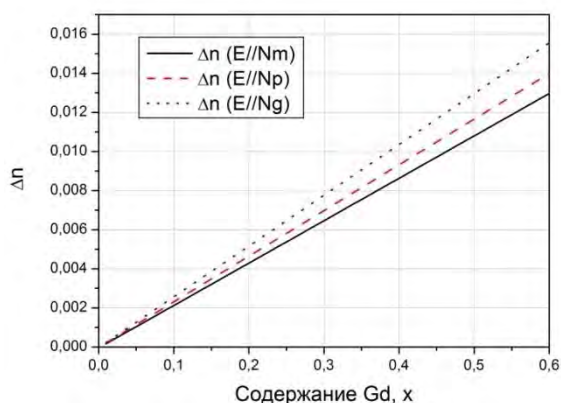


Рисунок 2 – Разность показателя преломления на длине волны 1,6 мкм слоя $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$ и подложки $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$ при различном содержании ионов Gd в слое

В результате был получен образец монокристаллического слоя указанного состава на подложке KYW толщиной 250 мкм и площадью 25×20 мм, выращенный вдоль кристалло-графической оси **b**, совпадающей с осью оптической индикатрисы N_p . Для устранения клиновидности образец подвергался тонкой полировке. Полученная в результате толщина слоя составила 180 мкм. На рисунке 3 приведена фотография торца изготовленного слоя, сделанная через микроскоп Полам РП-1 (ЛОМО).

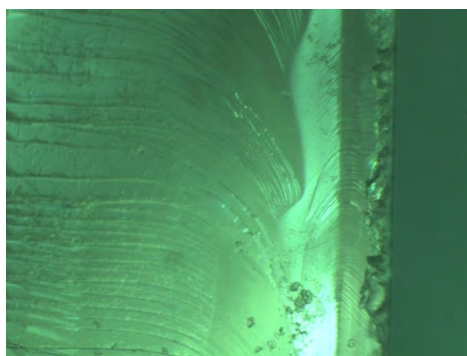


Рисунок 3 – Фотография торца выращенного монокристаллического слоя $\text{Er}_{0,01}:\text{KGd}_{0,2}\text{Yb}_{0,148}\text{Y}_{0,642}(\text{WO}_4)_2$

Спектр поглощения образца, измеренный на спектрофотометре Cary 5000 (Varian) в спектральном диапазоне около 1,45-1,65 мкм для излучения, поляризованного вдоль осей оптической индикатрисы N_m и N_g , приведен на рисунке 4. На основании анализа спектров коэффициента поглощения слоя в сравнении с литературными данными, было установлено, что концентрация ионов Er^{3+} в образце составляет $9,15 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, что соответствует 1,4 ат. %.

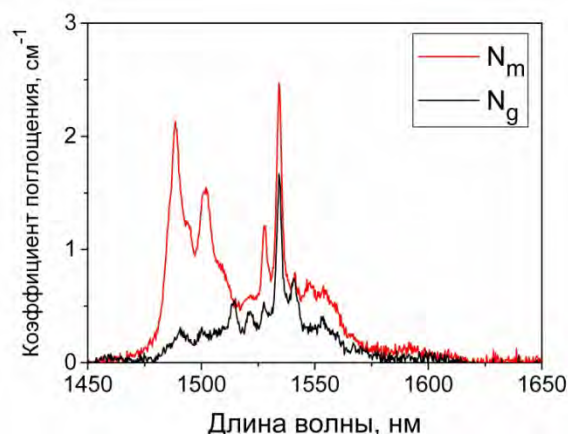


Рисунок 4 – Спектр поглощения выращенного монокристаллического слоя $\text{Er}_{0,01}:\text{KGd}_{0,2}\text{Yb}_{0,148}\text{Y}_{0,642}(\text{WO}_4)_2$

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет рассчитывать параметры кристаллической ячейки и показатель преломления слоя $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$ при различном соотношении ионов Gd и Yb. Методом жидкофазной эпитаксии получен образец слоя $\text{KGd}_{0,2}\text{Yb}_{0,148}\text{Y}_{0,642}(\text{WO}_4)_2$ с содержанием ионов Er^{3+} 1,4 ат. %, толщиной 180 мкм, который может использоваться в качестве активной среды планарных волноводных лазеров, излучающих в спектральной диапазоне около 1,5 мкм.

1. Double Tungstate Lasers: From Bulk Toward On-Chip Integrated Waveguide Devices / M. Pollnau [et.al.] // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. – 2007. – Vol.13, No.3. – P. 661-671.
2. Tm:KY(WO₄)₂ waveguide laser / S. Rivier [et.al.] // Optics express. – 2007. – Vol.15, No.9. – P. 5885-5892.
3. Yb-doped KY(WO₄)₂ planar waveguide laser / Y.E. Romanyuk [et.al.] // Optics letters. – 2006. – Vol. 31, No.1. – P. 53-55.
4. Pulsed laser operation of Yb-doped KY(WO₄)₂ and KGd(WO₄)₂ / N.V. Kuleshov [et.al.] // Optics letters. – 1997. – Vol.22, No.17. – P. 1317-1319.
5. In-band pumped room-temperature Er:KY(WO₄)₂ laser emitting around 1.6 μm / K. Gorbachenya [et.al.] // Laser Physics. – 2013. – Vol.23. – P. 125005.
6. Lu, Gd codoped KY(WO₄)₂:Yb epitaxial layers: Towards integrated optics based on KY(WO₄)₂ / F. Gardillou [et.al.] // Optics letters. – 2007. – Vol.32, No.5. – P. 488-490.
7. Engineering lattice matching, doping level, and optical properties of KY(WO₄)₂:Gd, Lu, Yb layers for a cladding-side-pumped channel waveguide laser / S. Aravazhi [et.al.] // Appl. Phys. B. – 2013. – Vol. 111. – P. 433-446.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ СОСТАВНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ЭЛЕМЕНТАХ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Дудяк А.И., Хвасько В.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Наиболее нагруженной частью аппарата высокого давления являются матрицы, которые находятся в условиях всестороннего неравномерного сжатия. Экспериментально установлено, что при испытании на растяжение или сжатие и одновременном воздействии на образцы всестороннего гидростатического давления в 2,6 ГПа пределы прочности на растяжение для твердых сплавов марок ВК-6 – ВК-8 увеличиваются более чем в пять раз, а пределы прочности на сжатие – более чем в два раза [1].

Так как матрицы аппаратов высокого давления изготавливаются из твердого сплава ВК-6, то с целью получения в них условий всестороннего сжатия необходимо создать как можно большее контактное давление по их боковой поверхности. Этого можно добиться за счет запрессовки матриц в блок стальных колец, а также за счет деформации этих матриц в радиальном направлении в процессе их нагружения. Такая конструкция позволяет значительно увеличить срок службы аппаратов высокого давления [2].

Рассмотрим конструкцию блока стальных колец, состоящего из двух колец, запрессованных друг в друга с некоторым натягом (см. рис. 1). Как правило, расчет таких конструкций основан на определении контактного давления в зоне сопряжения цилиндров в зависимости от величины диаметрального натяга [3]. Величину натяга можно найти из условия равнопрочности колец при заданной величине внутреннего давления. Обычно ее выбирают такой, чтобы эквивалентное напряжение было минимальным, что не для всех подобных конструкций является целесообразным [4]. Также в большинстве источников равнопрочность цилиндров описывается как необходимое равенство эквивалентных напряжений на внутренних поверхностях внутреннего и наружного колец [3-7]. Однако, для работы цилиндров в абсолютно равнопрочных условиях данного требования недостаточно. Необходимо также, чтобы эквивалентные напряжения на наружных поверхностях внутреннего и наружного колец были равны между собой. Только в этом случае цилиндры будут работать в одинаковых по равнопрочности условиях.

В данной работе преследуется цель определить теоретическим путем максимальное внутреннее давление (P_1) в составном цилиндре путем определения оптимального размера зоны контакта поверхностей внутреннего и наружного

цилиндров (радиус r_k), а также вычислить величину контактного давления (P_k).

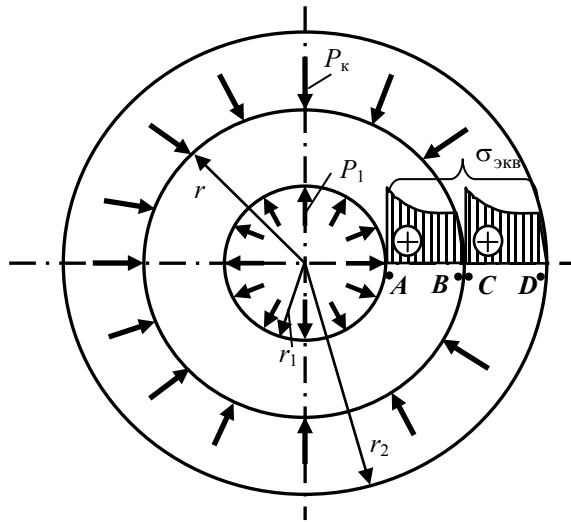


Рисунок 1. Распределение эквивалентных напряжений после запрессовки стальных колец друг в друга и создания внутреннего давления

Примем следующие размеры цилиндров: r_1 – внутренний радиус внутреннего цилиндра; r_k – наружный радиус внутреннего цилиндра и внутренний радиус наружного цилиндра; r_2 – наружный радиус наружного цилиндра.

Условия равнопрочности внутреннего и наружного цилиндров можно представить следующим образом:

$$\sigma_{\text{экв}}(A) = \sigma_{\text{экв}}(C) \leq \sigma_{\text{пл}},$$

$$\sigma_{\text{экв}}(B) = \sigma_{\text{экв}}(D),$$

где $\sigma_{\text{экв}}(A, C, B, D)$ – эквивалентные напряжения сечений A, C, B, D;

$\sigma_{\text{пл}}$ – предел пропорциональности для материала цилиндров.

В общем случае радиальные и окружные напряжения можно определить из выражений вида [5]:

$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{(P_1 - P_2) \cdot r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r^2}, \\ \sigma_t = \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{(P_1 - P_2) \cdot r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r^2}, \end{cases}$$

где σ_r и σ_t – соответственно радиальные и окружные напряжения рассматриваемого цилиндра;

P_1 и P_2 – соответственно давление на внутреннюю и наружную поверхность цилиндра;

r_1 и r_2 – соответственно внутренний и наружный радиусы цилиндра;

r – координата точки, в которой определяют напряжение.

В предположении, что оба кольца выполнены из пластичного материала, для определения эквивалентных напряжений можно воспользоваться третьей теорией прочности [3]:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq \sigma_{\text{пц}},$$

где σ_1 , σ_3 – главные напряжения ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, $\sigma_2 = 0$).

В рассматриваемой задаче главные напряжения равны: $\sigma_1 = \sigma_t$, $\sigma_3 = \sigma_r$.

Тогда эквивалентные напряжения в опасных точках поверхностей цилиндров можно представить в следующем виде:

$$\sigma_{\text{экв}}(A) = \frac{2(P_1 - P_k) \cdot r_k^2}{r_k^2 - r_1^2} \leq \sigma_{\text{пц}};$$

$$\sigma_{\text{экв}}(B) = \frac{2(P_1 - P_k) \cdot r_1^2}{r_k^2 - r_1^2};$$

$$\sigma_{\text{экв}}(C) = \frac{2P_k r_2^2}{r_2^2 - r_k^2} \leq \sigma_{\text{пц}};$$

$$\sigma_{\text{экв}}(D) = \frac{2P_k r_k^2}{r_2^2 - r_k^2}.$$

Используя выше приведенные условия равнопрочности, были получены следующие теоретические результаты:

1) формула для определения контактного давления в зоне сопряжения колец:

$$P_k \leq \sigma_{\text{пц}} \frac{r_2^2 - r_k^2}{2r_2^2};$$

2) формула для вычисления максимально возможного значения внутреннего давления на боковую поверхность матриц:

$$P_1 \leq P_k + \sigma_{\text{пц}} \frac{r_2^2 - r_k^2}{2r_2^2};$$

3) формула для определения оптимального радиуса контакта соприкасающихся поверхностей цилиндров:

$$r_k = \sqrt{r_1 r_2}.$$

Выводы. В данной работе была описана методика расчета оптимального соотношения размеров цилиндров в двухслойной толстостенной

составной конструкции с целью создания максимально возможных давлений на ее внутреннюю поверхность. При этом в процессе эксплуатации обеспечиваются абсолютные условия равнопрочности внутреннего и наружного колец. Также становится возможным определение допустимой величины внутреннего давления и давления, возникающего в зоне контакта цилиндров. Благодаря этому достигается увеличение несущей способности составной конструкции в целом.

Предложенная методика может быть также использована для расчета многослойных составных конструкций, которые, к примеру, применяются в элементах аппаратов высокого давления для синтеза порошков искусственных алмазов. После определения рациональных размеров зон сопряжения цилиндров, а также величин контактных и максимальных внутренних давлений по аналогии с приведенными формулами, становится возможным определение значений осевых и радиальных натягов, необходимых при задании оптимальных конструктивных условий синтеза и соответственно производства качественных кристаллов алмазов.

1. Свенсон К. Физика высоких давлений. – М.: Мир. – 1963. – 203 с.
2. Туркевич В.З. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: в 6 т. – Т.1: Синтез алмаза и подобных материалов. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАНУ. – 2003. – 320 с.
3. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / В.И. Феодосьев. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – С. 389-393.
4. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / Г.С. Писаренко [и др.]; под общ. ред. Г.С. Писаренко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979. – С. 443-460.
5. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов: учеб. / М.Д. Подскребко. – Минск: Высшая школа, 2007. – С. 653-670.
6. Белоус, П.А. Осесимметричные задачи теории упругости. – Одесса: ОГПУ, 2000. – 183 с.
7. Радомысльский, И.Д. Пресс-формы для порошковой металлургии. Расчет и конструирование / И.Д. Радомысльский, Е.Л. Печентковский, Г.Г. Сердюк. – Киев: Техніка, 1970. – 172 с.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

Жарин А.Л.¹, Гусев О.К.¹, Тявловский А.К.¹, Свистун А.И.¹, Качан Р.Ф.¹, Дубаневич А.В.¹,
Колтунович Т.²

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

*²Люблинский технический университет
Люблин, Республика Польша*

Коррозионные трещины и коррозионная усталость являются одними из основных причин поломок механических элементов в эксплуатации, что обуславливает актуальность задачи разработки бесконтактных неразрушающих методов раннего выявления мест развития коррозии. В большинстве случаев неоднородность потенциального рельефа поверхности металла является следствием особенностей режимов ее обработки. Так, известно, что одним из основных источников механических напряжений в металле является сварка. Максимальные величины возникающих в процессе сварки термических напряжений могут приближаться к пределу прочности металла [1]. При этом чаще всего трещины и коррозия развиваются на периферии сварного шва, т.е. в местах наибольших термических напряжений. Там же следует ожидать и наибольших значений градиента электрического потенциала поверхности.

При обработке металлов давлением, в частности, при прокатке высокопрочных сталей остаточные напряжения концентрируются в определенных направлениях вдоль плоскости обработки. Зоны напряжений в стальном прокате демонстрируют повышенную химическую активность и характеризуются пониженными значениями коррозионного потенциала [2].

Имеются сведения о том, что причиной коррозии поверхности нержавеющей сталей также может являться изменение электрического потенциала поверхности в окрестности дефектов, вызываемых деформацией. Это объясняется ростом дислокаций в процессе усталости нержавеющей стали, который сопровождается снижением коррозионного потенциала в областях их повышенной концентрации, что и приводит к развитию питтинговой коррозии в данных областях [3]. В случае углеродистых коррозионных сталей механические напряжения приводят к возникновению разности потенциалов между зернами (кристаллитами), что ускоряет процессы межкристаллитной коррозии. При этом может иметь место своего рода положительная обратная связь, при которой развитие межкристаллитной коррозии усиливает механические напряжения за счет деформации кристаллитов, что приводит к увеличению разности потенциалов с

соответствующим ускорением коррозии вплоть до формирования коррозионной трещины [4, 5].

Существенную роль могут играть и инородные включения в кристаллическую решетку металла. В отличие от механических напряжений, формирующих протяженные зоны с измененными значениями потенциала, вызываемые ими отклонения потенциала поверхности имеют точечную локализацию, однако большие абсолютные значения отклонений, что приводит к интенсивному развитию питтинговой коррозии и открытым трещинам. Величина разности потенциалов зависит в первую очередь от химического состава включений. Наибольшую активность в части изменения потенциала поверхности сталей из распространенных веществ проявляет MnS [6].

Возможность раннего предсказания развития поверхностной коррозии и растрескивания металлических конструкционных материалов имеет большое значение для обеспечения эксплуатации ответственных изделий «по состоянию», обеспечивая значительную экономию средств на дефектацию и превентивную замену деталей и узлов. С учетом характерного размера дефектов, вызывающих питтинговую коррозию и микротрещины на поверхности металла, требуемая разрешающая способность сканирующего зонда Кельвина должна составлять порядка 0,08...0,1 мм, что полностью реализуемо с использованием существующих технических средств. Существенно, что измерения по методу сканирующей зондовой электрометрии могут выполняться при нормальных условиях без какой-либо специальной подготовки поверхности образца.

Ранние теоретические модели влияния деформированного состояния металла на работу выхода электрона и электрический потенциал поверхности рассматривали изменения данных параметров как следствие изменения длины и угла межатомных связей вследствие изменения объема и плотности атомных кластеров под нагрузкой [7]. Химический потенциал электронов в напряженной зоне понижается, вследствие чего электроны из окрестности перемещаются в данную область под действием градиента потенциалов. В соответствии с теоретическими расчетами по данным моделям для одновалентного металла, знак потенциала напряженной зоны

должен оказаться отрицательным, а величина изменения электрического потенциала может составлять до 0,8 В при относительной деформации 10 % [7]. Данная величина для реальных металлов находится в области пластических деформаций. Для области упругих деформаций кристаллической структуры металла подобные расчеты были выполнены на основе использования самосогласующегося метода Кона-Шама [8, 9]. По результатам этих расчетов, изменение потенциала для чистого алюминия в кристаллографической плоскости (111) достигает минус 0,1 В при растяжении и 0,1 В при сжатии [8]. В рамках принятой математической модели изменения электрического потенциала поверхности φ при упругих деформациях следует отнести на счет изменения второго слагаемого в базовом выражении (1), вызванного изменением длины межатомных связей, тогда как изменение положения уровня Ферми, как показали результаты моделирования, при деформациях незначительно:

$$\varphi = -(\mu + e\psi_s), \quad (1)$$

где μ – электрохимический потенциал;
 e – элементарный заряд (заряд электрона);
 ψ_s – поверхностный потенциал.

В современной научной литературе приводятся также результаты экспериментальных измерений электрического потенциала поверхности металлов и его изменений, вызванных механическими напряжениями [10-12]. В частности, показано, что знакопеременное нагружение образцов из алюминия и титана приводит к понижению значений работы выхода электрона с поверхности в области концентрации напряжений. Минимум значений работы выхода электрона достигается непосредственно перед разрушением образца. Характерно, что уменьшение значений работы выхода электрона наблюдалось также на стороне образца, противоположной той, на которой формировалась первичная трещина. Можно высказать предположение, что наблюдаемые изменения работы выхода электрона связаны как с увеличением количества дислокаций, так и с формированием новых поверхностей в процессе разрушения образца, связанного с развитием трещины. В случае упругих и пластических деформаций доступные экспериментальные данные подтверждают небольшое изменение величины работы выхода электрона с поверхности алюминия при его нагружении, составляющее приблизительно 0,08 эВ при относительном удлинении 6 % (область пластической деформации), что в рамках принятой модели может быть объяснено формированием дефектов и вакансий внутри зерен металла [11]. Различными исследователями независимо показано, что упругие деформации растяжения приводят к уменьшению

регистрируемых значений работы выхода электрона, тогда как упругие деформации сжатия – напротив, к ее росту [12]. С другой стороны, в области пластической деформации имеет место уменьшение значений работы выхода электрона как при растяжении, так и при сжатии, причем величина уменьшения находится в пределах 0,18...0,2 эВ, что соответствует увеличению регистрируемых значений электрического потенциала поверхности на 180...200 мВ [12].

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о возможности использования методов сканирующей зондовой электрометрии не только для прогнозирования коррозионного повреждения и разрушения поверхности металлов, но и для определения типа существующих в металле механических напряжений и деформаций. Уточнение моделей контроля поверхности с использованием методов зондовой электрометрии с учетом выявленных в настоящем исследовании закономерностей и зависимостей требует проведения дополнительных экспериментальных исследований.

1. Bond, S. Anti-corrosion methods & materials / S. Bond. – TWI World Center for Materials Joining Technology, 1999. – Vol. 2.
2. S. Tosto, G. Brusco, P. Tonello. Corrosion-NACE 42 (1986) 318.
3. Ажогин Ф.Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей от коррозии. – М.: Металлургия, 1984.-256 с.
4. X. Liu, G.S. Frankel, et al., Corros. Sci. 46 (2004) 405.
5. R. Nishimura, Y. Maeda, Corros. Sci. 45 (2003) 1847.
6. Turnbull, S. Zhou, Corros. Sci. 46 (2004) 1239.
7. P.K. Subramanian, in: J.O'M. Bockris, E.C. Brian, Y. Ernest, E.W. Ralph (Eds.), Comprehensive Treatise of Electrochemistry, vol. 4, Plenum Press, New York, 1981.
8. A. Kiejna, V.V. Pogosov, Phys. Rev. B 62 (2000) 10445.
9. V.V. Pogosov, O.M. Shtepa, Ukr. Phys. J. 47 (2002) 1065 (Preprint cond. mat/0310176).
10. V.V. Levitin, S.V. Loskutov, M.I. Pravda, B.A. Serpetzky, Solid State Commun. 92 (1994) 973.
11. Лоскутов, С.В. Формирование энергетического рельефа металлических поверхностей в процессах трения и изнашивания / С.В. Лоскутов, В.В. Левитин, В.Н. Гордиенко. // Трение и износ. 2002. - Т.23. -№2. - С. 176- 180.
12. Жарин, А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии. - Минск: Бестпринт, 1996. - 235 с.

УДК 621.382

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАТВОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ В КОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Жевняк О. Г.

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Дальнейшее развитие современной микропроцессорной техники приводит к уменьшению активных областей кремниевых МОП-транзисторов, лежащих в ее основе, до размеров 0,1 мкм и менее [1; 2]. Функционирование таких транзисторов имеет ряд особенностей, принципиально отличающих его от функционирования стандартных длинноканальных МОП-транзисторов [2; 3]. К одним из таких особенностей следует отнести специфический характер влияния напряжений на затворе и стоке на перенос электронов для транзисторов с очень малыми размерами длины канала. Роль затворного напряжения состоит в изменении сопротивления проводящего канала, однако вблизи стока это изменение носит сильно неоднородный характер, так как в этой области затворное и стоковое напряжения включены навстречу друг другу. В случае длинноканальных МОП-транзисторов эта неоднородность практически не влияет на перенос электронов в проводящем канале и на характеристики прибора, тогда как в короткоканальных транзисторах она в определенных условиях может существенно ухудшить работу прибора.

Целью настоящего доклада явилась оценка влияния затворного напряжения на перенос электронов в короткоканальном кремниевом МОП-транзисторе. Она была получена с помощью численного моделирования движения электронов в проводящем канале транзистора методом Монте-Карло в соответствии с алгоритмами и процедурами, описанными в наших работах [4; 5]. Были рассчитаны распределения средних значений энергии, дрейфовой скорости и подвижности электронов вдоль проводящего канала от истока ($x = 0$) к стоку ($x = L_{ch}$) при разных значениях напряжения на затворе и стоке. Моделировался МОП-транзистор со следующими конструктивно-технологическими параметрами:

длина канала $L_{ch} = 0,2$ мкм, толщина подзатворного окисла $d_{ox} = 5,6$ нм, концентрация донорной примеси в областях истока и стока $N_D = 10^{26}$ м⁻³, концентрация акцепторной примеси в подложке $N_A = 10^{24}$ м⁻³, глубина залегания истоковой и стоковой областей в подложку $d_j = 50$ нм.

На рис. 1 – 3 приведены полученные в результате моделирования распределения рассчитанных величин энергии, дрейфовой скорости и подвижности электронов для двух значений напряжения на стоке $V_D = 1$ В (кривые 1) и $V_D = 3$ В (кривые 2), а также затворе $V_G = 1$ В (штриховые кривые) и $V_G = 3$ В (непрерывные кривые).

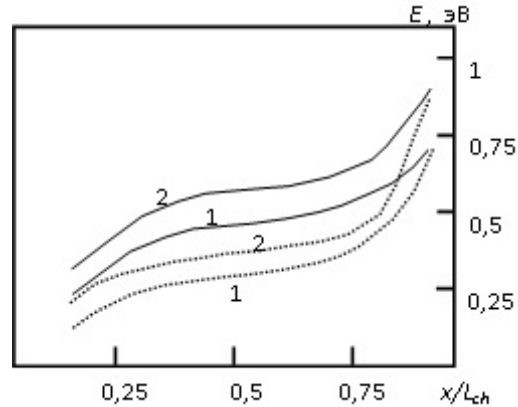


Рис. 1. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений энергии электронов

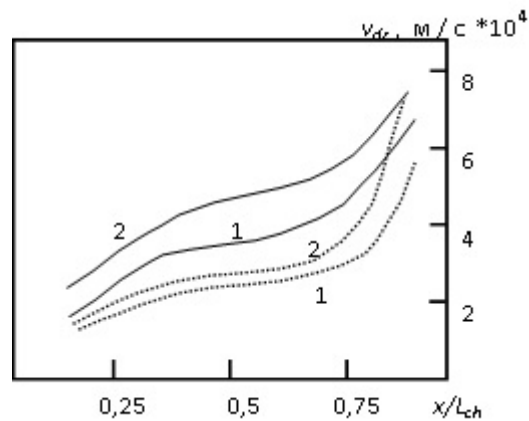


Рис. 2. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений дрейфовой скорости электронов

Полученные распределения позволяют отметить, что влияние затворного напряжения на параметры, характеризующие электронный перенос в рассматриваемом короткоканальном МОП-транзисторе, довольно существенно. Однако вдоль канала это влияние неоднозначно и имеет сложный характер.

Из поведения кривых на представленных рисунках, прежде всего, можно сделать вывод о том, что в изученном МОП-транзисторе с увеличением затворного напряжения от 1 В до 3 В при постоянном стоковом напряжении моделируемые параметры в среднем изменяются в 1,5 раза – значения энергии и дрейфовой скорости увеличиваются, а подвижности уменьшаются (см. кривые разного типа, обозначаемые одной и той же цифрой). При аналогичном изменении стокового напряжения при постоянном затворном такие

изменения приблизительно вдвое слабее (см. кривые одного типа, обозначаемые разными цифрами). Однако на участке канала вблизи самого стока (где x / L_{ch} приближается к 1) влияние затворного напряжения фактически исчезает (кривые разного типа, обозначенные одной цифрой, приближаются друг к другу). Вблизи истока (где x / L_{ch} близко к 0) влияние затворного напряжения также снижается.

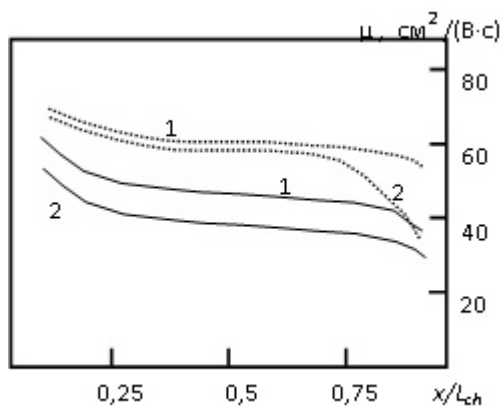


Рис. 3. Распределения вдоль канала МОП-транзистора средних значений подвижности электронов

Для понимания и объяснения отмеченных закономерностей следует иметь в виду два основных фактора влияния затворного напряжения на электрические характеристики короткоканальных МОП-транзисторов [6]. Повышение затворного напряжения приводит к существенному увеличению концентрации электронов в проводящем канале (в нашем случае максимальная концентрация электронов увеличивается приблизительно от величины $N_e = 2,5 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ до $N_e = 7 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$) и увеличению напряженности поперечной составляющей электрического поля, направленной от поверхности раздела в глубь подложки. В этой связи исчезновение влияния затворного напряжения вблизи стока, очевидно, обусловлено тем, что два указанных фактора в этой области канала фактически нивелируются. Максимальное же действие этих факторов наблюдается в середине проводящего канала исследуемого МОП-транзистора. Причем на всех

полученных распределениях можно выделить участок канала прибора с более пологим изменением кривых — от 0,25 до 0,75 x / L_{ch} . Это и есть область максимального влияния затворного напряжения.

Таким образом, в настоящей работе с помощью численного моделирования методом Монте-Карло проанализировано влияние затворного напряжения на распределения средних значений энергии, дрейфовой скорости и подвижности электронов вдоль канала короткоканальных МОП-транзисторов. Показано, что оно существенно и неоднородно почти вдоль всего проводящего канала транзистора и только вблизи стока практически исчезает.

1. Fiegna C., Iwai H., Wada T., Saito M., Sangiorgi E., and Ricco B. Scaling the MOS Transistor Below 0.1 μm : Methodology, Device Structures, and Technology Requirements // IEEE Trans. Electron Dev. — 1994. — Vol. 41, No 6. — P. 941–951.
2. Iwai H., Momose H. S. Technology toward low power / low voltage and scaling of MOSFETs // Microelectron. Engineer. — 1997. Vol. 39, No 1. — P. 7–30.
3. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. — Москва: Техносфера, 2011. — 799.
4. Борздов В.М., Жевняк О.Г., Комаров Ф.Ф., Галенчик В.О. Моделирование методом Монте-Карло приборных структур интегральной электроники — Минск: БГУ, 2007. — 175 с.
5. Zhevnyak O. Temperature effect on electron transport in conventional short channel MOSFETs: Monte Carlo simulation // Proc. SPIE. — 2008. — Vol. 7025. — P. 1M-1–8.
6. Жевняк О. Г., Борздов В. М., Борздов А.В., Буслюк В. В. Сравнительное моделирование тока стока в КНИ-МОП-транзисторах и стандартных МОП-транзисторах: метод Монте-Карло // Электроника инфо. — 2014, № 11. — С. 50–52.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК PbSnS

Иванов В.А.¹, Черный В.В.¹, Гременок В.Ф.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ГО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

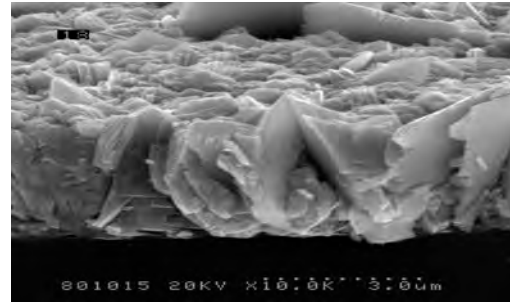
Минск, Республика Беларусь

Среди новых полупроводниковых материалов, перспективных для создания различных элементов оптоэлектроники особый интерес представляет изучение полупроводникового твердого раствора PbS-SnS. Соединение PbS является полупроводником с шириной запрещенной зоны $E_g = 0,41$ эВ и нашло широкое применение как фоточувствительный материал для изготовления фоторезисторов и фотодиодов [1]. Сульфид свинца имеющий в большинстве случаев сверхстехиометрический свинец имеет *n*-тип проводимости. Соединение SnS также является полупроводником *p*-типа проводимости и имеет прямую ширину запрещенной зоны, полученную оптическими методами $E_g = 1,3$ эВ [2,3]. В системе SnS-PbS образуется ограниченный ряд твердых растворов, поскольку PbS имеет кубическую структуру типа NaCl, а SnS имеет орторомбическую структуру. По данным работ [4,5] предельная растворимость PbS в SnS составляет ≈ 50 мол.%, а SnS в PbS - около 10 мол.%. Изменение состава твердого раствора приводит к изменению всех электрофизических свойств, как электрических, так и оптических. Поэтому исследование свойств системы PbS-SnS представляет большой интерес для фотовольтаического применения. В данной работе исследована структура и электропроводность пленок PbSnS с различным составом.

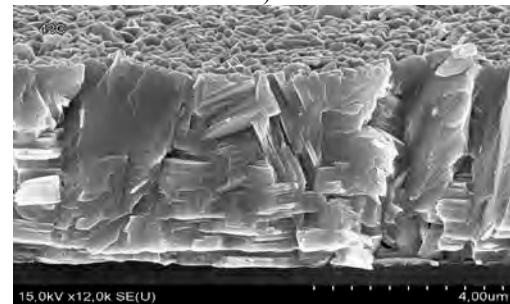
Тонкие пленки PbSnS с различным составом были приготовлены на стеклянных подложках термическим вакуумным испарением методом «горячей стенки» нагретого до 600°C измельченного порошка предварительно синтезированного Pb-Sn-S слитка. Полученные таким методом пленки PbSnS показали хорошее соответствие между их стехиометрией и соотношением Pb/Sn/S в поликристаллических слитках, используемых для напыления.

Кристаллическая структура пленок была исследована рентгеновской дифрактометрией (XRD), используя Siemens D-5000 - дифрактометр с CuK_α источником. Идентификация фаз проводилась сравнением экспериментально установленных межплоскостных расстояний d с данными таблиц JCPDS. Элементный состав (EDX) пленок был исследован с помощью сканирующего электронного микроскопа Stereoscan F-360. Поперечное сечение (SEM) пленок были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения S-806F. На рис. 2 приведены поперечные сечения

пленок PbSnS с концентрациями атомов свинца а) – 0 ат.% и б) – 12,63 ат.%.



а)



б)

Рис. 1. Микрофотографии скола (б) плёнок PbSnS с концентрацией атомов свинца а) – 0 ат.% и б) – 12,63 ат.%

Рентгеноструктурные исследования пленок показали, что полученные при температурах подложек $240 - 360^\circ\text{C}$ поликристаллические пленки являются монофазными с орторомбической структурой. Существует также хорошее соответствие между рентгенограммами порошкообразных образцов полученных кристаллических пленок для основных наблюдаемых отражений от плоскостей. Изображение поперечного сечения и наклонного обзора свидетельствуют о том, что поликристаллические пленки плотные, кристаллические и гладкие с зеркальной поверхностью. Вид поверхности показывает, что пленки в основном состоят из двух различных размеров зерна: крупные зерна в диапазоне от 400 до 600 нм и зерна меньшие, чем 50 нм. Составы полученных пленок, определенные из EDX-анализа указывают на то, что пленки имеют дефицит серы относительно состава материала мишени. Поэтому, сера, имеющая высокое давление паров может конденсироваться на подложке более медленными темпами, чем другие элементы, создавая небольшой дефицит её в тонких пленках.

Удельное сопротивление было измерено методом Ван-дер-Пау. В качестве электрических контактов применялся электропроводящий клей "Leit-C". Предварительными исследованиями было установлено, что эти контакты являются омическими в температурном интервале $\Delta T = 80-380\text{K}$. Исследуемые образцы при регистрации температурных зависимостей удельного сопротивления располагались в вакуумной камере. Измерения удельного сопротивления проводились при повышении температуры пленок после их предварительного охлаждения жидким азотом до температуры 80К.

В связи с тем, что полученные пленки PbSnS по атомному составу не являлись стехиометрическими, они содержали собственные структурные дефекты, образующиеся в процессе формирования пленки, тип которых зависел от соотношения между отдельными элементами. Для определения значений. Энергии активации энергетических уровней, образованных в запрещенной зоне собственными дефектами определены из температурных зависимостей удельного сопротивления пленок в температурном интервале 80-380К.

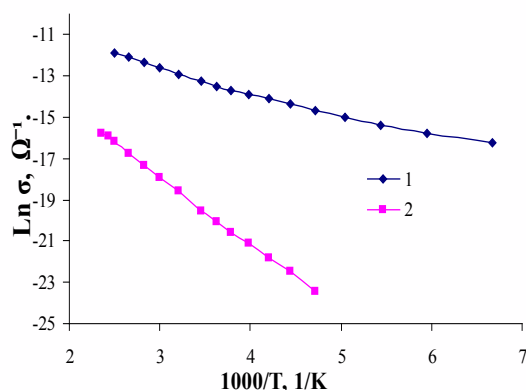


Рис. 2. Температурные зависимости электропроводности плёнок PbSnS с концентрацией атомов свинца 1 – 0 ат.% и 2 – 12,63 ат. %

Для исследованных пленок наблюдалась типичная для полупроводников температурная зависимость электропроводности

$\sigma = \sigma_0 \exp(\Delta E_a / kT)$ где ΔE_a - энергия активации энергетического уровня, соответствующего конкретному типу дефектов, а k – постоянная Больцмана. Значения энергий активации ΔE_a определялись из графической зависимости

$\ln \sigma = f(1000/T)$. Линейная зависимость указывает на примесную природу электропроводности исследуемых пленок. В нашем случае роль примесей выполняют собственные дефекты замещения типа Pb_{Sn} и дефицит олова. Из температурных зависимостей электропроводности определены энергии активации соответствующих энергетических уровней. Для пленок SnS энергия активации имела значение $\Delta E_a = 0,120$ эВ.

Исследуемые нами пленки SnS имели дефицит атомов олова, поэтому энергия активации для указанных пленок связана с акцепторными состояниями в запрещенной зоне благодаря вакансиям олова (V_{Sn}) которые играют определяющую роль в установлении р-типа проводимости в этом соединении [6]. Полученные различные значения энергии активации указывают на то, что Следует отметить, что энергия активации зависит от технологических параметров. Поэтому природа дефектов, ответственных за различные значения энергии активации нуждается в дальнейших исследованиях. При увеличении в пленке концентрации свинца N_{Pb} энергия активации увеличивается и имеет значения $\Delta E_a = 0,283$ эВ. при концентрации атомов свинца $N_{Pb} = 12,63$ ат.%. Эта энергия активации наблюдается для пленок как с избытком, так и с дефицитом атомов серы.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что добавление в пленку SnS р – типа проводимости атомов свинца приводит к образованию дефектов замещения типа атом свинца на месте атома олова (Pb_{Sn}), создающих в запрещенной зоне донорные энергетические уровни. Следствием этого является повышение удельного сопротивления пленки

1. Соминский М.С. Полупроводники – Л.: Наука, 1967. – 440 с.
2. Tanusevski A., Poelman D. // Solar Energy Materials and Solar cells. 2003, 80, p. 297-301.
3. Thangaraju B., Kaliannan P.. // Cryst. Res. Technol. 2000, 35, №1, p.71-75
4. Латыпов З.М., Файзуллина Н.Р., Савельев В.П., Давлетшин Р.Ю. // Неорганические материалы, Т.12, №2, 1976, с. 206-209
5. Hayachi K., Kitakaze A., Sugaki A. // Mineralogical Magazine, 2001, Vol. 65(5), p. 645-651.
6. Endelken R.D., McCloud H., Lee C. // J. Electrochem. Soc. 1987, №11, p. 2696-2699.

УДК 621.9.048

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНОГО ДИСКА НЕПОСРЕДСТВЕННО ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИМ ОПЕРАЦИИ РАСПИЛИВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Киселев М.Г., Богдан П.С.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

С целью повышения режущей способности рабочей поверхности отрезных инструментов авторами [1] предложено осуществлять ее электроэрозионную обработку (ЭЭО) без применения диэлектрической жидкости. В ходе последующих экспериментальных исследований [2] было подтверждено, что путем воздействия на металлическую поверхность электрическими разрядами ей можно придать режущую способность. Связано это с тем, что в результате электрической эрозии на ней образуются лунки, которые имеют по краям наплывы (валики) застывшего металла, выходящие за исходный контур поверхности.

Именно наличие этих элементов на модифицированной путем электроэрозионной обработки поверхности придают ей режущую способность. Установлено, что формой и размерами этих режущих элементов на модифицированной поверхности можно управлять путем изменения режимов и условий выполнения электроэрозионной обработки. В частности, с возрастанием энергии электрического разряда размеры лунки, а также высота наплывов металла по ее краю увеличиваются, что приводит к повышению режущей способности модифицированной поверхности. Показано, что процесс модифицирования исходной поверхности с использованием энергии электрических разрядов оправдано рассматривать как специфическую операцию ее заточки. При этом очевидным ее достоинством является простота реализации: не требуется применение специального режущего инструмента и приспособлений, которые используются при выполнении традиционной операции заточки нового и переточки затупившегося режущего инструмента. Кроме того, для восстановления режущей способности инструмента, в частности, отрезного диска отпадает необходимость его снятия со шпинделя станка, то есть осуществлять ЭЭО его рабочей поверхности непосредственно в ходе выполнения операции, но при отсутствии его вращения.

Учитывая весьма малую продолжительность протекания разряда (25-30 мкс), авторами [3] на уровне рабочей гипотезы высказано предположение о возможности восстановления режущей способности отрезного диска непосредственно при выполнении им операции распиливания, то есть при его вращении с рабочей окружной скоростью (скоростью резания). В этой связи цель данной

работы заключалась в экспериментальной проверке данного предположения.

В качестве объекта исследования использовались диски из стали У8А диаметром 75 и толщиной 0,3 мм с центральным посадочным отверстием 16 мм.

С целью определения влияния окружной скорости вращения диска в процессе выполнения ЭЭО его рабочей поверхности на режущую способность инструмента, эксперименты по модифицированию его рабочей поверхности проводились при различных значениях v_d , начиная с $v_d=0$ до $v_d=450$ м/мин. При $v_d=0$ ЭЭО поверхности диска осуществлялась путем его поворота вручную с равномерным нанесением на ней лунок на расстоянии 1,5-2 мм друг от друга. Во всех остальных случаях вращение диска обеспечивалось от электродвигателя при соответствующей частоте его вращения. При этом ЭЭО осуществлялось при постоянной частоте прерывания электрической цепи ($f \approx 1$ Гц) и продолжалось до получения лунок по всей обрабатываемой поверхности диска. Напряжение накопительного конденсатора было постоянным и составляло 75 В при его емкости 400 мкФ, диэлектрическая жидкость не применялась, то есть обработка осуществлялась на воздухе.

Затем диск вновь закреплялся на валу электродвигателя установки и проводились эксперименты по определению его режущей способности. Подлежащий распиливанию образец из текстолита с прямоугольным поперечным сечением 15x8 мм зажимался в оправке, которая закреплялась на подвижной части шариковых направляющих. Усилие прижатия образца к рабочей поверхности диска, определяющее врезную подачу $S_{вр}$, обеспечивалось посредством грузов. При проведении экспериментов по распиливанию образца величина этого усилия была постоянной и составляла 2 Н. Частота вращения инструмента также была постоянной и составляла 1800 мин⁻¹, что соответствовало скорости резания $v_r=450$ м/мин. Его режущая способность оценивалась по значению интенсивности распиливания образца i , которая определялась отношением площади его распиленной поверхности F к продолжительности обработки t ($i=F/t$, мм²/мин).

Влияние окружной скорости вращения диска при ЭЭО его рабочей поверхности на интенсивность последующего распиливания им текстолитового образца отражают данные, приведенные на рисунке 1.

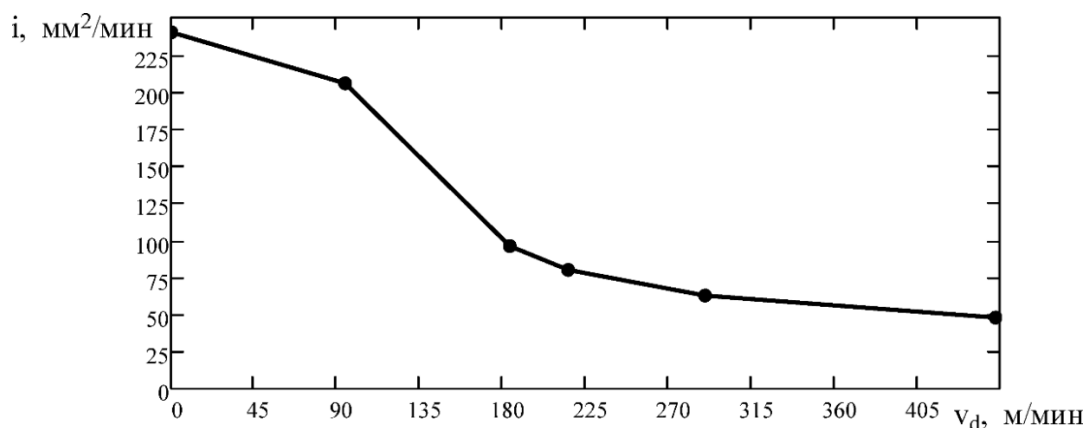


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности распиливания текстолитового образца отрезным диском от окружной скорости его вращения при выполнении ЭЭО его рабочей поверхности

Из них видно, что наибольшей режущей способностью ($i=240$ мм²/мин) обладает диск, рабочая поверхность которого модифицирована путем ЭЭО при $v_d=0$, то есть когда электрический разряд воздействовал на его неподвижную поверхность. С увеличением окружной скорости вращения диска в процессе ЭЭО значение i начинает снижаться и наиболее интенсивно в диапазоне изменения v_d с 90 до 200 м/мин. При дальнейшем увеличении v_d значение i существенно не изменяется и при $v_d=450$ м/мин, что соответствует принятой скорости резания v_p , оно составляет 48 мм²/мин, что более, чем в 5 раз ниже в сравнении с наибольшим его значением при $v_d=0$.

Полученную зависимость можно объяснить тем, что с увеличением окружной скорости вращения диска при выполнении ЭЭО его рабочей поверхности форма и размеры получаемых на ней лунок изменяется. В частности, они приобретают более вытянутую форму с одновременным уменьшением их глубины и высоты наплывов металла по их краям.

Если принять продолжительность разряда между поверхностью диска и электрода-инструмента постоянной и равной 30 мкс, то перемещение S за это время поверхности вращающегося диска и составит при $v_d=50$ м/мин $S=25$ мкм и $S=225$ мкм при $v_d=450$ м/мин. Таким образом, с увеличением v_d величина S прямо пропорционально возрастает, а соответственно, снижается степень локализации электрического разряда на обрабатываемой поверхности, вызывая указанные выше изменения геометрических параметров лунки.

В свою очередь, параметры лунки, в частности, высота наплывов металла по ее краю (аналог зуба инструмента) влияет на режущую способность диска, с увеличением которой она возрастает. С увеличением окружной скорости вращения диска в процессе ЭЭО его рабочей поверхности высота этих наплывов металла

уменьшается, что приводит к снижению интенсивности распиливания им образца, которая при $v_d=450$ м/мин имеет минимальное значение.

На основании полученных результатов можно констатировать, что осуществление ЭЭО рабочей поверхности отрезного диска с целью поддержания его высокой режущей способности непосредственно в процессе выполнения операции распиливания, то есть при окружной скорости диска равной скорости резания, малоэффективно. Вместе с тем, исходя из полученных данных, можно обоснованно рекомендовать использовать ЭЭО для поддержания высокой режущей способности инструментов непосредственно в процессе выполнения операции распиливания, работающих со скоростями резания, не превышающими 90 м/мин, к примеру, при распиливании заготовок ленточными пилами.

1. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Москаленко А.В., Богдан П.С. Эффективность применения электроэрозионной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности. Вестник Полоцкого государственного университета. № 11 2013 73-77.
2. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Габец В.Л., Богдан П.С. Экспериментальная оценка режущей способности штрипс с модифицированной путем электроэрозионной обработки рабочей поверхностью. Механика машин, механизмов и материалов. № 3 2014 64-68.
3. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Москаленко А.В., Богдан П.С. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса формирования лунки на обрабатываемой поверхности при однократном электроэрозионном воздействии. Механика машин, механизмов и материалов. № 1 2014 76-81.

УДК 621.9.048

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНОГО ДИСКА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Киселев М.Г., Богдан П.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Результатами ранее проведенных исследований [1,2] установлено, что путем воздействия на металлическую поверхность электрическими разрядами можно придать ей режущую способность. Достигается это за счет формирования на ней в результате электрической эрозии лунок, по форме близких к сферической, имеющих по краям наплывы застывшего металла, выходящие за исходный контур поверхности. Именно эти конструктивные элементы на модифицированной поверхности выполняют роль своеобразных режущих элементов, которые способны снимать стружку с материалов, твердость которых ниже твердости металла наплывов. Исходя из этого, процесс модификации поверхности с использованием энергии электрических разрядов можно рассматривать как специфическую операцию ее заточки.

Очевидно, что для выработки рекомендаций по практическому использованию такого способа заточки рабочей поверхности инструмента важно располагать данными, характеризующими режущую способность полученной поверхности.

Объектом исследования являлись диски из стали У8А диаметром 75 мм и толщиной 0,3 мм с центральным посадочным отверстием 16 мм.

Электроконтактная обработка их рабочей поверхности (режущей кромки) осуществлялась следующим образом (рисунок 1).

Диск 2 закреплялся на горизонтально расположенной оправке 3, установленной в подшипниках 5, и вместе с ней имел возможность поворачиваться вокруг оси. В качестве электрода-инструмента использовалась пластина 1 из стали У8А толщиной 0,3 мм, шириной 8 мм и длиной 110 мм. Диск с помощью токосъемного устройства 4 и электрод-инструмент были включены в электрическую цепь, состоящую из источника питания постоянного тока ИП, накопительного конденсатора С и токоограничивающего резистора R. Использовалась прямая полярность, при которой анодом являлся обрабатываемый диск, а катодом – электрод-инструмент.

Пластина, выполняющей роль электрода-инструмента, вручную сообщалось колебательное движение V_k , при котором ее кромка периодически контактировала с рабочей поверхностью диска. В процессе их сближения на расстоянии, соответствующему минимальному межэлектродному промежутку (МЭП), происходил его про-

бой и между поверхностями возникал электрический разряд, вызывающий электрическую эрозию поверхностей диска и инструмента. В результате расплавления и испарения металла на рабочей поверхности образуется лунка, имеющая по краям наплывы застывшего металла, выходящие за ее исходный контур.

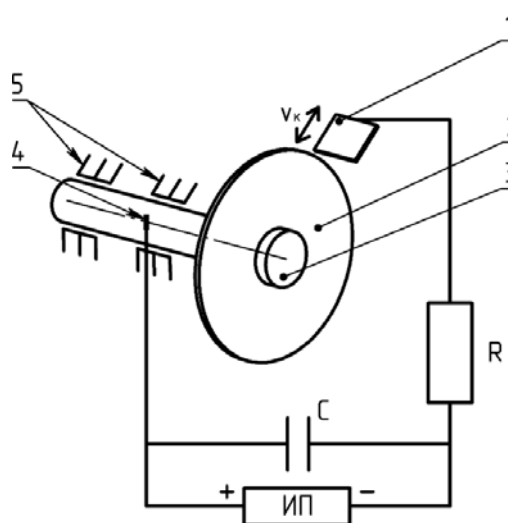


Рисунок 1 – Технологическая схема электроконтактной обработки рабочей поверхности диска

Эксперименты выполнялись при напряжении накопительного конденсатора 80 В и его емкости 300 мкФ. На рабочую поверхность диска наносилось 75 лунок, равномерно расположенных по длине ее окружности. Диэлектрическая жидкость не применялась, то есть обработка осуществлялась на воздухе.

Для определения эксплуатационных показателей дисков с модифицированной путем электроконтактной обработки поверхностью была создана специальная установка, схема которой приведена на рисунке 2.

На массивном основании 1 установлен электродвигатель 7 (ПЛ-062У4), на валу которого закрепляется испытуемый диск 2. Последнему сообщается вращательное движение с постоянной частотой, равной $n_d=1500 \text{ мин}^{-1}$. Подлежащий распиливанию образец 9 зажимается в оправке 8, которая закреплена на поверхности подвижной части 3 шариковых направляющих.

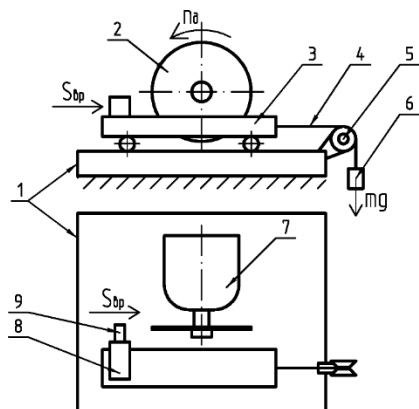


Рисунок 2 – Технологическая схема установки для распиливания образцов испытываемым диском

Усилие прижатия образца к рабочей поверхности диска, то есть врезная подача, обеспечивается посредством аттестованных

грузов 6 массой m , связанных с подвижной частью направляющих с помощью проволоки 4 и блока 5. При проведении экспериментов по распиливанию образцов величина этого усилия была постоянной и составляла 2 Н.

Образцы выполнялись в форме прямоугольного параллелепипеда длиной 50 мм с квадратным поперечным сечением 15x8 мм. Они изготавливались из дерева (сухая сосна), органического стекла, текстолита, углеситалла и кости.

Режущая способность диска оценивалась по значению интенсивности распиливания i им образцов, которая вычислялась отношением площади распиленной поверхности S к продолжительности выполнения операции t ($i=S/t$; мм²/мин).

На рисунке 3 представлены значения интенсивности распиливания образцов из различных материалов испытываемым отрезным диском.

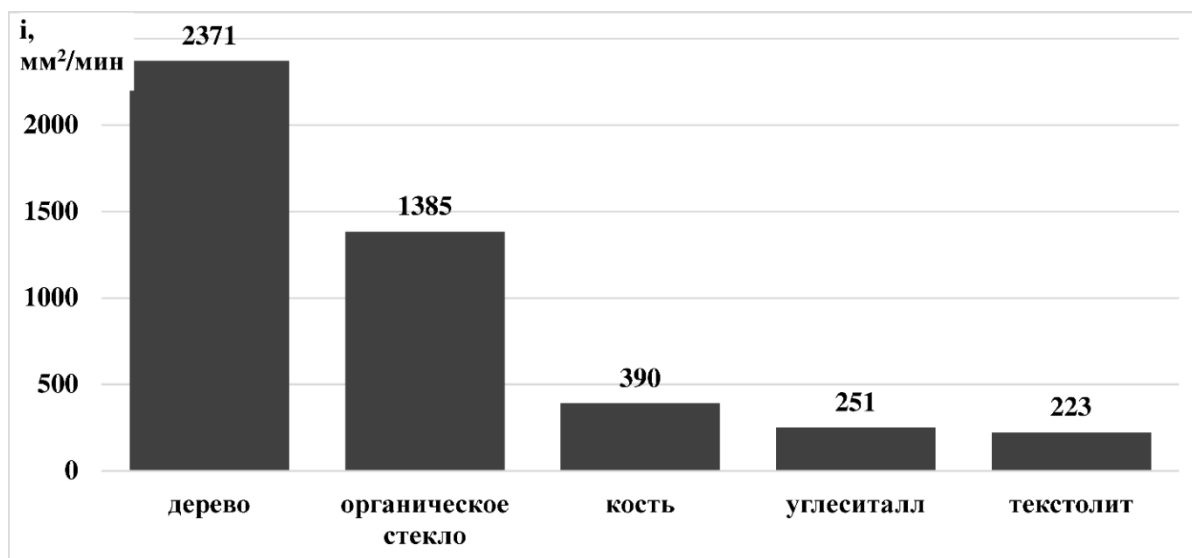


Рисунок 3 – Значения интенсивности распиливания образцов из различных материалов испытываемым отрезным диском

Из анализа приведенных данных видно, что наибольшее значение $i=2371$ мм²/мин наблюдается при распиливании деревянного образца, а наименьшее – $i=223$ мм²/мин при распиливании образца из текстолита. Отсюда следует, что с повышением твердости и прочности материала образца интенсивность его распиливания испытываемым диском снижается, что полностью согласуется с положением теории резания материалов. В частности, с тем, что чем выше твердость и прочность обрабатываемого материала, тем меньше, при прочих равных условиях, глубина внедрения в него режущих элементов инструмента, а соответственно, меньше объем удаленного в единицу времени материала, то есть интенсивность распиливания.

Очевидным достоинством рассматриваемого способа обеспечения режущей способности ра-

бочей поверхности инструмента является простота его реализации. В этом случае не требуется применения специального режущего инструмента и приспособлений, которые используются при выполнении традиционной операции заточки или переточки износившегося инструмента. В этой связи представляется перспективным осуществлять восстановление режущей способности износившейся рабочей поверхности отрезного диска путем ее ЭКО непосредственно в процессе выполнения операции распиливания, то есть без снятия диска со шпинделя.

1. Эффективность применения электроконтактной обработки поверхности проволоочного инструмента с целью придания ей режущей способности / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. - 2013. - № 11. - С. 73-77.

2. Экспериментальная оценка режущей способности штрипс с модифицированной путем электроконтактной обработки рабочей по-

верхностью / М. Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. - 2014. - Т. 28, № 3. - С. 64-68.

УДК 621.9.048

ПОВЫШЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОВОЛОЧНОЙ ВИТОЙ ПИЛЫ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Криничев В.С., Богдан П.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Проволочная витая пила (рисунок 1) представляет собой стальной жгут с четырьмя или тремя стальными проволоками 1, сплетенными «косичкой»

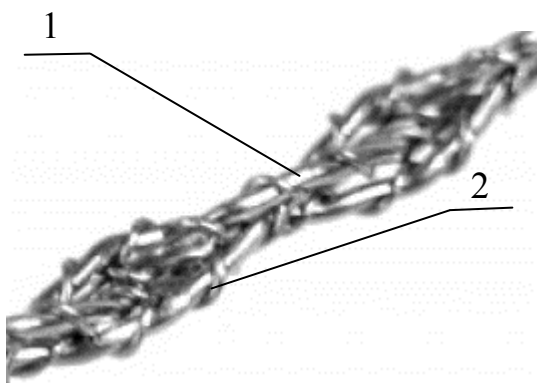


Рисунок 1 – Фотография участка проволочной пилы

В свою очередь каждая из них обмотана более тонкой проволокой 2 с шагом витка 0,5-1 мм. Рабочая длина пилы составляет порядка 500 мм, на ее концах закреплены два кольца диаметром около 3,5 мм, которые предназначены для удобства выполнения рабочих движений при осуществлении операции распиливания. Основными достоинствами проволочной пилы являются ее незначительные габариты (в свернутом виде она помещается на ладони) и малый вес, порядка 20 г. Благодаря этим качествам проволочная пила нашла применение в различных экстремальных ситуациях, в частности для распиливания дерева, в военно-полевой хирургии при ампутации конечностей (пила Джигли) [1].

Основной недостаток проволочной витой пилы связан с весьма низкой производительностью выполняемых операций, т.е. с низкой режущей способностью такого инструмента.

Согласно ранее полученным данным [2] повысить режущую способность одиночного проволочного инструмента можно путем электроэрозионной обработки (ЭЭО) его поверхности. Достигается это путем формирования на ней в результате электрической эрозии лунок, имеющих по краям наплывы застывшего металла, которые выходят за исходный контур поверхности

и выполняют роль своеобразных режущих элементов, способных снимать стружку с поверхности материалов, уступающих по твердости металлу наплавов. Исходя из этого, оправдано полагать, что электроэрозионное модифицирование поверхности проволочной пилы также позволит повысить ее режущую способность. Экспериментальному подтверждению этого положения посвящена данная работа.

В ходе экспериментов использовались образцы длиной 110 мм, полученные в результате разрезания на четыре части исходной проволочной витой пилы с фиксацией их концов с помощью пайки и формированием на них петель для крепления. Электроэрозионная обработка поверхности пилы осуществлялась по методике, описанной в работе [3], с формированием на ней лунок с шагом 3 мм. Напряжение накопительного конденсатора составляло 48 В при его емкости 300 мкФ. После завершения электроэрозионной обработки с помощью микроскопа ММИ-2 исследовалось состояние модифицированной поверхности инструмента.

Режущая способность экспериментальных образцов пилы оценивалась по значению интенсивности распиливания ими образцов из различных материалов. Для проведения этих экспериментов использовалась методика, включая специально созданную установку, описание которой приведено в работе [4]. В качестве распиливаемых материалов использовались образцы из дерева, кости и текстолита. Значение интенсивности распиливания i определялась как отношение площади F распиленного участка образца ко времени t выполнения операции $i=F/t$ (мм²/мин).

На рисунке 2 приведены значения интенсивности распиливания образцов проволочной витой пилой в ее исходном состоянии и после электроэрозионного модифицирования ее поверхности.

Из анализа представленных экспериментальных данных следует, что использование проволочной пилы после ее ЭЭО в сравнении с пилой в исходном состоянии во всех случаях обеспечивает более высокую интенсивность распиливания образцов, т.е. обладает более высокой режущей способностью. При этом степень повыше-

ния этого показателя зависит от материала распиливаемого образца. Так, наибольшее повышение значения i (в 4,3 раза) наблюдается при распиливании образца из кости: с 3,07 мм²/мин при использовании пилы в исходном состоянии до 13,21 мм²/мин при использовании пилы после ЭЭО. Меньшее увеличение i (в 2,57 раза) происходит при распиливании образца из текстолита: с 1,75 мм²/мин при использовании пилы в исход-

ном состоянии до 4,5 мм²/мин при использовании пилы после ЭЭО. Наименьшее повышение i (в 1,2 раза) наблюдается при распиливании деревянного образца: с 35,4 мм²/мин до 42,2 мм²/мин, соответственно, при использовании пилы в исходном состоянии и после ее ЭЭО. В обоих случаях распиливания с повышением твердости материала образца интенсивность его распиливания снижается.



Рисунок 2 – Значение интенсивности распиливания образцов витой проволочной пилой в исходном состоянии и после ее ЭЭО

Исследования состояния пилы после ее ЭЭО показали, что помимо формирования на поверхности такой проволоки лунок, под действием электрических разрядов может происходить нарушение ее целостности, т.е. разделение витков на части. При этом за счет освободившихся сил упругости, концы проволоки частично выпрямляются и принимают положение, при котором они выходят за исходный контур навитой проволоки. В результате этого на проволочной обмотке пилы образуются элементы в виде консольно закрепленных выступающих концов тонкой проволоки, которые, равно как и наплывы металла по краям лунок, способны осуществлять разрушение материала в процессе распиливания, повышая тем самым режущую способность инструмента.

Выводы.

1. Экспериментально подтверждено, что путем электроэрозионной обработки поверхности проволочной витой пилы можно существенно повысить ее режущую способность.
2. Установлено, что по сравнению с использованием витой проволочной пилы в ее исходном состоянии применение пилы после ее электроэрозионной обработки обеспечивает повышение интенсивности распиливания образцов из кости в

4,3 раза, текстолита – в 2,57 раза и дерева – в 1,2 раза.

3. Установлено, что после электроэрозионной обработки проволочной витой пилы помимо формирования по поверхности тонкой проволоки лунок, под действием электрических разрядов может происходить нарушение ее целостности, т.е. разделение витков на части. В результате этого на проволочной обмотке пилы образуются элементы в виде консольно выступающих концов тонкой проволоки, которые способны, наряду с наплывами металла по краям лунки, осуществлять разрушение материала в процессе распиливания, повышая тем самым режущую способность инструмента.

1. Тургунов, Е. М. Хирургические инструменты / Е. М. Тургунов, А. А. Нурбеков. – Караганда, 2008. - 48 с.
2. Эффективность применения электроконтактной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2013. - № 11. - С. 73-77.
3. Модификация исходной поверхности проволочного инструмента с целью придания ей

режущей способности путем применения электроконтактной обработки / М. Г. Киселев [и др.] // Вестник Белорусско-Российского университета. - 2012. - Т. 34, № 1. - С. 13-22.

4. Методика и оборудование для оценки режущей способности проволочного инструмента / М. Г. Киселев [и др.] // Метрология и приборостроение. - 2012. - Т. 56, № 1. - С. 23-25.

УДК 621.792

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ЕЕ УДЕЛЬНУЮ ЕМКОСТЬ ПЛАЗМОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Мониц С.Г., Миранович А.С., Багдюн А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Наряду с высокой степенью смачиваемости поверхности имплантата биологическими жидкостями, для обеспечения благоприятных условий его интеграции в организме человека необходимо, чтобы она при этом обладала высокой емкостью по отношению к ним. В этой связи, важно получить данные, отражающие влияние параметров шероховатости поверхности образцов металлических имплантатов в результате ЭЭО на значение ее емкости при взаимодействии с биологическими жидкостями.

В настоящее время для определения удельной емкости, в частности, маслосъемности поверхности трения используются два основных способа. Один из них [4], заключается в том, что на исследуемую поверхность трения наносят дозированную каплю масла и раскатывают по исследуемой поверхности с помощью ролика. По толщине масляного пятна, полученного после прокатки, определяют степень маслосъемности поверхности. Однако этот способ весьма неточен, так как невозможно абсолютно точно дозировать каплю масла и обеспечить постоянное усилие прижатия ролика по всей контролируемой поверхности, что сказывается на площади отпечатка, а, следовательно, на толщине пленки.

Второй способ [5] основан на определении скорости самопроизвольного растекания масляного пятна, образующегося между исследуемой поверхностью и прозрачной пленкой с отверстием и делениями, прижатой к ней.

Приведенные два способа обладают тем недостатком, что позволяют оценить удельную емкость косвенно, что повышает погрешность ее измерения.

Предлагаемая методика определения удельной емкости поверхности предусматривает последовательное выполнение следующих действий: измерение начальной массы образца m_1 с исследуемой поверхностью, установку образца в приспособление для центрифугирования, нане-

сение на неподвижную исследуемую поверхность жидкости, выполнение процедуры центрифугирования образца, снятие образца и измерение его конечной массы m_2 . Приращение массы образца ($\Delta m = m_1 - m_2$) соответствует массе жидкости, удержанной на его исследуемой поверхности. Зная плотность жидкости ρ и Δm , вычисляется ее объем V , который определяет удельную емкость данной поверхности:

$$V = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S}$$

Рабочая поверхность образца представляет собой кольцеобразную дорожку шириной 7,5 мм и площадью номинальной поверхности равной $S = 412 \text{ мм}^2$. Для принятых размеров масса образца не превышает 19 г, что позволяет использовать для его взвешивания прецизионные весы, в частности, *Ohaus* с верхним пределом измерения 180 г и ценой деления 10^{-7} г.

На рисунке 1а представлена схема, поясняющая процедуру проведения центрифугирования. Для ее выполнения используется электродвигатель постоянного тока 1 (ДМ-10-6А), установленный в вертикальном положении валом вверх. На нем неподвижно устанавливается оправка 2, в которой закрепляется предварительно взвешенный образец 3.

При выключенном электродвигателе с помощью пипетки на его исследуемую поверхность наносится капля жидкости 4. После этого включается электродвигатель с плавным в течении 4 секунд увеличением частоты вращения вала до значения 800 мин. По истечении 5 секунд работы двигателя на этой частоте, он отключается, образец снимается с оправки и взвешивается. На рисунке 2в представлена фотография общего вида созданного устройства для центрифугирования образцов. В результате выполнения этой процедуры излишки жидкости с исследуемой поверх-

ности образца удаляется, а оставшаяся ее часть в виде тонкого слоя 5 задерживается на ней. Объем этой части жидкости характеризует емкость исследуемой поверхности, соответствующую данным условиям ее центрифугирования.

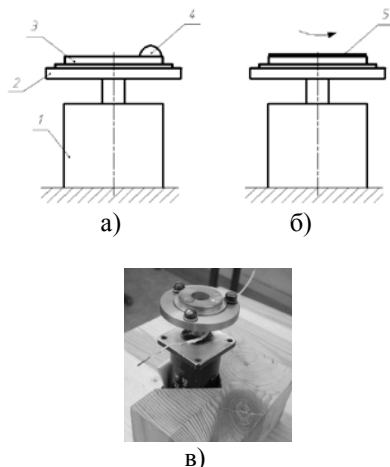


Рисунок 1 – Схема центрифугирования (а, б) и фотография устройства для центрифугирования образца (в)

С использованием методики центрифугирования получены экспериментальные данные (рисунок 2) влияния способа обработки поверхности образцов на значение ее удельной емкости q при взаимодействии с различными жидкостями, в частности, с водой, 0,9% физраствором хлорида натрия и плазмой крови человека, которые, соответственно, имеют плотность 1,0; 1,01 и 1,026 г/мл.

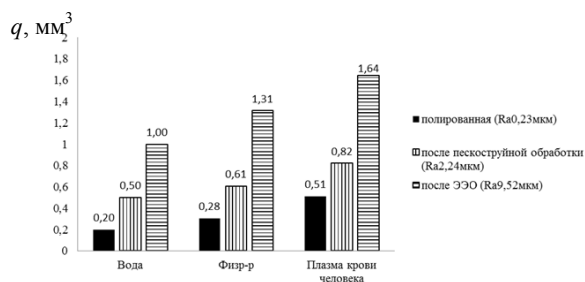


Рисунок 2. – Диаграмма зависимости удельной емкости q модифицированной тремя способами поверхности образца при взаимодействии с различными жидкостями

Исследуемые поверхности образцов обрабатывались тремя способами: полированием ($Ra = 0,23$ мкм), пескоструйной ($Ra = 2,24$ мкм) и электроэрозионной обработкой ($Ra = 9,52$ мкм).

Из анализа приведенных данных следует, что наименьшим значением удельной емкости q по отношению ко всем используемым жидкостям характеризуется полированная поверхность образцов. В сравнении с ней пескоструйная обработка поверхности образцов приводит к увеличению ее удельной емкости по отношению ко

всем примененным жидкостям. В частности, для плазмы крови человека, значение q увеличилось в 1,3 раза. У поверхности образцов после ЭЭО это увеличение составило в 1,62 раза. Следует отметить, что во всех случаях с повышением плотности взаимодействующей с поверхностью образца жидкостью значение q возрастает, что можно объяснить увеличением их вязкости.

Как известно [2], удельная емкость поверхности зависит от длины L границы раздела между ней и жидкостью. Поэтому полированная поверхность образцов, характеризующаяся малым значением шероховатости поверхности, обладает минимальной удельной емкостью. В результате пескоструйной обработки шероховатость поверхности образцов увеличивается, соответственно, возрастает значение параметра L , что сопровождается повышением ее удельной емкости. Наибольшей шероховатостью характеризуется поверхность образцов, подвергнутая ЭЭО, что определяет ее наибольшую из сравниваемых образцов емкость. Также следует отметить, что повышению удельной емкости поверхности образцов после ЭЭО, способствует наличие на ней множества лунок, по форме близкой к сферической и имеющих по краям наплывы металла, которые в совокупности выполняют роль своеобразных микрокарманов (микроратеров), способствующих удержанию на ней жидкости [2].

На основании обобщенного анализа результатов проведенных исследований установлено, что наилучшей смачиваемостью биологическими жидкостями, в частности, плазмой крови человека, и наибольшей удельной емкостью по отношению к ней обладает поверхность образцов металлических имплантатов после ее ЭЭО на режимах, обеспечивающих формирование на ней шероховатости с высотными параметрами $Ra = 9,52-10,30$ мкм и $Rz = 48,0-52,6$ мкм и шаговым параметром $Sm = 425-510$ мкм.

1. Киселев, М.Г. Методика и аппаратные средства определения емкости поверхности способом центрифугирования взаимодействующей с ней жидкости / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, С.Г.Монич // Метрология приборостроения. – 2013. – №4. – С.29–34.
2. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик // М.: Наука. – 1972. – 702с.
3. Кузнецов В.П., Дмитриева О.В. Моделирование и исследование формирования плосковершинного микрорельефа поверхностей трения со смазочными микрокарманами при многоцелевой обработке деталей. «Известия Томского политехнического университета» №2. – Томск. – 2011.
4. Морозенко Б.Н., Проволоцкий А.Е., Андреев Б.И., Пасько Л.П. Определение маслоемкости

- поверхностей трения. «Вестник машиностроения», 1974, №2, с.48-49.
5. Радионенко А.В. Способ определения маслостойкости поверхности трения. Патент SU 985549. Оpubл. 30.12.1982.
 6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик // М.: Наука. – 1972. – 702с.
 7. Theisen W, Schuermann A. Electro discharge machining of nickel–titanium shape memory alloys. Mater Sci Eng A. 2004;378:200–204
 8. Chen SL, Yan BH, Huang FY. Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti–6Al–4V. J Mater Process Technol. 1999;15:107–111
 9. Wang ZL, Lee HG, Aspinwall DK, Dewes RC, Aspinwall EM. Workpiece surface modification using electrical discharge machining. Int J Mach Tools Manuf. 2003;43:121–128
 10. Wang ZL, Fang Y, Wu PN, Zhao WS, Cheng K. Surface modification process by electrical discharge machining with a Ti powder green compact electrode. J Mater Process Technol. 2002;129:139–142.

УДК 621.792

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО ИМПЛАНТАТА С ЧАСТИЧНЫМ РЕГУЛЯРНЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ ПРИ ЕЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКЕ

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Миранович А.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В технологии изготовления металлических имплантатов важным заключительным этапом является операция модификации их поверхностей с целью придания им такого микрорельефа, параметры которого обеспечивают наибольший уровень прочностных и биомеханических показателей при их взаимодействии с тканями организма. В настоящее время для этого в основном используется пескоструйная, гидроабразивная и дробеструйная обработка поверхности имплантатов [1,2]. Характерным для них является то, что получаемая на обработанной поверхности шероховатость имеет произвольное направление неровностей. Однако эти способы обработки имеют ограниченные технологические возможности с точки зрения формирования шероховатости модифицированной поверхности с большими значениями ее высотных и шаговых параметров, а также не позволяют получать поверхности с регулярным микрорельефом. По этой причине на сегодня недостаточно изученными остались вопросы влияния таких значений указанных параметров шероховатости модифицированной поверхности металлических имплантатов на их эксплуатационные показатели [1-2].

Для получения таких данных, в первую очередь, необходимо определить рациональный способ модификации поверхности, обеспечивающий формирование на ней шероховатости с широким диапазоном варьирования ее высотных и шаговых параметров, а также получения на ней регулярного микрорельефа.

Цель данной работы определить зависимость между параметрами микрорельефа модифицированной поверхности и режимами ее электрокон-

тактной обработки (ЭКО) с использованием проволочного электрода-инструмента.

На рисунке 1 представлена технологическая схема ЭКО цилиндрической поверхности образца металлического имплантата с использованием проволочного электрода-инструмента. Обрабатываемый цилиндрический образец 4 закрепляется в цанговом патроне станка. От привода станка он получает равномерное вращательное движение вокруг своей оси с частотой $n_{об}$. На поперечном суппорте станка смонтирован электромагнит 1, корпус которого электрически от него изолирован.

На оправке электромагнита неподвижно закреплен проволочный электрод-инструмент 3, имеющие свободную длину L . Предварительно, за счет регулировочных перемещений электродвигателя в поперечном направлении, он устанавливается в положение, при котором взаимодействие обрабатываемой поверхности образца с вращающимся проволочным элементом протекает в условиях упругого деформирования последнего. Наибольшее значение этой деформации определяется величиной предварительно установленного натяга $\delta = L - k$. Для обработки цилиндрической поверхности образца на всю требуемую длину электродвигателю с закрепленными на его валу инструментами сообщается продольная подача $S_{п.п.}$. Электрическая схема включает в себя источник питания постоянного тока ИП, токоподводящие контакты 2, накопительный конденсатор C , включенный параллельно контактирующим поверхностям проволочного электрода-инструмента и образца, а также последовательно подключенного им токо-

ограничивающего резистора R . При колебании электродов-инструментов, они, периодически взаимодействуя с поверхностью образца, вызывают прерывание электрической цепи, что сопровождается возникновением электрических разрядов. В результате их действия происходит удаление металла с поверхности образца с формированием на ней характерных лунок, совокупность которых определяет микрорельеф модифицированной поверхности.

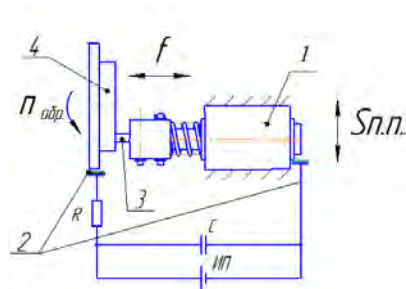


Рисунок 1 – Технологическая схема ЭКО цилиндрической поверхности образца металлического имплантата с использованием проволочного электрода-инструмента

Очевидно, что параметры получаемого регулярного микрорельефа, т.е. размеры лунок и характер их расположения на модифицированной поверхности определяются режимами ее электроконтактной обработки. В рассматриваемом случае основными параметрами режима ЭКО являются: напряжение U и емкость C накопительного конденсатора; время прохождения электрического импульса; частота вращения обрабатываемого образца, диаметром; частота колебаний проволочного электрода-инструмента; а также продольная подача.

Предварительно с помощью проволочного электрода-инструмента на полированную поверхность образцов, наблюдаемую через увеличительное стекло, вручную с помощью проволочного диаметром 0,35 мм электрода-инструмента последовательно с заданным шагом наносились лунки ($\beta \approx 1$). На образце (рисунок 2) обрабатывалась поверхность площадью порядка 70 мм^2 . Затем с помощью профилометра-профилографа измерялись параметры шероховатости модифицированной поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Исследование морфологии поверхности образцов выполнялось на аттестованном сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mіга» фирмы «Tescan» (Чехия) (рис.3). Погрешность метода в данном случае составляет 3-5 относительных процентов. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ. Область возбуждения рентгеновского излучения 0,5 мкм.

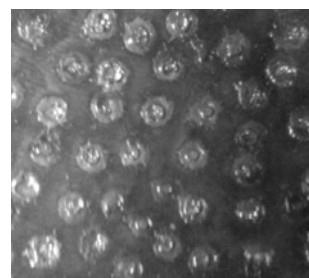


Рисунок 2 – Фотография участка модифицированной поверхности образца

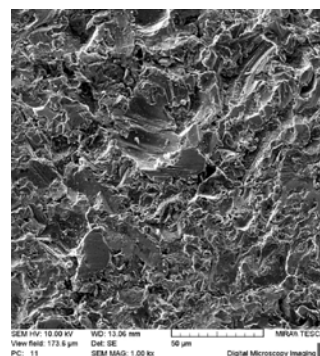


Рисунок 3 – Протокол измерения шероховатости поверхности образца

Съемку морфологии поверхности проводили с использованием детекторов вторичных электронов (SE) и обратно отраженных электронов (BSE).

1. Киселев М.Г., Дроздов А.В., Борисов В.А. Применение электроконтактной виброударной обработки для модификации образцов титановых имплантатов. Сборник докладов международного симпозиума «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка». – Мн.: 2011, с. 53-57.
2. Савич В.В. Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В.В. Савич, Д.И. Сарока, М.Г. Киселев, М.Г. Макаренко; под научн. ред. В.В. Савича. – Мн.: Беларус. навука, 2012. – 244 с.
3. Киселев, М.Г. Применение электроконтактной виброударной обработки для модификации образцов титановых имплантатов. / М.Г. Киселев, А.В. Дроздов, В.А. Борисов // Сборник докладов международного симпозиума «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка». – Мн.: 2011, с. 53-57.
4. Total joint replacement/ W.Petty. - Philadelphia: W.B.Sauders Inc., 1991. - 814 p.

5. Semlitsch M., Willert H.G., Doerre E.: Neue Werkstoffpaarung Al₂O₃-Keramik/Polyaethylen zur Verminderung des Polyaethylenabriebs bei Gelenkpfannen von Huefttotalendoprothesen. - Med. Orthop. Tech. - 1975. - N6. - S.143-144.
6. Jef A. Helsen, H. Jurgen Breme Metals as biomaterial. – Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1998. – 335 p.
7. Eisenbarth E. et al. Influence of the surface structure of titanium materials on the adhesion of fibroblasts.// J. Biomaterials. – 1996. – 17. – P. 1399-1404.
8. Hansson H.A. et al. Structural aspects of the interface between tissue and titanium implants.// J. Prosthet. Dent. – 1983. – 50 – P. 108-116.
9. Z.Polesinski, J.Karas, Z.Jagermann and all. Porowate Implanty Korundowe jako nosniki antybiotykow// Proceedings of III Symposium IOP 2001. Bialystok, 25-27 June 2001. P.193-201.
10. Jarcho M.: Calcium phosphate ceramics as hard tissue prosthetics. - Clin. Orthop. - 1981. - B.157. - P.259-278.

УДК 621.792

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ЕЕ СМАЧИВАЕМОСТЬ ПЛАЗМОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Киселев М.Г., Дроздов А.В., Мониц С.Г.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Степень смачиваемости поверхности имплантата биологическими жидкостями организма является одной из основных ее характеристик, обеспечивающих эффективное протекание процесса его интеграции. Чем выше этот показатель, тем большей потенциальной биоактивностью обладает поверхность имплантата. Поэтому установление влияния параметров шероховатости модифицированной путем электроэрозионной обработки (ЭЭО) поверхности образцов на ее смачиваемость биологическими жидкостями, в частности, плазмой крови человека, является первоочередной задачей при оценке ее биомеханических характеристик.

Смачиваемость поверхности образцов оценивалась по методике, изложенной в работе [1]. В ее основе лежит метод свободно лежащей капли, который относится к статическим методам определения поверхностного натяжения жидкости. Его сущность заключается в определении профиля капли, лежащей на поверхности, с вычислением краевого угла смачивания. Для этого на исследуемую поверхность наносят каплю соответствующей жидкости, фотографируют ее и по полученной фотографии определяют необходимые для расчета краевого угла смачивания параметры (рисунок 1). В частности, l , h – диаметр и высота капли, лежащей на полированной (исходной) поверхности, соответственно, а l_1 , h_1 – диаметр и высота капли, лежащей на исследуемой поверхности, соответственно.

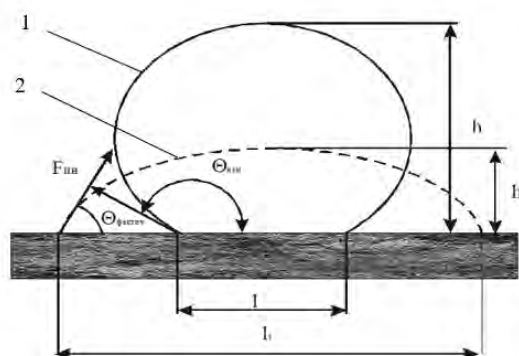


Рисунок 1. – Геометрические параметры свободно лежащей капли

Кроме того для расчета данного краевого угла смачивания необходимо располагать данными как профиля капли 1, лежащей на полированной поверхности, так и профиля капли 2, лежащей на исследуемой (шероховатой) поверхности.

Краевой угол смачивания (угол θ) образуется векторами сил поверхностного натяжения, направленными по касательной к поверхностям раздела «твердое тело-жидкость» и «жидкость-воздух». При полном смачивании $\theta=0^\circ$, а при полном несмачивании $\theta=180^\circ$. Значение угла θ вычислялось по формуле

$$\sin(\theta/2) = \frac{l_1 * h_1 * k^2}{(l_1/2)^2 * k^4 + h_1^2},$$

где $k = \frac{Ra}{Ra_{(исх)}}$, Ra – параметр шероховатости

обработанной поверхности, $Ra_{(исх)}$ – параметр шероховатости полированной (исходной) поверхности.

Измерение краевого угла смачивания проводилось в следующей последовательности. Плоский образец устанавливался на горизонтально расположенную плоскость испытуемой (обработанной) поверхностью вверх, которая предварительно была очищена, обезжирена и высушена. В качестве биологической жидкости использовалась плазма крови человека, которая с помощью шприца наносилась на поверхность образца в виде равноразмерных капель (рисунок 2).



а)



б)

Рисунок 2. – Фотография профиля капли плазмы крови человека на полированной (а) и исследуемой (б) поверхности образца

Затем с использованием цифрового фотоаппарата производилась съемка увеличенного с помощью катетометра КМ-6, профиля полученной на поверхности образца капли и с помощью программных средств (КОМПАС v.15.1) осуществлялось измерение параметров, необходимых для вычисления краевого угла смачивания (краевой угол смачивания, высота и длина лежащей капли).

Чем оно меньше, тем выше степень смачиваемости поверхности при данных параметрах ее шероховатости. В ходе проведения этих исследований определялось значение $\theta_{расч.}$ при расположении свободно лежащей капли плазмы крови человека на поверхности образцов, имеющих различные параметры шероховатости, полученные в результате ее ЭЭО при различных значениях энергии электрического разряда с использованием дистиллированной воды. Перед нанесением капли плазмы крови человека на поверхность образца она тщательно очищалась и высушивалась. Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Величина расчетного краевого угла смачивания $\theta_{расч.}$ плазмой крови человека поверхности образцов с различными параметрами ее шероховатости

Материал образца	Величина $\theta_{расч.}^0$ при различных значениях параметров Ra , мкм и Sm , мкм шероховатости поверхности образцов					
	$Ra=1$ $Sm=6,4$	$Ra=6$ $Sm=170$	$Ra=7,5$ $Sm=226$	$Ra=9$ $Sm=380$	$Ra=10$ $Sm=456$	$Ra=11$ $Sm=480$
сплав ВТ1-0	57,8	17,9	12,8	8,5	7,2	7,1

В таблице в первой графе приведены значения Ra и Sm , соответствующие исходному состоянию поверхности образцов, т.е. после токарной обработки. Во всех остальных графах значения параметров Ra и Sm получены после ЭЭО поверхности образцов при различных значениях U .

Исходя из анализа приведенных экспериментальных данных, следует отметить следующее. Параметры шероховатости поверхности образцов существенным образом влияют на значение угла $\theta_{расч.}$, т.е. на ее смачиваемость плазмой крови человека. Наименьшей смачиваемостью характеризуется поверхность образцов в ее исходном состоянии. Так для титанового образца ($Ra = 1,28$ мкм и $Sm = 6,4$ мкм) величина $\theta_{расч.}$ составила $57,8^0$. По мере увеличения параметров Ra и Sm шероховатости поверхности образцов от указанных значений, величина угла $\theta_{расч.}$ вначале (при Ra в пределах от 5,6 до 5,9 мкм и $Sm = 170-176$ мкм) резко снижается. Затем, с увеличением параметров Ra и Sm , темп этого снижения падает и при $Ra \geq 10,2$ мкм и $Sm \geq 410$ мкм для титанового образца величина $\theta_{расч.}$ принимает постоянную величину, равную 7^0 .

Исходя из этого, можно констатировать, что наибольшей смачиваемостью плазмой крови человека характеризуется поверхность титанового образца ($\theta_{расч.} = 7^0$) при $Ra = 11,6$ мкм и $Sm = 490$ мкм.

Таким образом, применение ЭЭО с целью модифицирования поверхности образцов металлических имплантатов позволяет, за счет использования соответствующего значения энергии электрического разряда и условий его протекания, обеспечить на ней параметры шероховатости, при которых она характеризуется наибольшей смачиваемостью плазмой крови человека.

1. Киселев М.Г., П.О. Корзун, Т.П. Павич. Определение вида микрорельефа обработанной поверхности, обеспечивающего ее наибольшую площадь и объем при контактировании с жидкостью. «Вестник ГГТУ

- им. П.О. Сухого» №4. – Гомель. – 2009, с. 40-52.
- Кузнецов В.П., Дмитриева О.В. Моделирование и исследование формирования плосковершинного микрорельефа поверхностей трения со смазочными микрокарманами при многоцелевой обработке деталей. «Известия Томского политехнического университета» №2. – Томск. – 2011.
 - Морозенко Б.Н., Проволоцкий А.Е., Андреев Б.И., Пасько Л.П. Определение маслостойкости поверхностей трения. «Вестник машиностроения», 1974, №2, с.48-49.
 - Радионенко А.В. Способ определения маслостойкости поверхности трения. Патент SU 985549. Оpubл. 30.12.1982.
 - Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик // М.: Наука. – 1972. – 702с.
 - Theisen W, Schuermann A. Electro discharge machining of nickel–titanium shape memory alloys. Mater Sci Eng A. 2004;378:200–204.
 - Chen SL, Yan BH, Huang FY. Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti–6Al–4V. J Mater Process Technol. 1999;15:107–111.
 - Wang ZL, Lee HG, Aspinwall DK, Dewes RC, Aspinwall EM. Workpiece surface modification using electrical discharge machining. Int J Mach Tools Manuf. 2003;43:121–128.
 - Wang ZL, Fang Y, Wu PN, Zhao WS, Cheng K. Surface modification process by electrical discharge machining with a Ti powder green compact electrode. J Mater Process Technol. 2002;129:139–142.
 - Lin YC, Yan BH, Chang YS. Machining characteristics of titanium alloy (Ti–6Al–4V) using a combination process of EDM with USM. J Mater Process Technol. 2000;104:171–177.

УДК 533.9.08; 539.216

УПРАВЛЯЕМОЕ РЕАКТИВНОЕ МАГНЕТРОННОЕ НАНЕСЕНИЕ TiAlN ПОКРЫТИЙ

Климович И.М., Бурмаков А.П., Зайков В.А., Кулешов В.Н., Романов И.А.

*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

Введение

Основной проблемой реактивного магнетронного распыления является неустойчивость параметров разряда в «переходных» режимах горения. В таких режимах часть поверхности катода магнетрона покрыта соединением металла и реактивного газа, а часть поверхности остается металлической. Переходные режимы представляют значительный интерес для получения покрытий с заданной стехиометрией состава и получения высокой скорости их роста [1]. Для поддержания процесса распыления в «переходном» режиме необходимо обеспечить обратную связь между параметрами плазмы магнетронного разряда и расходом реактивного газа путем управления расходом реактивного газа в реальном времени. Такое управление может базироваться на оптической эмиссионной спектроскопии [2]. Алгоритмы оптического управления сводятся к выводу магнетронного разряда на требуемый химический состав плазмы и его поддержанию путем управления расходом реактивного газа по сигналам, получаемым из оптического излучения плазмы разряда.

Алгоритмы оптического управления можно условно разделить на одно- и двухканальные по числу контрольных элементов спектра из обла-

сти катода магнетронного распылителя. Одноканальный алгоритм сводится к поддержанию на заданном уровне интенсивности одного контрольного элемента спектра, используя обратную связь с расходом реактивного газа. В качестве контрольного элемента может быть взята как спектральная линия материала катода (алгоритм 1), так и молекулярная полоса реактивного газа (алгоритм 2). Двухканальный алгоритм сводится к одновременной регистрации интенсивности двух контрольных элементов. В качестве контрольных элементов можно использовать спектральные элементы материала катода и реактивного газа. Управляющий расходом реактивного газа сигнал формируется таким образом, что отношение интенсивностей элемента реактивного газа к элементу материала катода (алгоритм 3) поддерживается на заданном постоянном уровне. Рассмотрим представленные алгоритмы на примере нанесения TiN и TiAlN покрытий.

На рис. 1 представлены результаты исследования влияния низкочастотной нестабильности мощности магнетронного разряда на состав осаждаемого потока для различных алгоритмов оптического управления расходом азота. Кривые нормированы к единице для плотности мощности $33,5 \text{ Вт/см}^2$, соответствующей покрытию

стехиометрического состава. Видно, что при использовании одноканальных алгоритмов управления колебания мощности разряда приводят к существенному изменению состава осаждаемого потока (кривые 1, 2). Влияние колебаний мощности на состав газовой среды минимально при использовании алгоритма 3 (кривая 5).

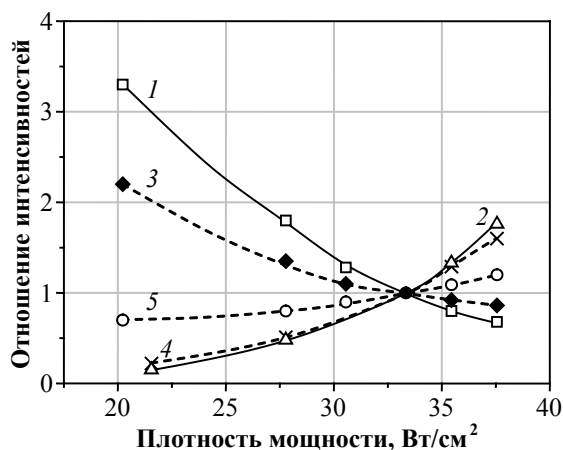


Рисунок 1 - Зависимость отношения интенсивностей линий I_{N2}/I_{Ti} (1, 2); I_{N2}/I_{Ar} (3-5) от плотности мощности магнетронного разряда при давлении 0,42 Па для процессов осаждения нитрида титана с использованием алгоритмов управления расходом азота: 1 и 3 - $I_{N2\ 357,7} = const$, 2 и 4 - $I_{Ti\ 365,4} = const$, 5 - $I_{N2\ 357,7}/I_{Ti\ 365,4} = const$

Рассмотрим результаты практической реализации метода оптического управления реактивным магнетронным распылением на примере формирования наноструктурированных TiAlN покрытий с улучшенными структурными и механическими свойствами.

Нанесение TiAlN покрытий проводили на модернизированной установке УВН-2М, оснащенной магнетронным распылителем, ионным источником типа «Радикал», системой нагрева подложек, системой подачи смещения на подложку и системой контроля расхода газов. Контролировались следующие параметры разряда: ток, напряжение, суммарное давление смеси аргон-реактивный газ, температура подложки, напряжение и ток смещения на подложку.

Процесс распыления проводили с использованием мозаичной мишени на основе Ti (110 мм) с цилиндрическими Al вставками (10 мм), расположенными по среднему диаметру зоны эрозии (67 мм). Расстояние мишень-подложка выбиралось равным 80 мм. Мощность разряда поддерживалась постоянной и задавалась в диапазоне от 400 до 600 Вт.

Управление процессом напуска реактивного газа проводили по одноканальному алгоритму. Напуск азота контролировался по интенсивности спектральной линии титана Ti I 506,5 нм,

величина которой поддерживалась постоянной и связана со степенью реактивности α [2]:

$$\alpha = \frac{I_0 - I}{I_0 - I^*},$$

где I_0 – интенсивность атомной линии металла мишени ($\lambda = 506,5$ нм); I – текущая величина интенсивности линии титана при осаждении; I^* – интенсивность линии металла для полностью азотированной мишени.

Режимы реактивного магнетронного распыления: давление $P = 7,0 \cdot 10^{-2}$ Па; напряжение на источнике питания $U = 300-320$ В; ток разряда $I = 1,3-1,75$ А; температура подложки $T = 220$ °С; потенциал смещения $U_{см}$ на подложке задавался равным -90 В; степень реактивности α задавалась равной 0,55, 0,60 и 0,65 (чем больше значение α , тем больше напуск азота во время осаждения покрытий). Время нанесения выбиралось в соответствии с предъявляемыми требованиями к толщине покрытия. В некоторых случаях требовалось нанесение подслоя TiAl для улучшения адгезионных качеств покрытия.

Для исследования элементного состава сформированных покрытий TiAlN на кремниевых подложках (толщина ~0,5 мкм) применялся метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (спектры регистрировались датчиком рентгеновского излучения компании Princeton Gamma-Tech, Inc). Микротвердость системы покрытие-подложка измерялась на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,5 Н (в качестве подложек использовался твердосплавный материал ВК-20, толщина исследуемых покрытий составляла ~1,5 мкм).

В табл. 1 представлены количественные соотношения элементов и результаты измерения твердости H в покрытиях TiAlN, полученных в режимах нанесения с различным соотношением напуска инертного и реактивного газов в камеру в процессе осаждения (различными степенями реактивности).

Табл. 1. Результаты энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии и твердости исследуемых TiAlN покрытий

α	Элементное содержание, ат.%			H , ГПа
	Ti	Al	N	
0,55	38,00	25,23	36,77	18,39
0,60	38,17	24,85	36,98	24,86
0,65	34,66	23,10	42,24	20,30

Присутствие кислорода, негативно влияющего на механические свойства покрытий, методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии не обнаружено. Также, из табл. 1 видно, что при увеличении степени реактивности

(т.е. увеличении напуска азота в вакуумную камеру в процессе осаждения) количество азота в сформированном покрытии растёт.

Результаты измерения твердости показали, что H существенно зависит от степени реактивности и наибольшее значение H имеет покрытие, сформированное при степени реактивности $\alpha = 0,60$.

Выводы

Результаты исследования показали, что метод контролируемого реактивного магнетронного распыления позволяет получать качественные бескислородные наноструктурированные TiAlN покрытия с высоким значением твердости.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии установлено, что элементный состав покрытий, формируемых с использованием одноканального алгоритма управления процессом реактивного магнетронного распы-

ления, определяется заданным с помощью прибора управления значением степени реактивности.

1. Spencer, A.G. Pressure stability in reactive magnetron sputtering / A.G. Spencer, R.P. Howson, R.W. Lewin // Thin Solid Films. – 1988. – Vol. 158. – P. 141–149.
2. Бурмаков, А.П. Спектроскопическая система контроля расхода газов и содержания примесей в процессе магнетронного осаждения пленок / А.П. Бурмаков, В.Н. Кулешов // ЖПС. – 2007. – Т. 74, № 3. – С. 412 – 416.
3. Комаров, Ф.Ф. Контролируемое нанесение Ti-Al-N покрытий методом реактивного магнетронного распыления / Ф.Ф. Комаров [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2014. – Т. 58, № 5. – С. 40–43.

УДК 535.015, 535.422

МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Кожевников Д.А., Фёдорцев Р.В., Старосотников Н.О.

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

Дисторсия является основной аберрацией, которая влияет на качество изображения при работе фотографических систем, предназначенных для дистанционного зондирования Земли. В связи со значительными ошибками (такими как: бочкообразная и подушкообразная геометрия изображения), возникающими в оптических системах (ОС) при данной аберрации, исправление объективов на дисторсию является важной задачей в современном оптическом приборостроении. Геометрическая калибровка съёмочных аэрофотографических оптических систем предусматривает определение фотограмметрических параметров, подвергаемых калибровке оптико-электронных приборов (ОЭП). Знание указанных параметров необходимо для осуществления географической координатной привязки получаемых изображений к рельефу обрабатываемого участка, а также приведения их к общему масштабу и совмещению изображений.

При определении величины дисторсии часто определяют суммарные её расчётные значения и погрешности, связанные с различными способами изготовления и сборки деталей объектива, погрешностями установки объектива при контроле дисторсии, погрешностями измерений и т. п.

Общей схемой геометрической калибровки ОЭП (рисунок 1) является проецирование на фотоприёмник (ФП) векторов с известной пространственной ориентацией. По их изображениям на ФП, ФП регистрирует их

пространственное положение в системе координат ОЭП. Таким образом в данной схеме периодическая структура ФП ОЭА будет являться измерительной шкалой. Невязки спроецированных векторов и их изображений будут определять дисторсию ОЭП.

Главным различием методов геометрической калибровки можно назвать способ формирования векторов с известной пространственной ориентацией.

Известны способы калибровки аэрофотографической системы на основе **снимков звёзд**. Преимущества этого метода заключается в простоте реализации, в отсутствии необходимости использования дополнительного оборудования, кроме точных часов. Основным недостатком данного метода является то, обстоятельство что условия калибровки отличаются от реальной съёмки [2], а также зависимость от метеорологической обстановки. Более эффективным является метод калибровки оптической системы по снимкам специального тестового объекта или полигона. Принцип геометрической калибровки может основываться на обработке получаемых оптической системой изображений тестовых элементов с изначально известными с высокой точностью координатами [3]. Главным различием методов геометрической калибровки можно назвать способ формирования опорных направлений, которые предъявляются оптической системе в процессе калибровки.

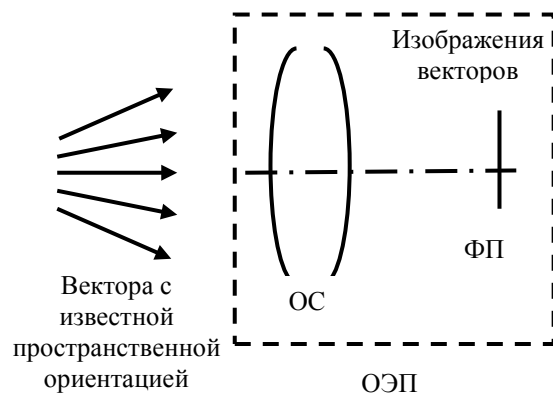


Рисунок 1. Общая схема геометрической калибровки ОЭП

В настоящее время при калибровке ОС чаще всего используются **коллимационные схемы**. В ходе измерения с использованием этих схем подлежащая калибровке фотографическая система регистрирует изображение бесконечно удаленного точечного источника излучения или удаленного тестового объекта [4].

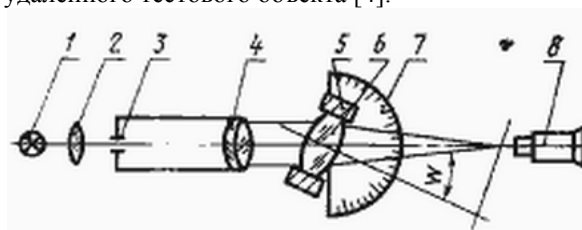


Рисунок 2. Схема измерения дисторсии:
1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – раздвижная щель; 4 – коллиматор; 5 – объективодержатель; 6 – испытуемый объектив; 7 – шкала отсчета угловых перемещений объектива; 8 – автоколлиматор

Точное измерение направления осуществляется установкой коллиматора или подлежащей калибровке камеры на прецизионном поворотном устройстве (рисунок 2). Также имеет место установка множества удаленных тестовых объектов, направления на которые измеряются при помощи теодолита [5]. Повышение точности измерений в данном случае производится усовершенствованием конструкции и схем коллиматоров, использованием в роли тест-объекта матрицы с известными расстояниями между элементами тест-объекта (рисунок 3).

Также решение задачи калибровки оптических систем достигается путем вывода новых математических зависимостей и алгоритмов. В работе [6] использовались полиномы Цернике для разделения направлений децентрировки, на последующем этапе, с учетом порядка разложения, формируются наборы косинусных и синусных полиномов, которые позволяют отдельно оценить наличие ошибок сборки и изготовления

оптической системы. Помимо этого, известны работы, в которых описывается аналитический метод **самокалибровки** [2]. Сущность метода состоит в том, что одновременно определяются поправки к приближенным элементам внутреннего ориентирования и суммарные поправки к координатам точек для компенсации влияния всех источников систематических ошибок.

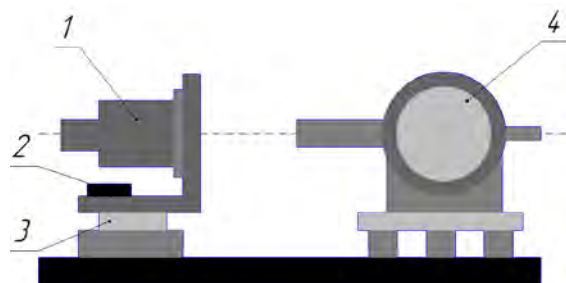


Рисунок 3. Схема геометрической калибровки:
1 – испытуемая система с ПЗС ФП; 2 – накладной уровень; 3 – прецизионное поворотное устройство; 4 – автоколлимационный теодолит

Алгоритм определение положения линий на изображении теста происходит с учетом следующих формул и выражений:

Расчет яркостного изображения строки теста из его многоспектрального изображения:

$$S_Y(x) = \sum_{r=0}^{nRad-1} S_r(x), \quad (1)$$

где $S_r(x)$ – спектральные компоненты, $nRad$ – количество спектральных компонентов.

Применение к яркостному изображению согласованного фильтра с формой $K(x)$ импульса вертикальной полосы:

$$S_{YF}(\tau) = \sum_x S_Y(x)K(x - \tau). \quad (2)$$

Определение положения экстремумов фильтрованного сигнала изображения, соответствующие вертикальным линиям теста:

$$XM = \max_{\tau} S_{YF}(\tau). \quad (3)$$

Оценка кривой дисторсии происходит по следующим положениям:

Расчет графика дисторсии, как разности между положениями вертикальных линий, отстоящих между собой на расстоянии y :

$$y'(i) = XM_{i+y} - XM_i, \quad (4)$$

где y' – размер изображения, y – расстояние между линиями на тесте (рисунок 4).

Значение $y'(i)$ присваивается линии $Coord(i)$, соответствующей центру интервала:

$$y'(i) = XM_{i+y} - XM_i \quad (5)$$

$$Coord(i) = XM_i + y/2 \quad (6)$$

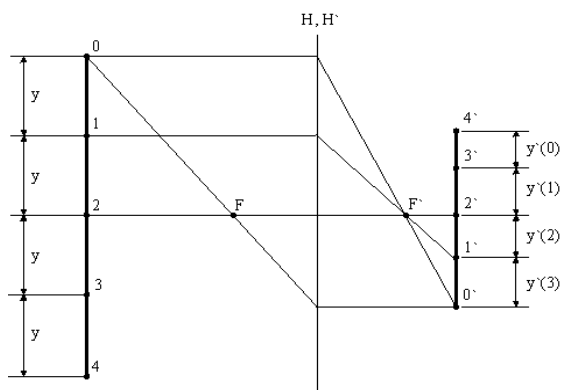


Рисунок 4. Плоскости объектов и изображений оптической системы

1. ГОСТ 20825-75. Объективы съемочные. Методы измерений дисторсии. – Введ. 01.07.1976. – М.: Издательство – стандартов. 12с.
2. Курков, В.М. Методы учёта систематических искажения аэроснимка. Самокалибровка / В.М. Курков // Изв. вузов.

- Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1980. – № 6. – С. 75-79.
3. Cramer M. EUROSDR network on digital camera calibration // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, Vol.35, Part B6, Istanbul, P.204-209.
 4. Schuster R., Braunecker B. Calibration of the ADS40 airborne digital sensor // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, Vol.33, Part B1, Amsterdam, P.288-294.
 5. Alharthy A., Bethel J. Laboratory self-calibration of a multi-band sensor // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, Vol.34, Part 3A, Graz, Austria, P.23-28.
 6. Ежова, К.В. Математическое моделирование фотограмметрической дисторсии / К.В. Ежова // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2006. – Вып. 26. – С. 235-239.

УДК 512.624.95:378.147.091.3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВВЕДЕНИЯ БАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ХТР

Крупенкова Т.Г.¹, Липницкий В.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Военная академия Республики Беларусь

Минск, Республика Беларусь

Рассматриваемая криптографическая система, а также описываемый в данной работе подход в применении к криптографическим протоколам были впервые предложены в 2000 году на ежегодной международной научной конференции «Сгурто-2000» авторами – Ленстрой А.К. и Верхейлом Э.Р. [1].

Название ХТР явилось удачной аббревиатурой английского словосочетания «Efficient and Compact Subgroup Trace Representation».

Становящиеся классическими система обмена ключами Диффи-Хелмана, криптографические системы RSA и Эль Гамала и созданные на их основе системы цифровой подписи, базируются на арифметике колец классов вычетов Z/nZ , где n либо является простым числом, либо произведением двух простых чисел. ХТР-криптография основывается на конечных полях, а точнее, на взаимоотношениях в башне расширений конечных полей

$$GF(p) \subset GF(p^2) \subset GF(p^6)$$

и вычислениях в полях $GF(p^2)$ с большими простыми числами p .

Современный немецкий математик и криптограф Шнорр К.П. в 1991 году предложил использовать в криптосистеме Эль Гамала следующую оригинальную идею – заменять образующие g мультипликативных групп $GF(p)^*$ полей $GF(p) = Z/pZ$ на образующие подгрупп максимально высокого простого порядка q этих мультипликативных групп [2].

Такой подход приводит практически к пятикратному уменьшению размеров применяемых ключей, отнюдь не снижая при этом вязкости вычислений и криптостойкости систем.

Идея Шнорра К. П. находит широкое применение и в ХТР-криптографии. Здесь q – достаточно большой (максимально большой) простой делитель порядка $p^2 - p + 1$ подгруппы мультипликативной группы $GF(p^6)^*$.

Пусть p – нечетное простое число, сравнимое с 2 по модулю 3: $p \equiv 2 \pmod{3}$. Тогда поле

Галуа $GF(p^6)$ содержит мультипликативную группу $GF(p^6)^*$ порядка

$$p^6 - 1 = (p^3 - 1)(p + 1)(p^2 - p + 1).$$

Приведенное вычисление свидетельствует о существовании в группе $GF(p^6)^*$ циклической подгруппы $\langle \tilde{g} \rangle$ порядка $p^2 - p + 1$. При этом элемент $\tilde{g} \in GF(p^6)^*$ не может принадлежать ни одному из подполей поля $GF(p^6)$: ни $GF(p^3)$, ни $GF(p^2)$, ни $GF(p) = Z/pZ$, потому, что порядок $p^2 - p + 1$ элемента \tilde{g} не делится ни один из порядков $p^3 - 1$, $p^2 - 1$, $p - 1$ мультипликативных групп $GF(p^3)^*$, $GF(p^2)^*$, $GF(p)^*$ соответственно. Следовательно, минимальное подполе поля $GF(p^6)$, содержащее элемент \tilde{g} , должно совпадать с полем $GF(p^6)$.

Пусть мультипликативный порядок элемента g равен q - максимальному простому делителю числа $p^2 - p + 1$, что существенно меньше величины $p^6 - 1$. Таким образом, элемент g заведомо не является примитивным элементом поля $GF(p^6)$.

В криптографии общепринято не пользоваться стандартной арифметикой конечного поля, базирующейся на примитивных элементах.

Над полем $GF(p) = Z/pZ$ с условием $p \equiv 2 \pmod{3}$ полином $x^2 + x + 1$ неприводим. В этом можно убедиться сразу для всех указанных простых чисел p . Действительно, здесь $p = 2 + 3t$ для некоторого натурального t . Поэтому $p - 1 = 1 + 3t$ является величиной, не делящейся на 3. Это влечет за собой отсутствие в группе $GF(p)^*$ элементов третьего порядка. Так как рассматриваемый полином допускает представление $x^2 + x + 1 = (x^3 - 1)/(x - 1)$, то его корни являются корнями кубическими из 1. Таким образом, полином $x^2 + x + 1$ не имеет корней в поле $GF(p) = Z/pZ$ и, следовательно, не приводим над ним.

Приведенное рассуждение означает, что полином $x^2 + x + 1$ порождает квадратичное расширение поля $GF(p) = Z/pZ$:

$$GF(p^2) = Z/pZ[x]/\langle x^2 + x + 1 \rangle.$$

Поле $GF(p^2)$ совпадает с фактор-кольцом кольца полиномов Z/pZ по максимальному идеалу, порожденному неприводимым полиномом $x^2 + x + 1$.

Мультипликативная группа $GF(p^2)^*$ имеет порядок $p^2 - 1$, который при условии $p = 2 + 3t$ делится на 3:

$$p^2 - 1 = 4 + 12t + 9t^2 - 1 = 3 \cdot (1 + 4t + 3t^2).$$

Полином $x^3 - 1$ не имеет кратных корней при любом расширении поля $GF(p) = Z/pZ$. Этот полином взаимно прост со своей производной $3x^2$, имеющей двукратно вырожденный корень, равный 0. Значит, и делитель $x^2 + x + 1$ полинома $x^3 - 1$ имеет два различных корня. Очевидно, оба эти корня принадлежат полю $GF(p^2) = Z/pZ[x]/\langle x^2 + x + 1 \rangle$. Как уже отмечалось выше, мультипликативный порядок этих корней равен 3. Следовательно, эти корни не могут быть примитивными элементами поля $GF(p^2)$.

Вернемся к полю $GF(p^6)$. Теория конечных полей [3, 4] гарантирует, что над полем $GF(p)$ существует неприводимый и примитивный полином 6-й степени. Его корень π является примитивным элементом поля $GF(p^6)$. Тогда для целого числа

$$\xi = \frac{p^6 - 1}{p^2 - p + 1}$$

элемент π^ξ поля $GF(p^6)$ имеет, очевидно, мультипликативный порядок $p^2 - p + 1$. Именно его можно взять в качестве отмеченного выше элемента g .

Поле $GF(p^2)$ является расширением Галуа поля $GF(p) = Z/pZ$ с группой автоморфизмов второго порядка

$$Gal(GF(p^2)/GF(p)) = \langle \varphi \rangle = \{ \varphi, \varphi^2 = e \}$$

для автоморфизма Фробениуса φ , действующего на каждый элемент $a \in GF(p^2)$ по правилу: $\varphi(a) = a^p$.

Согласно теории расширений Галуа, если α - один из корней полинома $x^2 + x + 1$, то другим корнем является $\varphi(\alpha) = \alpha^p$. Непосредственная проверка показывает, что система α, α^p образует нормальный базис в поле $GF(p^2)$.

Базис α, α^p можно переписать в несколько иной форме: α, α^2 , если учесть, что

$$\alpha^3 = 1, \quad \alpha^p = \alpha^{2+3t} = \alpha^2 \cdot (\alpha^3)^t = \alpha^2.$$

Следовательно, каждый элемент z поля $GF(p^2)$ однозначно представим в виде $z = x_1\alpha + x_2\alpha^2$ для подходящих элементов $x_1, x_2 \in GF(p)$. К примеру, каждый элемент $t \in GF(p)$ имеет вид

$$t = (p-1)t \cdot \alpha + (p-1)t \cdot \alpha^2.$$

Все вычисления в поле $GF(p^2)$, принятые в криптосистеме XTR, проводятся в нормальном базисе. Например, в построенном нами базисе α, α^2 . Для их реализации необходимо предварительно осуществить вывод специфических формул для умножения, деления, возведения в степень элементов поля, а также иных операций выполняемых в выбранном нормальном базисе.

Одним из открытых ключей в XTR-криптосистеме является $Tr(g)$ – след элемента g над

полем $GF(p^2)$. Вычисление следов также осроумно сводится к вычислениям в поле $GF(p^2)$, в базисе α, α^2 .

Таким образом, новая криптографическая система вводит в ареал современной практической криптографии новый для неё математический объект - поля Галуа, требует глубокого освоения ее развитой алгебраической теории.

1. Lenstra, A. K., Verheul, E. R. The public key system. In CRYPTO 2000// Lecture Notes in Computer Science, vol. 1880. Springer-Verlag. 2000. - P. 1 – 19.
2. Криптология: учебник/ Ю.С. Харин [и др.]. – Мн.: БГУ, 2013. – 512 с. – (Классическое университетское издание).
3. Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля. В 2-х т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 822 с.
4. Липницкий В.А. Современная прикладная алгебра. Математические основы защиты информации от помех и несанкционированного доступа. – Мн.: БГУИР, 2006. – 88 с.

УДК 678.057.9

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ, ГЕРМЕТИЗАЦИИ И СКЛЕИВАНИЯ

Ксенофонов М.А., Выдумчик С.В., Гавриленко О.О., Павлюкевич Т.Г., Чупрынский С.А.

*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко»
Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь*

В данной работе представлено робототехническое оборудование, применяемое для дозирования, смешения и нанесения по заданной траектории герметиков, различных клеевых составов, уплотнителя и уплотнительного контура из силикона и пенополиуретана (технология получение уплотнения по месту).

Суть технологии заключается в точном нанесении по программируемой траектории отдозированной и смешенной двухкомпонентной (возможно многокомпонентной) полиуретановой или силиконовой композиции. Компоненты смеси, вступая в реакцию после смешения, образуют на поверхности или в пазе изделия уплотнение с внешней защитной пленкой (оболочкой или поверхностной коркой).

Новизна разработки заключается в возможности использования комплекса для последовательного нанесения уплотнительных контуров из различных композиций без переналадки оборудования, что позволяет увеличить производительность и в одном технологическом цикле наносить полиуретановые и силиконовые уплотнения на изделия различного назначения.

Комплекс оснащен современной системой управления: промышленный компьютер с 12" цветным сенсорным дисплеем для программирования и визуализации; высокопроизводительный контроллер управления перемещением; программирование перемещения с помощью команд и по заранее подготовленным шаблонам; программирование соотношения компонентов и производительности без механической настройки; задание производительности в программе нанесения для получения требуемой геометрии контура.

Робототехнический комплекс обеспечивает необходимую точность позиционирования, имеет простой и интуитивно понятный интерфейс управления, обладает высокой производительностью и может успешно использоваться на предприятиях электронной, машиностроительной и других отраслях.

В основу работы комплекса положен принцип подачи дозированного количества двух жидких компонентов А и Б в смесительную головку с динамическим перемешиванием и последующим

автоматическим распределением смеси по запрограммированной траектории [1].

Многофункциональный робототехнический комплекс (рисунок 1) состоит из двух основных агрегатов: смесительно-дозировочной установки и механизма координатного перемещения смесительной головки по заданному контуру.



Рисунок 1 – Многофункциональный робототехнический комплекс для уплотнения, герметизации и склеивания

Смесительно-дозировочная установка [2] обеспечивает безопасное хранение пенополиуретановых и силиконовых компонентов и их подготовку к работе, высокоточное дозирование компонентов с их забором из рабочих емкостей и подачей в смесительное устройство в нужной пропорции и состоит из основных функциональных узлов:

- многокомпонентное смесительное устройство (рисунок 2) низкого давления с динамической системой смешения и приводом от электродвигателя, укомплектованное клапанами для подачи компонентов, очистителя и воздуха, устройством предотвращения скапывания, системой автоматической промывки камеры смесительного устройства и сопла с последующей сушкой сжатым воздухом;

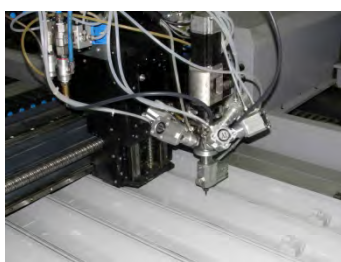


Рисунок 2 - Многокомпонентное смесительное устройство

Многокомпонентное смесительное устройство позволяет оперативно менять реакционно-способные компоненты, их количество и получать полимерные композиты с определенной макромолекулярной структурой, физико-механическими и эксплуатационными свойствами [3].

- герметичные емкости из нержавеющей стали для каждого из компонентов, рассчитанные на внутреннее давление не менее, чем 0,2 МПа и оборудованные системой подогрева и

перемешивающими устройствами с электрическим приводом компонента, датчиками минимального уровня заполнения и температуры компонентов, предохранительными пневмоклапанами, устройством визуального контроля уровня на емкости компонентов, устройством очистки и осушки воздуха, фильтрами для компонентов;

- емкость для растворителя, оборудованная предохранительным пневмоклапаном, контрольным манометром, электроклапаном подачи растворителя, устройством контроля уровня;

- прецизионные химические дозирующие насосы с отдельным приводом от шаговых двигателей для подачи каждого компонента;

- система рециркуляции компонентов;

- пульт управления, обеспечивающий автоматизацию эксплуатации установки, задание и контроль технологических параметров, мониторинг состояния установки с индикацией соответствующих сообщений на жидкокристаллическом дисплее, управление всеми узлами установки в ручном и автоматическом режимах;

- блок подготовки и очистки сжатого воздуха, подаваемого в пневмосистему комплекса;

- пневмооборудование и комплект химически стойких напорных и рециркуляционных трубопроводов;

- основание - металлическая рама.

Механизм координатного перемещения смесительного устройства при нанесении уплотнения является наиболее современным в мировых разработках таких систем, представляет собой трехкоординатный манипулятор с ЧПУ портального типа и состоит:

- трехкоординатная система;

- рабочий стол с пластмассовыми шариковыми опорами и устройством фиксации изделий;

- система ЧПУ (контроллер управления движением);

- каретка для крепления смесительного устройства;

- комплект электрооборудования и кабелеукладчики.

Система управления комплекса обеспечивает функцию нанесения уплотнения из пенополиуретана или силикона на несколько различных или одинаковых деталей, расположенных на рабочем столе и выполнена на базе промышленного программируемого контроллера и системы ЧПУ (рисунок 3).

Система управления и контроля имеет программное обеспечение с интерфейсом на русском языке для программирования, контроля и хранения параметров работы и наносимого уплотнительного контура, оснащена системой световой и звуковой сигнализации режимов работы.



Рисунок 3 - Система ЧПУ трехкоординатного манипулятора

Уплотнение, полученное с помощью робототехнического комплекса, обеспечивает степень герметичности и защиты IP 54-67, а также обладает целым рядом преимуществ: является бесшовным, что исключает стыки и обрезки, характерные для других типов уплотнений, гарантированно препятствует попаданию влаги и пыли внутрь прибора; позволяет добиться лучших звуко-, шумоизоляции и вибропоглощения.

Данное оборудование является собственной разработкой, проектируется и изготавливается в соответствии с индивидуальной спецификой

каждого производства. Благодаря этому все вопросы, связанные с его функционированием, можно решать без обращения в сторонние сервисные центры. Возможна поставка любых необходимых комплектующих и расходных материалов.

1. Ксенофонтов, М.А. Пенополиуретаны. Структура и свойства [Текст] / М.А. Ксенофонтов // Вестник БГУ. - 2011. - Серия 1. - № 3. - С. 48-52.
2. Пат. № 10305 РБ, МПК В 29С 67/20. Установка заливочная смесительно-дозировочная / М.А. Ксенофонтов и др. // Заявка № 20131071 13.12.2013, опублик. 30.10.2014, электр. ресурс Бюл. № 5, стр. 132-134, дата доступа 12.03.2015 г.
3. Пат. № 9922 РБ, МПК В 29В 7/12, В 29В 7/40. Смесительное устройство / М.А. Ксенофонтов М.А. и др. // Заявка № 20130524 17.06.2013; опублик. 28.02.2014, электр. ресурс Бюл. № 1, стр. 163-164, дата доступа 12.03.2015 г.

УДК 621.7.620.186

ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИЕЙ И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕМ ТОНКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Кузнецова Т.А.^{1,2}, Зубарь Т.И.¹, Чижик С.А.^{1,2}, Мясоедов Е.Н.², Лапицкая В.А.¹, Мишак А.³, Лабуда В.³

¹Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

³Морская академия

Гдыня, Польша

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) является эффективным и распространенным методом улучшения свойств деталей машин [1]. Роликовое ППД основано на микропластическом формировании поверхностных слоев осей, валов и подшипников с помощью роликовых накаток [2 - 4]. Обычно внимание исследователей направлено на степень упрочнения после обработки и шероховатость поверхности. В данной работе представлены результаты исследования пластического деформирования поверхности с учетом оценки свойств микрометровых слоев.

Целью данной работы является экспериментальное исследование морфологии и свойств поверхностных слоев валов после роликового ППД высокоразрешающими методами – атомно-силовой микроскопией (АСМ) и наноиндентированием.

В качестве образцов для исследования выступали валы из нержавеющей стали, поверх-

ность которых подвергалась роликовому ППД от одного до четырех раз. Описание технологического процесса пластического деформирования валов приведено в [5 - 6].

Исследование шероховатости пластически деформированных поверхностей было проведено с использованием контактного профилометра Mitutoyo (Япония). Измерения микротвердости были выполнены на поперечном сечении вала на глубинах до 300 мкм от поверхности двумя методами: с использованием микротвердомера ПМТ-3 (Россия) и НИ Nysitron T1750L Ubi (США). Морфология поверхностей была исследована с помощью АСМ NT - 206 (Беларусь) в контактном режиме с использованием стандартного кремниевого кантилевера с радиусом острия 10 нм и коэффициентом жесткости 0,08 Н/м.

Результаты исследований показали, что средняя шероховатость поверхности после одного прохода составила 128 нм, после второго умень-

шилась до 98 нм, после третьего увеличилась до 216 нм, а четвертый проход ППД снова уменьшает значение средней шероховатости до 130 нм. Немонотонность изменения величины шероховатости от количества проходов ППД можно объяснить формированием пластически измененного слоя. Он образуется во время первого прохода из деформированных слоев стали и машинного масла. Второй проход сглаживает микрошероховатости и уменьшает толщину измененного слоя. Третий проход включает в процесс пластического деформирования новые объемы материала, а четвертый разглаживает их. Это подтверждается тем, что выступы и впадины на профилях более симметричны и однородны после второго и четвертого прохода.

Значения микротвердости растут вместе с количеством проходов ППД. У поверхности вала она выше, чем на глубине. Наибольшее ее значение (около 7,5 ГПа) зафиксировано вблизи поверхности у вала после четырех проходов пластического деформирования. На глубине 300 мкм у валов после трех и четырех проходов микротвердость одинакова (~ 6,1 ГПа).

НИ позволяет по поперечному шлифу детали измерять свойства тонкого пластически деформированного слоя на глубине нескольких микрометров от поверхности и контролировать изменения вглубь детали до постоянных значений. Результаты исследований показали, что четырехпроходное ППД обеспечивают самый высокий уровень микротвердости, как на поверхности, так и в глубине материала. У вала после четырех проходов под поверхностным слоем толщиной 20 мкм наблюдается резкий скачок модуля Юнга до 210 ГПа от 180 ГПа на поверхности и 180 ГПа в глубине материала. Тогда как после одного прохода на глубине 20 мкм модуль Юнга составляет 140 ГПа, а в глубине материала менее 160 ГПа.

Результаты исследования деформированной поверхности валов показали присутствие пластически измененного слоя. Слои, образованные после трех и четырех проходов, более толстые по сравнению со слоями после одного и двух проходов роликового ППД. Сформированный на поверхности слой может работать в качестве твердой смазки в процессе трения. Таким образом, вместе с упрочнением поверхности улучшаются и трибологические свойства. Метод АСМ позволил получить более полную картину микроструктуры. Поверхность вала после одного прохода имеет области, где структура не ориентирована в соответствии с направлением перемещения инструмента. После двух проходов ППД структура становится ориентированной и появляются микрочастицы с диаметром от 100 нм до 1 мкм. Поверхность после трех проходов характеризуется наличием мягкого бесструктур-

ного слоя. После четырех проходов поверхность имеет более выраженную структуру, включающую два упорядоченных подслоя (рисунок 1). На изображении в режиме латеральных сил нижний слой состоит из округлых частиц диаметром 100 – 500 нм. Предполагается, что частицы – это пластически измененные зерна стали в матрице более пластичного машинного масла после полимеризации. В верхнем слое частицы практически отсутствуют, преобладает полимеризованное масло. Структура показывает, что верхний слой под нагрузкой может изменяться и служить в качестве твердой смазки. Результаты измерения шероховатости R_a методом АСМ на поле 20 x 20 мкм представлены в таблице 1.

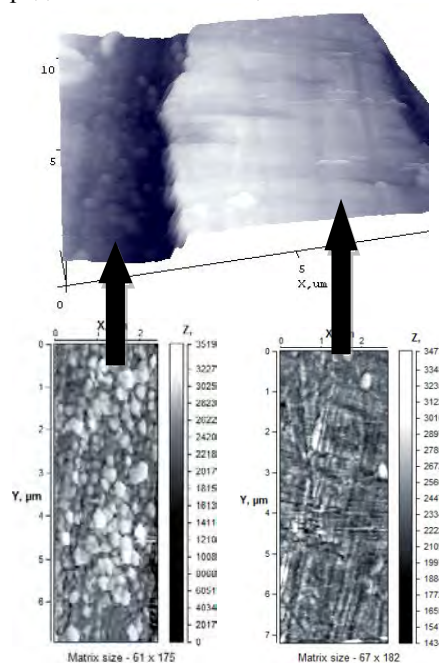


Рисунок 1 – АСМ-морфология поверхности после четырех проходов ППД

Измерение адгезионных сил с помощью АСМ показывает, что поверхности после трех и четырех проходов ППД имеют низкие значения около 5,2 и 7,3 мкН (таблица 1). Это означает, что эти слои обеспечивают низкий коэффициент трения по сравнению с первым и вторым проходами. Высокие силы адгезии между деталями, как правило, увеличивают коэффициент трения

Заключение.

Результаты АСМ и НИ – исследований поверхности валов после роликового ППД показали наличие третьего тела на поверхности – мягкого измененного слоя, образованного из пластически деформированной стали и машинного масла под действием нагрузки и температуры. Этот слой может работать в качестве твердой смазки при трении. Таким образом, наличие мягкого слоя с модулем Юнга 4,6 ГПа на стальной поверхности, упрочненной до значений модуля упругости 210 ГПа и микротвердости 7

ГПа, позволяет рекомендовать четырехпроходное роликовое ППД для улучшения свойств деталей трибологического назначения.

Таблица 1 – Свойства поверхности вала после ППД, полученные методом АСМ.

Кол-во проходов	R _a (АСМ), nm	Модуль упругости на глубине 20 нм (АСМ), ГПа	Сила адгезии между поверхностью и АСМ-зондом, мкН
1	26	-	9.0
2	31	4.1	8.8
3	66	4.3	5.2
4	79	4.6	7.3

1. Chomiene, V., Valiorgue, F., Rech, J., Verdu, C., Influence of ball burnishing on residual stress profile of a 15-5PH stainless steel, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 13, 2016, pp. 90 – 96.

- Hua, W., Man, B., Liu, B., Contact force studies of a burnishing slider, Tribology International, 41, 2008, pp.60 – 66.
- Ahmed, R., Sutcliffe, M.P.F. Indentation of surface features on cold-rolled stainless steel strip, Wear, Vol. 244, 2000, pp. 60 – 70.
- Balland, P., Tabourot, L., Degre, F., Moreau, V., Mechanics of the burnishing process, Precision Engineering, Vol.37, 2013, pp. 129 – 134.
- Labuda, W., Charchalis, A., The influence of finish tooling on friction properties of steel applied to sea water pump shafts, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 21 No. 2, 2014, pp. 185 – 192.
- Labuda, W., Charchalis, A., The analysis of finish tooling influence on wear intensity of marine pump shaft, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 1, 2013, pp. 163 – 170.

УДК 621.317

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО МЕТАМАТЕРИАЛА С ВАРАКТОРНЫМИ ДИОДАМИ

Курило В.С., Рудницкий А.С.

Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

Метаматериальные поглотители (metamaterial absorber - ММА) со своеобразными электромагнитными свойствами вызвали большой интерес в течение последнего десятилетия [1]. Элементарные единицы метаматериала чаще всего располагаются периодически, имеют размер много меньше длины волны и удовлетворяют модели Лоренца–Друде, так же как нормальный материал [2]. Взаимосвязь между свойствами этих единиц и макроскопическими свойствами метаматериала устанавливается на основании теории эффективного усреднения [3].

Рабочая частота традиционных метаматериалов фиксирована и не может изменяться после изготовления. Поэтому все больше внимание уделяется разработке перестраиваемых ММА. В работе [4] исследована поверхность с высоким импедансом и с расположенными на ней резисторами и варакторными диодами. В статье [5] продемонстрирован переключаемый отражатель-поглотитель с диодами в структурных ячейках метаматериала. Реализуются два возможных состояния диодов: «Включен», «Выключен» и возможность переключения состояний. При их оптимизации могут быть полезными исследования электромагнитных свойств ячейки метаматериала в зависимости от параметров, которые можно изменять электрическим или другим способом.

В данной работе представлены результаты исследования метаматериалов из периодически расположенных на подложке ячеек, образованных микрополосковыми элементами, включенными между ними конденсаторами и резистивными пленками.

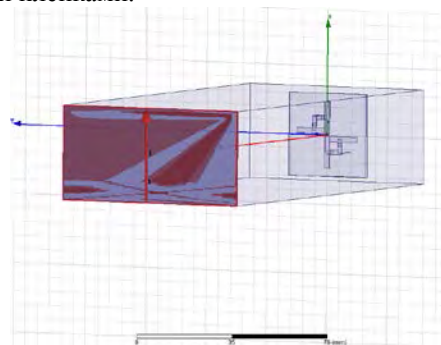


Рисунок 1. Вычислительная модель с ячейкой метаматериала

Предположим, что требуется обеспечить перестройку частоты минимального коэффициента отражения электромагнитной волны от метаматериального покрытия металлической поверхности при ограничении уровня отражения вне резонансной частоты. Этому условию частично удовлетворяет модель, показанная на рисунке 1. Она исследована методом компьютерного моде-

лирования и выполнена экспериментальная проверка результатов моделирования.

На рисунке 2 показан вид сверху печатной платы ячейки метаматериала. Ячейка содержит четыре диода, резистор и цепь смещения. Местоположение элементов указано на этом рисунке. Катоды SMD корпуса диодов отмечены чертой. На точку 0 подается общий потенциал, на точку 1 подается управляющее напряжение смещения.

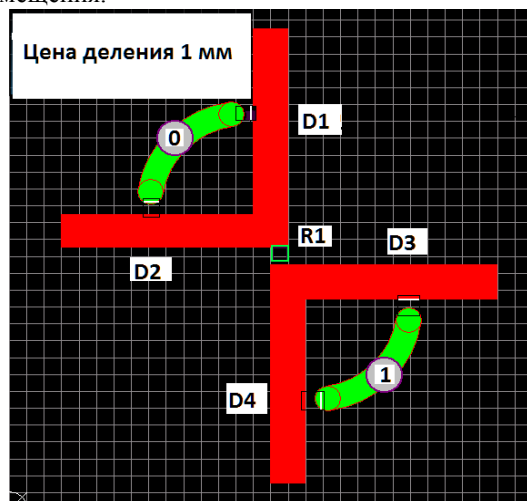


Рисунок 2. Вид сверху печатной платы ячейки метаматериала

Ячейка реализована на диэлектрической пластине FR4 с относительной диэлектрической проницаемостью $4.4(1 - j0.03)$ толщиной 1 мм. Длина одной стороны микрополосковой линии 13 мм, ширина 2 мм. Сопротивление резистора равно 50 Ом. Напряжение смещения диодов подается в точки 0 и 1 через проходные конденсаторы емкостью 3.3 нФ длиной 8 мм. Таким образом, эти конденсаторы удерживают пластину на расстоянии 8 мм от металлической поверхности.

Омические потери учитываются путем выбора конечного импеданса микрополосковых линий в области диодов и цепи подачи напряжения смещения. Импедансы равны 2 и 10 Ом/квадрат. Конфигурационная модель, которая используется для вычисления частотной зависимости коэффициента отражения электромагнитной волны от ячейки метаматериала, соответствует схеме экспериментальных измерений, выполненным в отрезке волновода сечением $32 \times 74 \text{ мм}^2$.

В модели варикапы представлены конденсаторами C_x (диоды D2 и D3) и C_y (диоды D1 и D4). Результаты вычислений показаны на рисунке 3 для трех комбинаций емкостных параметров диодов.

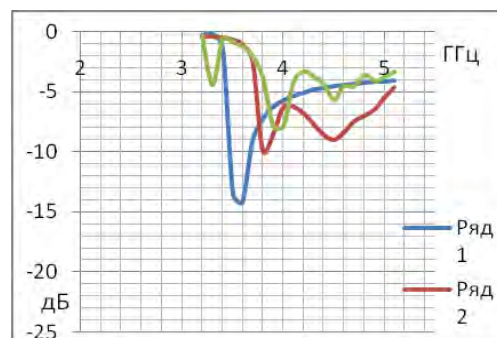


Рисунок 3. Зависимость коэффициента отражения от частоты при 1: $C_x=0.18 \text{ пФ}$, $C_y=0.18 \text{ пФ}$, 2: $C_x=0.33 \text{ пФ}$, $C_y=0.1 \text{ пФ}$, 3: $C_x=0.1 \text{ пФ}$, $C_y=0.33 \text{ пФ}$

Проведены экспериментальные измерения коэффициента отражения от ячейки метаматериала, установленной на короткозамкнутой стороне волновода сечением $32 \times 74 \text{ мм}^2$. Измерения проводились для четырех типов диодов: BAS321 (сокращенное обозначение (SMD - ///A7), BAV70 (SMD - A4t), BAV99 (SMD - A7), BAS70-04 (SMD - 74) в диапазоне частот от 2 ГГц до 6 ГГц. Использовался векторный анализатор цепей Agilent 8722ET. Измерительный тракт калибровался в состоянии разомкнутого конца коаксиальной линии и в состоянии подключенной согласованной нагрузки. Нагрузка подключается к волноводу в сечении, относительно которого в дальнейшем устанавливается исследуемая ячейка метаматериала. При измерениях согласованная нагрузка заменяется медной пластиной, выполняющей роль короткозамыкателя волновода. Исследуемая ячейка крепится на этой пластине на расстоянии 8 мм с использованием двух проходных конденсаторов емкостью 3.3 нФ. Через эти конденсаторы подается напряжение смещения на четыре полупроводниковых диода от источника питания TEC88 в пределах от -2 В до +2 В.

Наблюдается качественное соответствие результатов эксперимента и моделирования. Расхождение обусловлено упрощенной моделью варикапов, которая может быть уточнена по результатам эксперимента.

Лучшие результаты получены с диодами BAS321. Они показаны на рисунке 4.

Минимальная частота резонансного поглощения на 3.4 ГГц, максимальная – 5.9 ГГц. Минимальное значение коэффициента отражения – 20 дБ. Максимальная ширина полосы поглощения по уровню -6дБ – 800 МГц.

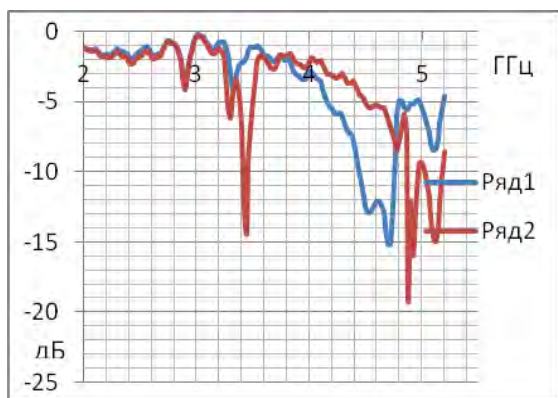


Рисунок 4. Экспериментальные результаты измерения зависимости коэффициента отражения от частоты для ячейки метаматериала с четырьмя диодами BAS321, 1: -2 В, 2: 0 В

1. Cui T.J., Smith D.R. and Liu R.P. *Metamaterials: Theory, Design and Applications* (New York: Springer, 2009).

2. Smith D.R. and Pendry J.B. Homogenization of metamaterials by field averaging (invited paper) // *J. Opt. Soc. Am. B*, Marth 2006. Vol.23, No.3. p. 391.

3. Landy N.I., Sajuyigbe S., Mock J.J., Smith D.R. and Padilla W.J. Perfect Metamaterial Absorber// *Phys. Rev. Lett.* 2008. 100 207402 .

4. Mias C. and Yap J.H. A varactor-tunable high impedance surface with a resistive-lumped-element biasing grid // *IEEE Trans. Antennas Propag.* 55(7), 1955–1962, July 2007.

5. Zhu, Y. J. Feng, J. M. Zhao, C. Huang, and T.A. Jiang. Switchable metamaterial electromagnetic waves//*Appl. Phys. Lett.* 97(5), 051906 (2010).

УДК 621.9.022

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ГЛОБУСНОГО СТОЛА 5-КООРДИНАТНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ЧПУ

Луговой В.В., Луговой В.П.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Особую роль в машиностроительной отрасли принадлежит многокоординатным станкам с ЧПУ, неотъемлемым атрибутом которых являются глобусные столы. Проведение последовательных натурных испытаний глобусного стола для оптимизации рациональной конструкции представляет длительную и дорогостоящую задачу. В связи с этим решение данной задачи решается путем виртуальных испытаний с использованием компьютерных программ, позволяющих ускорить процесс оптимизации конструкций глобусного стола. Наиболее приемлемым аналитическим методом оценки жесткости и анализа прочностных характеристик машиностроительных конструкций является метод конечных элементов.

Программный комплекс ANSYS позволил и позволил осуществить:

- статический и динамический анализ конструкций;
- определить собственные моды и резонансные спектры вынужденных колебаний, а также смещений и напряжений по известным вибрационным спектрам;
- провести динамический анализ переходных процессов и точный динамический анализ.

Целью настоящих исследований является оптимизация конструкции типового глобусного стола и выявление конструктивных факторов, влияющих на его статическую и динамическую жесткость.

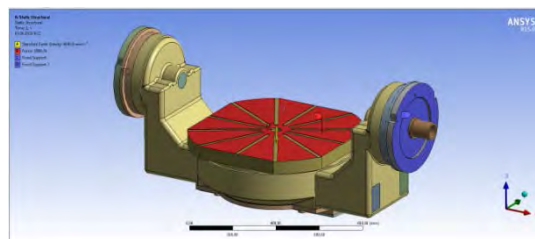


Рисунок 1 – Общий вид модели глобусного стола

Глобусный стол предназначен для поворота закрепленной заготовки вокруг двух осей: вертикальной и продольной горизонтальной. Он содержит поворотный стол, вращающийся вокруг вертикальной оси и корпус, поворачивающийся вокруг продольной оси. Он представляет собой полую конструкцию, жестко сочлененную из центральной круглой части и боковых кронштейнов, имеющих угловую прямоугольную форму. Механизм поворотного стола образует сборный узел, состоящий из поворотного стола, шагового двигателя и опоры качения. В результате конечно-элементного моделирования и экспериментальных исследований частот и форм собственных колебаний несущей системы 5-координатного стола станка с ЧПУ, выявлены 10 резонансных мод в диапазоне частот до 1635 Гц. Установлено, что наибольшее снижение виброустойчивости стола возникает при действии вынужденных колебаний частотой

25-350 Гц. При этом во всем диапазоне стол динамически наиболее податлив при колебаниях в продольном направлении.

Статический анализ конструкции стола показал, что глобусный стол обладает необходимой жесткостью и прочностью при действии внешних сил в исследуемой области в пределах до 1000Н, так как величина перемещений от действия этих сил незначительна. Билли установлено, что наиболее податливыми деталями конструкции стола являются кронштейны, центральная часть корпуса и поворотный стол. Установлено также, что податливость конструкции стола при его повороте на 90° зависит величины приложенной внешней нагрузки: с увеличением массы заготовки податливость стола смещается от планшайбы к подшипниковому узлу поворотного механизма.

Модальный анализ позволил установить наличие двух диапазонов частот колебаний, вызывающих резонансные явления. Первый диапазон лежит в области колебаний до 500 Гц, второй при повышении частоты колебаний свыше 1000 Гц.

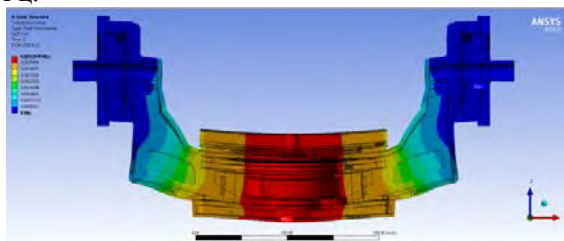


Рисунок 2 - Картина суммарных перемещений в глобусном столе

При этом колебания, действующие в первом диапазоне, возбуждают преимущественно изгибные колебания элементов конструкции стола. Наибольшая податливость возникает в конструкции стола в области колебаний частотой 320 Гц. В области второго диапазона частот колебаний перемещения становятся локальными, меньшими по величине и потому не представляющими опасений в работе конструкции. Результаты расчетов и анализ АЧХ подтвердил полученные ранее результаты.

Гармонический анализ станка показал, что моды колебаний стола зависят от частот вынужденных колебаний. В результате расчетов и анализа АЧХ стола в пределах частоты колебаний до 1600 Гц установлено наличие трех областей действия колебаний. В первой области в пределах частоты колебаний до 280 Гц наблюдается резкое увеличение амплитуды колебаний при повышении частоты. При дальнейшем увеличении частоты колебаний свыше 350 Гц наблюдается снижение уровня перемещений деталей стола, вызывающих при колебаниях

частотой 750 Гц одновременные перемещения во всех координатных плоскостях. Высокочастотные колебания в третьей области диапазона частот вызывают некоторое повышение локальных перемещений, сопровождаемые некоторым увеличением напряжений в конструкции. При повороте стола на 90° графики АЧХ имеют идентичный характер.

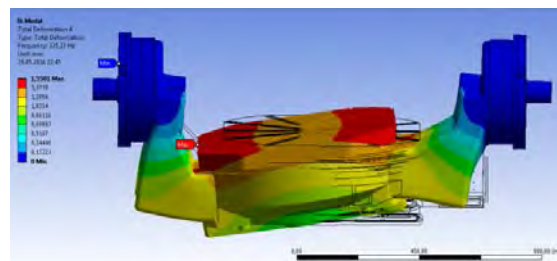


Рисунок 3 – Модель резонансной моды колебаний стола ($f=325$ Гц)

Установлено, что стол динамически наиболее податлив в продольном направлении. Оптимизация геометрии стола за счет введения дополнительных ребер жесткости в корпусе стола позволила обеспечить повышение жесткости стоек и зон в метлах соединения с корпусом, снизить уровень напряжений в конструкции.

Проведенный анализ глобусного стола 5-ти осевого вертикального обрабатывающего центра ВУВЕР630 ОАО «СтанкоГомель» – холдинг «Белстанкоинструмент» и теоретические исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Используемая конструкция глобусного стола полностью соответствует требованиям прочности, жесткости и виброустойчивости для установленных на данном станке предельных режимов резания;

2. Модернизация станка, направленная на увеличение скоростей резания и соответственно частоты вращения шпинделя должна быть сопряжена усовершенствованием конструкции глобусного стола, с учетом того, что действие вынужденных колебаний в пределах частоты 250-350 Гц вызывает резонансные явления и снижение его виброустойчивости в локальных зонах;

4. Дальнейшее усовершенствование конструкции глобусного стола для повышения виброустойчивости может быть достигнуто повышением жесткости в полости кронштейнов привода поворота стола путем введения ребер жесткости в продольном и поперечном направлениях.

5. Технологические рекомендации для борьбы с автоколебаниями заключаются в подборе режимов резания, которые не должны превышать область частот колебаний 200 Гц.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СВЕТОДИОДОВ С МАЛЫМ ТЕЛОМ СВЕЧЕНИЯ

Манего С.А.¹, Терентьев А.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий» НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Исследования проблемы эффективного контроля и диагностики состояния сложных светодиодных устройств (СУ) являются чрезвычайно актуальными на современном уровне развития техники, поскольку существенный рост сложности создаваемого оборудования и эксплуатация его в условиях напряженного режима функционирования выдвигают качественно новые требования к методам контроля и диагностики. Важность решения указанной проблемы, к сожалению, подтверждается случаями катастрофических отказов СУ, либо существенным снижением выходных параметров их светотехнических характеристик. Практика эксплуатации различных СУ показывает, что при отсутствии специальных средств поддержки функционирования и контроля, основная часть времени восстановления затрачивается на поиск и локализацию отказов, увеличивая тем самым затраты на ремонт и обслуживание. С другой стороны, используемые в ряде производств традиционные методы и средства функционального контроля и диагностики СУ не всегда удовлетворяют современным требованиям по надежности и обеспечению длительности эксплуатации светотехнических устройств.

Поскольку сложные СУ функционируют в стационарных и нестационарных режимах при множественном воздействии неконтролируемых, а зачастую и неизвестных факторов, то наиболее информативным их эмпирическим описанием представляются статистические данные о выбросах контролируемых параметров за допусковые зоны, предшествующие деградационным изменениям, нарушающим нормальное функционирование СУ. Следует отметить, что число таких данных ограничено, и используя их, требуется идентификация состояния СУ и принятие адекватного решения по его ремонту в условиях значительной неопределенности. Таким образом наступает противоречие между необходимостью большого объема статистических данных и минимизации неопределенностей, кроме того здесь не учитывают возможности того, что реальные состояния СУ могут быть неизоморфны значениям контролируемых параметров.

Для решения проблемы о состоянии СУ предлагается использовать метод предложенный в [1], понятие малая выборка. Где предлагается определение количественной оценки вероятно-

сти выхода измеряемого параметра за допустимые зоны. Оценка строится на основе гипотезы о марковости процесса изменения состояния системы. Испытания проводятся при малой выборке и при форсированных режимах.

В последнее время применения малых выборок при обработке результатов испытаний электронных компонентов (ЭК) сужается [2]. Ведущие фирмы (Motorola, ZILOG) изготовители ЭК при получении оценок надёжности используют большие выборки [3].

Прямое использование результатов испытаний в изложенном подходе не является возможным из-за малой выборки. Действительно, как правило, отказы будут отсутствовать, прогноз теряет смысл. В работе [4] предлагается процесс изменения технических параметров системы связать с FIT (число отказов за время EDH). А состояние системы представлять в виде конечного множества $n-1$ состояний. Элемент множества - квант состояния - характеризуется значениями технических параметров объекта. То есть процесс перехода из состояния в состояние представляется Марковским, а интенсивности переходов можно представить в виде матрицы. Тогда решение системы перестаёт быть тривиальным, и подход может быть развит для практики.

С целью исследования конструктивно-технологические проблем надежности светодиодов с малым телом свечения (СИД с МТС) и получения объективной информации о надежности СИД с МТС, с учетом комплексного влияния всех воздействующих факторов, была проведена количественная оценка степени малости выборки по результатам исследовательских испытаний. Для этого, предварительно, были проведены точечные оценки энергии активации E_a СИД с МТС, с помощью проведения двухступенчатых форсированных испытаний. Используя методику определения величины E_a , которая позволяет контролировать выход за режим чрезмерного форсирования температуры испытаний светодиодов с малым телом свечения, что обеспечивает неразрушающие испытания и автономность процессов старения при повышенных температурах испытаний.

Для определения величины E_a мы воспользовались уравнением (1), то есть, находили две интенсивности СИД с МТС ($L_1 < L_2$), соответствующие двум температурам $T_1 < T_2$,

которые получены при последовательных ступенчатых испытаниях одной выборки изделий. Величина E_a определяется как тангенс угла наклона линейного графика зависимости Аррениуса.

$$E_a = \frac{\ln(L_2) - \ln(L_1)}{\frac{1}{\kappa} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (1)$$

Основное преимущество данного подхода в том, что основные исходные данные для расчета по (1), т.е. величины L_1 и L_2 получаются из эксперимента, который выполняется при температурах, значительно меньших температур испытаний, необходимых для достижения заметного потока параметрических отказов.

Величины средних скоростей деградационного процесса при двух температурах $T_1=80^\circ\text{C}$ и $T_2=110^\circ\text{C}$, определялись для двух выборок светодиодов с малым телом свечения, созданных на основе чипа ELC-645-29-20 фирмы EPIGAP Optoelectronic GmbH в корпусе КТ-1-4.04НБ, группа № 1 (20 шт.) и группа № 2 (20 шт.). Мощность ультразвуковой волны приварки контактных проволочных траверс была: для группы № 1 (1 сварка – 0,3875 Вт, 2 сварка – 0,0375 Вт). Для светодиодов группы № 2, сварка проводилась при мощностях: 1 сварка – 0,5125 Вт, 2 сварка – 0,2 Вт. длительность наработки была – 1400 часов. За время испытаний отказов не обнаружено. Для определения энергии активации (двух групп СИД с МТС) были проведены ускоренные испытания при $T=20^\circ\text{C}$, 80°C и 110°C при $I_n=1\text{ mA}$ и 10 mA . Длительность испытаний = 50, 500, 1400 ч. Из анализа люминесцентных данных была получена точечная оценка энергии активации (E_a) для светодиодов с малым телом свечения. Так, для светодиодов группы № 1 – $E_a=0,52\text{ эВ}$, а для светодиодов группы № 2 – $E_a=0,48\text{ эВ}$.

Количественный анализ степени малости выборки (40 шт.) по результатам исследовательских испытаний светодиодов с малым телом свечения (чип ELC-645-29-20) проводился при следующих условиях:

Температура в испытательной камере: $T = 80^\circ\text{C}$ и 110°C ;

Ток накачки светодиодов: $I = 10\text{ mA}$;

Напряжение питания: $V_c = 1,9\text{ В}$, $V_c^0 = 1,56\text{ В}$;

Время испытаний: $t = 1400\text{ ч}$;

Число образцов: $N = 40$;

Число отказов: $n = 0$;
 Число квантов: 2 ; $N_0^{(1)} = 15$, $N_0^{(2)} = 25$;
 Уровень значимости вероятности отказа
 $\alpha = 0,6$; $m_1 = 0$; $m_2 = 2$;
 Энергия активации $E_a = 0,5\text{ эВ}$;
 Мощность рассеивания $P = 200\text{ мВт}$;
 Мощность рассеивания при номинальных режимах $P_0 = 180\text{ мВт}$;
 Тепловое сопротивление $\theta = 25^\circ\text{C/Вт}$;
 Тепловое сопротивление при номинальных режимах $\theta_0 = 15^\circ\text{C/Вт}$;
 Коэффициент ускорения $A_t = 40$.

Используя выше перечисленные условия испытаний и предположение, что случайная величина, распределена по закону χ^2 (хи-квадрат), были получены следующие оценки параметров надежности светодиодов с малым телом свечения: экспериментальная интенсивность отказов $FR = 2,61 \cdot 10^{-6}\text{ 1/ч}$; средняя наработка до отказа $MTTF = 383140\text{ ч}$; приведенное полное время испытаний $EDH = 2240000\text{ ч}$.

Как видно из расчета, среднее время наработки до отказа (MTTF) много меньше приведенного времени испытаний (EDH), что позволяет считать выборку малой. Данная оценка малости выборки по результатам исследовательских испытаний светодиодов позволяет оптимизировать условия и режимы испытаний, т.е. повысить точность оценки качества испытуемых светодиодов.

Таким образом, проведенный анализ позволяет оптимизировать технологический процесс создания СИД с малым телом свечения и степень малости выборки.

1. Гусев, А.В. Малые выборки при оценке работоспособности и надежности электронных компонентов. Часть 1 / А.В. Гусев, Э.А. Лидский, О.В. Мироненко // Chip news. – 2003. – № 1. – С. 44–48.
2. Rasmussen. An Introduction to Statistics with Data Analysis. Brooks / Cole, Pacific Grove, CA, 1992.
3. Silicon Bipolar Transistors, Reliability Data, HBFR-405, HBFR-420, HBFR-450, Life Test.
4. Лидский, Э.А. Оценка длительной работоспособности по результатам испытаний малой выборки / Э.А. Лидский, О.В. Мироненко // ВИНТИ. – № 1753. – В2000.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИБОРОВ ИМА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА

Мельгуй М.А., Бурак В.А., Осипов А.А.

Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Импульсные магнитные анализаторы (ИМА) используются для неразрушающего контроля структуры металла при производстве ферромагнитных изделий [1, 2]. Однако ряд задач, возникающих в металлургии и промышленности, не решается приборами ИМА, которые в большинстве случаев используют только один информативный параметр - величину градиента остаточного магнитного поля ∇H , поэтому разработаны и разрабатываются новые модификации приборов типа ИМА, измеряющие не один, а несколько параметров, например, приборы ИМА-М [3, 4] и ИМА-6 [5].

Одной из таких задач, где применение однопараметрового импульсного магнитного метода является затруднительным, является контроль чугуна. Чугуном называют железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода более 2 %. Чугун получают в процессе доменной плавки железной руды, при этом 85 % всего выплавленного чугуна приходится на перелитейный чугун [6], который направляют для дальнейшей переработки в сталь и около 15 % выплавленного чугуна приходится на литейный чугун [7], предназначенный для дальнейшей переплавки в чугунолитейных цехах при производстве чугунных отливок.

В данной работе использован комплект образцов литейного чугуна с известными экспериментально определенными свойствами: с содержанием перлита от 20 % до 80 %; внешние размеры 140x75x57 мм³. Для исследования возможности контроля механических свойств чугунных отливок применялся прибор ИМА-М [3, 4]. Намагничивание и перемагничивание осуществлялось несколькими сериями импульсов разной амплитуды и полярности как нарастающих по величине, так и спадающих. Намагничивающий соленоид и градиентометр располагались нормально к поверхности изделия. Измерения проводились на наибольшей из ровных поверхностей изделий.

Для образцов были определены пять механических и структурных параметров: содержание перлита, временное сопротивление, удельный предел текучести, удлинение и твердость по Бринелю $HВ$. Для каждого из этих параметров были построены линейные многопараметровые модели. Для каждого из двадцати многопараметровых наборов моделей была выбрана модель с максимальным коэффициентом множественной корреляции R . Для оценки полученных многопа-

раметровых моделей использовался F -критерий Фишера.

Измерения шести параметров ∇H_{rnm} , ∇H_{rns} , ∇H_{rm0} , ∇H_{rni} , ∇H_{rni} , ∇H_{rmi} петли аномального гистерезиса осуществлены при максимальной амплитуде импульсов $H_m = 720$ кА/м, обеспечивающей получение насыщенной петли.

Для поиска оптимального режима частичного перемагничивания использованы режимы с разным количеством размагничивающих импульсов i , изменявшимся от одного до четырех, и имевших амплитуду, равную $1/9 H_m$. При каждом i измерены все шесть параметров петли. Результаты расчета линейных многопараметровых моделей, связывающих механические характеристики исследовавшихся чугунных отливок и параметры петли аномального гистерезиса, представлены на рисунках 1 и 2.

Как видно из рисунка 1, при оптимальном режиме работы прибора расчетная величина $i=3$ предела прочности чугуна может быть определена по формуле из шести параметров, причем коэффициент корреляции $R = 0,974$, а среднеквадратическое отклонение $S_n = 20,9$ МПа.

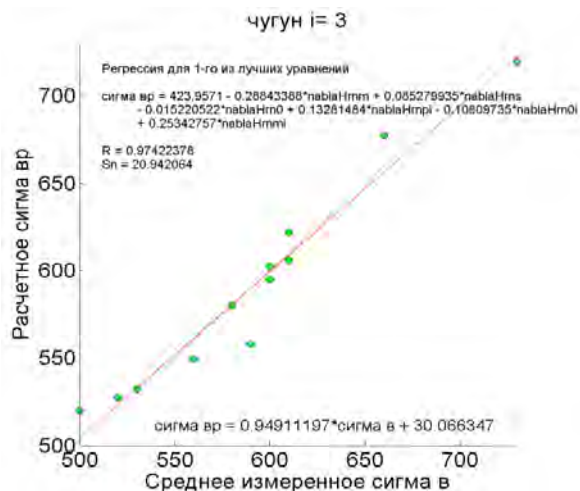


Рисунок 1 – Корреляция между расчетной величиной предела прочности $\sigma_{вР}$, измеренной с помощью прибора ИМА-М, и экспериментальной величиной $\sigma_{в}$

Из рисунка 2 следует, что при оптимальном режиме перемагничивания $i=3$ оптимальной формулой для вычисления расчетной величины предела текучести является также формула из шести параметров, причем коэффициент корреляции

ляции расчетной величины $\sigma_{тр}$ с экспериментальной $R = 0,985$, а среднее квадратическое отклонение $S_n = 9,47$ МПа.

Было установлено, что при выборе уровня значимости равным 1 % F -критерий Фишера выполнялся только для содержания перлита, временного сопротивления и удельного предела текучести (результаты расчета для удельного предела текучести представлены на рисунке 2).

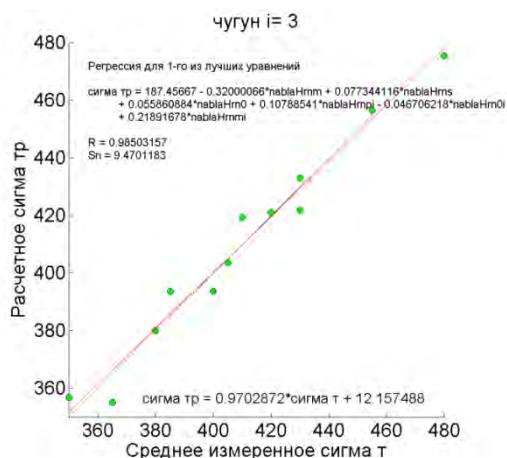


Рисунок 2 – Корреляция между расчетной величиной предела текучести $\sigma_{тр}$, измеренной с помощью прибора ИМА-М, и экспериментальной величиной $\sigma_{т}$

Для всех пяти измеренных параметров F -критерий Фишера выполнялся только для уровня значимости 5 % и более. В случае твердости по Бринеллю $HВ$ (рисунок 3) невыполнение данного критерия связано, предположительно, с малой точностью измерений данной величины, поскольку для пяти образцов получены одинаковые значения.

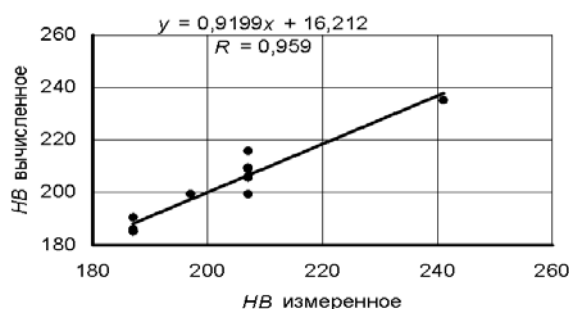


Рисунок 3 – Корреляция между расчетной величиной твердости $HВ_v$, измеренной с помощью прибора ИМА-М, и экспериментальной величиной $HВ$

Аналогичные результаты получены и для содержания перлита (рисунок 4), однако, в этом случае таких изделий с одинаковыми значениями параметра меньше (четыре) и влияние их на проведенный расчет по многопараметровой модели мало, поэтому F -критерий Фишера выполнялся при выборе уровня значимости равного 1 %.

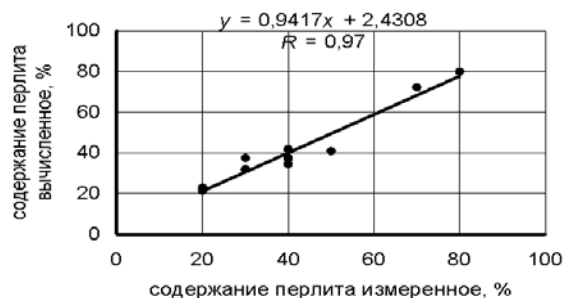


Рисунок 4 – Корреляция между расчетным содержанием перлита, измеренным с помощью прибора ИМА-М, и его экспериментальным значением

1. Мельгуй, М.А. Магнитный контроль механических свойств сталей / М.А. Мельгуй. – Минск: Наука и техника, 1980. – 184 с.
2. Михеев, М.Н. Связь магнитных свойств со структурным состоянием вещества - физическая основа магнитного структурного анализа / М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов // Дефектоскопия. – 1981. – № 8. – С. 5-21.
3. Мельгуй, М.А. Многопараметровые методы магнитной структуроскопии и приборы для их реализации. Ч.1. Многопараметровая магнитная структуроскопия с использованием параметров петли магнитного гистерезиса в замкнутой магнитной цепи электромагнитное изделие. Обзор. / М.А. Мельгуй // Дефектоскопия. – 2015. – № 2. – С. 27-34.
4. Мельгуй, М.А. Многопараметровые методы магнитной структуроскопии и приборы для их реализации. Ч.2. Импульсный магнитный многопараметровый метод и прибор ИМА-М для его реализации / М.А. Мельгуй // Дефектоскопия. – 2015. – № 3. С. 11-20.
5. Матюк, В.Ф. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В.Ф. Матюк, В.А. Бурак, А.А. Осипов, Д.А. Пинчуков // Дефектоскопия. – 2009. – № 7 – С. 62-74.
6. ГОСТ 4832-95. Чугун литейный. Технические условия.
7. ГОСТ 4832-95. Чугун литейный. Технические условия.

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ПРОВОЛОКЕ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Минченя В.Т., Савченко А.Л., Минченя Н.Т.
Белорусский национальный технический университет
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 нитинола – стентов, стентграфтов, клапан-содержащих стентов, фильтров-ловушек и др. Все эти изделия представляют 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 широком массам пациентов. Разработка технологий формообразования нитиноловых структур позволит внедрить их в производстве импортозаменяющих аналогов медицинских изделий.

Никелид титана (нитинол) – интерметаллид из никеля (45%) и титана (55%). Обладает высокой коррозионной и эрозионной стойкостью, высокой пластичностью. Механические характеристики: предел прочности $\sigma_b = 770 \dots 1100$ МПа; предел текучести $\sigma_t = 300 \dots 500$ МПа. Поверхность нитиноловых элементов, как и у элементов из многих титановых сплавов, покрыта диоксидом титана, что обеспечивает их высочайшую коррозионную стойкость к воздействию агрессивных сред, в том числе биологических жидкостей.

Наиболее интересным свойством нитинола, благодаря которому его используют в кардиохирургии является эффект памяти формы [1]

Однократным эффектом памяти формы называется явление однократного восстановления первоначальной формы сдеформированного сплава, обусловленное изменением его фазового состояния вследствие увеличения температуры.

Многократным эффектом памяти формы называется явление многократного восстановления первоначальной формы сдеформированного сплава, обусловленное изменением его фазового состояния вследствие изменения температуры при нагреве или охлаждении.

Из нитиноловой проволоки выполняют множество разнообразных изделий, используемых в кардиохирургии. К основным разновидностям нитиноловых эндопротезов относят стенты,

стент-графты, фильтры-ловушки, окклюдеры, скобы, клипсы и т. д. Многие из них в рабочем состоянии представляют собой сложные пространственные структуры. Пример окклюдера из нитиноловой проволоки приведен на рис. 1

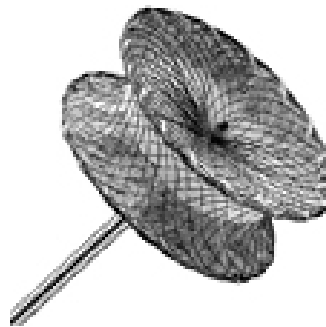


Рисунок 1

Изделия в сложенном состоянии доставляются в кровеносные сосуды по месту установки, где под действием температуры тела приобретают ранее запомненную форму. При этом воспроизведение заданной формы может затрудняться из-за наличия дефектов кристаллической решетки и материала (поры, раковины и т. п.). В местах расположения дефектов проволока изгибается в совершенно ненужных местах, поэтому имеется необходимость использовать для изготовления эндопротезов отрезки проволоки свободные от дефектов. Это актуально даже для изделий относительно простой формы, которые, тем не менее, должны приобретать требуемую конфигурацию.

В ходе ранее проводимых исследований [2] было отмечено, что под действием ультразвуковых колебаний стержневые элементы из нитинола деформируются в местах расположения дефектов материала. Так как в готовых изделиях наличие дефектов может привести к появлению искажений ранее запомненной формы, рекомендуется проводить отбраковку сортамента с целью исключения дефектных участков. Отбраковка может производиться возбуждением в нитиноле ультразвуковых колебаний и визуальным или инструментальным наблюдением деформаций.

В ходе исследований предполагается возбуждать ультразвуковые колебания в отрезках проволоки, для чего проволока крепится к концентратору ультразвукового преобразователя, питаемого от генератора. В зависимости от длины проволоки и расположения дефектов

такая акустическая система будет иметь несколько резонансных частот. Изменяя частоту возбуждения ультразвукового генератора, можно настраивать систему в резонанс, соответствующий каждому отдельному дефекту. При этом в местах расположения дефектов можно наблюдать возникающие за счет эффекта памяти формы деформации или регистрировать изменения механических напряжений в материале. Может быть использована как визуальная, так и инструментальная оценка наблюдаемых эффектов.

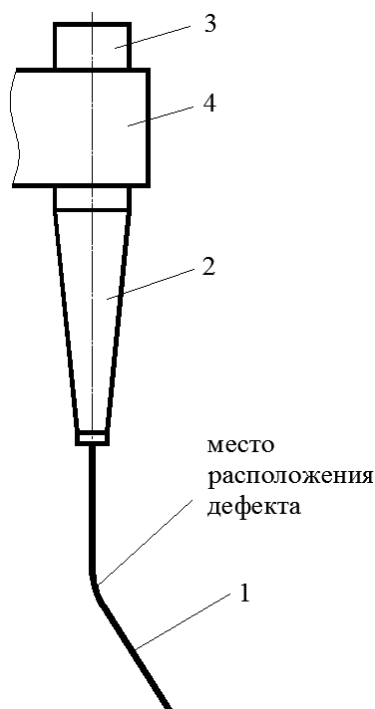


Рисунок 2 – Схема исследования

Испытываемая проволока 1 закрепляется на концентраторе 2 ультразвукового преобразователя 3, который установлен в кронштейне 4. Деформации в местах расположения дефектов наблюдаются визуально в виде изгибов.

Для инструментальной оценки качества проволоки было предложено использовать вихретоковый датчик в виде плоской катушки с центральным отверстием (рисунок 3).

При измерении исследуемая проволока проходит через центральное отверстие катушки. Катушка перемещается вдоль проволоки, в которой возбуждаются ультразвуковые колебания (рис. 4). Выходной сигнал датчика изменяется в местах максимумов и минимумов механических напряжений, а также в местах дефектов.

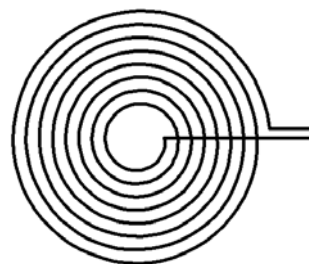


Рисунок 3

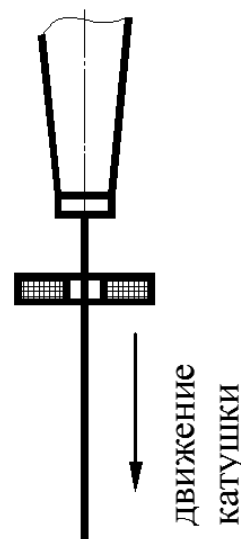


Рисунок 4

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке в рамках подпрограммы «Материалы в технике», задание № 3.2.08

1. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В.Э. Гюнтер и др. – Томск: Изд. МИЦ, 2006. – 296 с.

2. Разработать физические модели безшарнирных механизмов с пьезоэлектрическим приводом, в том числе с использованием материалов с эффектом памяти формы, и принципы управления ими в изменяющихся и неопределенных условиях внешней среды : отчет о НИР (заключительный) : 09-46 / Белорусский национальный технический университет; рук. Минченя В. Т., исполн. Минченя Н.Т. [и др.]. – Минск, 2010. – 106 с.

ТЕРМОАБЕРРАЦИИ В ИНФРАКРАСНЫХ ДИОПТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВАХ И ИХ КОМПЕНСАЦИЯ

Муравьев А.В.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени И. Сикорского»
Киев, Украина

Инфракрасные (ИК) оптические системы получают все более широкое распространение, как в гражданской, так и в военной сферах применения тепловизионной аппаратуры. Эксплуатационные требования к данной технике обязательно включают температурный диапазон работы приборов, который может достигать значений от -50°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

Качество изображения объективов оптико-электронных приборов (ОЭП) определяется мерой исправления аберраций и условиями работы. Изменение температуры окружающей среды приводит к появлению термоаббераций в изображении оптической системы [1]. Особенно существенно влиянию этого фактора подвержены диоптрические ИК объективы, что обусловлено высокой температурной зависимостью свойств оптических материалов, прозрачных в этой области спектра. Воздействие температуры может привести к значительному ухудшению качества изображения ИК объектива, что обусловлено следующими факторами:

- изменением радиусов кривизны и формы оптической поверхности линз (сферические поверхности в ряде случаев становятся асферическими);
- изменением габаритных размеров линз (осевых толщин и диаметров);
- изменением преломляющих свойств оптических материалов;
- возникновением внутренних напряжений компонентов оптической системы, что приведет к деформациям и возникновению эффекта дублупреломления.

Основным параметром оптического материала, характеризующим степень зависимости его свойств от температуры, является термооптическая постоянная V_t , которая определяется следующим образом [2]:

$$V_t = \frac{\beta_\lambda}{n_\lambda - 1} - \alpha,$$

где β_λ – коэффициент температурного приращения показателя преломления для длины волны излучения λ ; α – температурный коэффициент линейного расширения материала; n_λ – показатель преломления материала на длине волны λ .

Выполнить анализ влияния температуры на абберационные свойства и качество изображения

оптической системы с высокой точностью позволяют современные системы автоматического проектирования (САПР). Одним из таких программных пакетов является САПР Zemax, дающая возможность провести математическое моделирование с учетом нелинейности зависимости характеристик оптических материалов от температуры и длины волны излучения.

Типичным оптическим материалом для ИК объективов является германий, обладающий широким спектральным диапазоном пропускания излучения, простотой технологической обработки и хорошими механическими качествами. Однако наряду с этим свойства данного материала обладают чрезвычайной зависимостью от температуры, на порядок более существенной, чем у материалов видимого диапазона спектра и в разы превышающими значения V_t для большинства ИК материалов.

Для исследования закономерностей проявления термоаббераций изображения проведен анализ ряда диоптрических ИК объективов [3]. Рассмотрим результат такого анализа на примере типичного германиевого объектива [4], имеющего следующие основные характеристики: угол поля зрения $2\omega = 25^{\circ}$, фокусное расстояние $f = 38,55$ мм, относительное отверстие 1:0,75, спектральный диапазон работы 8-14 мкм. Качество изображения оптической системы характеризуется минимальными аберрациями и разрешающей способностью близкой к дифракционному пределу в случае, когда плоскость анализа совпадает с параксиальной фокальной плоскостью. При повышении температуры объектива с 20°C до 60°C положение этой плоскости изменится вследствие терморасфокусировки, которая составит 190 мкм. Это приведет к тому, что при условии отсутствия в конструкции фотоприемного узла устройства автоматической компенсации терморасфокусировки разрешающая способность оптической системы снизится в три-четыре раза.

Подробную информацию о результатах анализа влияния температуры на абберационные характеристики объектива содержит таблица 1. Приведенные значения радиуса кружка рассеяния представляют собой среднеквадратическую величину для заданных длин волн, а значения абберации кома взяты при максимальном размере кружка рассеяния.

Таблица 1. Значения aberrаций германиевого объектива при температурах 20 и 60 °С

Температура, °С	λ , мкм	Сферическая продольная, мм	Радиус кружка рассеяния, мкм		Астигматизм, мм		Кома, мкм	Дисторсия, %	Хроматизм положения, мкм	Хроматизм увеличения, мкм
			на оси	на краю	L_m	L_s				
20	8	0,002	9,452	22,531	-0,038	-0,029	$\Delta x'=29,08$ $\Delta y'=24,9$	-2,434	57,34	-20,39
	11	0,039			0,004	0,009				
	14	0,061			-0,028	0,03				
60	8	-0,19	9,73*	22,65*	-0,256	-0,224	$\Delta x'=126,5$ $\Delta y'=68,27$	-2,376	57,26	-20,51
	11	-0,152	38,810	75,825	-0,213	-0,186				
	14	-0,32			-0,189	-0,165				

*Значения определены по отношению к параксиальной фокальной плоскости исследуемой системы.

Проведенный анализ позволил установить, что наиболее существенно при температурном воздействии в диоптрическом ИК объективе изменяется продольная сферическая aberrация. При изменении температуры в такой оптической системе всего на несколько десятков градусов произойдет существенное снижение качества изображения даже для объектива с высокой степенью минимизации aberrаций. Однако характер зависимости полевых aberrаций от радиуса входного зрачка или угла поля зрения системы останется неизменным. Следовательно, при термостабилизации заднего фокального отрезка оптической системы все термоaberrации также будут скомпенсированы.

Компенсация терморасфокусировки возможна при использовании термокомпенсаторов активного или полуактивного типов. На данный момент наиболее популярным является применение шаговых электродвигателей для автоматического перемещения фотоприемного устройства и ручная юстировка элементов объектива. Однако если первый вариант существенно усложнит конструкцию фокусирующего узла фотоприемного устройства, то второй может быть в принципе не возможен при определенных условиях эксплуатации ОЭП.

Проблема термостабилизации заднего фокального отрезка также может быть решена при разработке атермализованных ИК объективов, когда в ходе синтеза оптической системы для её компонентов подбираются материалы с разными знаками термооптической постоянной для взаимной компенсации терморасфокусировки отдельных линз.

Разработанные методы пассивной оптической атермализации [5, 6] позволяют синтезировать композиции ИК объективов со стабилизированными в широком температурном диапазоне характеристиками и высоким качеством изображения. К преимуществам использования данных

методов можно отнести: простоту конструкции, надежность, отсутствие подвижных деталей, минимизацию массы и габаритов объектива. В ходе атермализации оптической системы происходит одновременная компенсация aberrаций изображения. Единственным недостатком методов пассивной оптической атермализации является необходимость использования минимум двух оптических материалов в конструкции ИК объектива.

1. Jamison, T.H. Thermal effects in optical systems / T.H. Jamison // Opt. Eng. – 1981. – Vol. 20. – P. 156-160.
2. Кучеренко, О.К. Влияние температуры на терморасфокусировку фокусирующего узла в инфракрасных системах / О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев, В.Н. Куцурук // Вісник НТУУ „КПІ”. – сер. Приладобудування. – 2010. – вип. 40. – С. 32-37.
3. Кучеренко, О.К. Вплив температури на aberrаційні властивості ІЧ-об'єктивів / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, Д.О. Остапенко // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2013. – №1. – С. 99-105.
4. Сокольский, М.Н. Светосильный объектив для инфракрасной области спектра / М.Н. Сокольский, И.Е. Совз. – Патент России № 2449327. – 2010.
5. Тягур, В.М. Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата / В.М. Тягур, О.К. Кучеренко, А.В. Муравьев, // Оптический журнал. – 2014. – том 81. – №4. – С. 42-47.
6. Кучеренко, О.К. Ахроматизація та атермалізація об'єктивів інфрачервоної техніки / О.К. Кучеренко, О.В. Муравйов, В.М. Тягур // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2012. – №5. – С. 114-117.

УДК 621.396 (024)

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЙ

Новицкий А.А., Шахлевич Г.М., Романов А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

Метод триангуляционных измерений, достаточно ограниченно применявшийся ранее, становится все более распространенным по мере развития микроэлектроники и лазерной техники. Оптико-электронные приборы для бесконтактного измерения и контроля положения, перемещения, размеров, профиля поверхности изделий, их деформации, вибрации, сортировки, распознавания технологических объектов, измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов, использующие принцип оптической триангуляции, называются триангуляционными датчиками [1].

Триангуляция – это определение взаимного расположения точек на поверхности при помощи построения сети треугольников. Метод позволяет измерять как относительное изменение расстояния от датчика до контролируемого объекта, так и абсолютную его величину. Причем контролируемое расстояние может иметь масштаб от долей микрометра до тысяч метров [2]. При технических измерениях лазерный луч в форме пятна малого диаметра падает на поверхность объекта, детектор системы определяет его позицию. Расстояние вычисляется по изменению угла α (рисунок 1). Диапазон измерения и точность в основном зависят от расстояния до объекта. Вблизи датчика интервалу измерений соответствует большее изменение угла (α_1 и α_2 на рисунке 1), то есть большая точность.



Рисунок 1 – Схема измерения триангуляционным датчиком

Излучательный канал триангуляционного датчика состоит из источника излучения (как правило, лазерный диод) и объектива, который формирует на контролируемой поверхности зондирующий гауссовый пучок света требуемого диаметра. Каждая поверхность имеет свойство отражать или рассеивать падающее излучение. Рассеяние излучения поверхностью объекта используется в триангуляции как физическая основа для получения информации о расстоянии до этой поверхности. Как правило, точность измерения обратно пропорциональна шероховатости контролируемой поверхности. Приемный канал состоит из проецирующего объектива и фотоприемника. Проецирующий светосильный объектив формирует изображение зондирующего пятна на плоскости фотоприемника. В качестве последнего используются фотодиодные или ПЗС матрицы. В высокоскоростных устройствах – позиционно-чувствительные датчики или фоточувствительные КМОП матрицы [3].

Приемное устройство взаимодействует с микроконтроллером, который анализирует распределение света на элементе, вычисляет точный угол и из него расстояние до объекта.

Комбинация фотодиодной матрицы и микроконтроллера позволяет уменьшить влияние нежелательных отражений и обеспечивает надежный результат даже на самых критичных поверхностях. Датчик автоматически адаптируется к цвету поверхности путем изменения внутренней чувствительности. Таким образом, влияния связанные с цветом объекта почти исключены. Интегрированный цифровой выход активизируется каждый раз, когда датчик не получает достаточно света (загрязнение сигнала), или в измеряемом диапазоне нет объекта [4].

Разработчиком и производителем оптоэлектронных приборов и систем для измерения геометрических величин в Беларуси является фирма RIFTEK [5]. На базе триангуляционный датчика RF603 (рисунок 2) на ней создано 26 моделей устройств с измерительным диапазоном от 2 до 1250 мм.

Лазерный излучатель 1 (рисунок 3) создает световую метку на поверхности объекта 6. Изображение световой метки проецируется на позиционно-чувствительный фотоприемник 4. При изменении расстояния от датчика до объекта происходит перемещение изображения световой метки в плоскости фотоприемника. Микропро-

пессор 5 производит вычисление координат изображения и расстояние до объекта. В процессе измерений производится динамический контроль мощности отраженного света и подавление фоновых засветок.



Рисунок 2 – Внешний вид датчика RF603

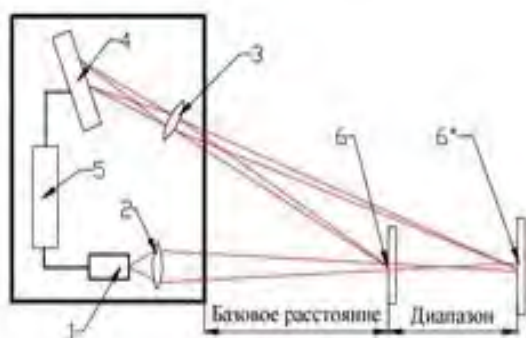


Рисунок 3 – Принципиальная схема датчика RF603

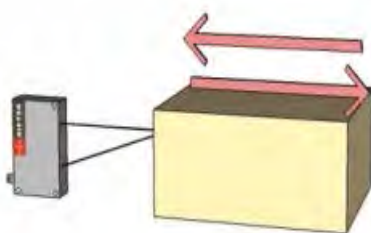
Также компания занимается комплексным решением задач контроля и автоматизации – от первичных преобразователей до много-функциональных измерительных и управляющих систем.

Примеры использования датчиков RF603:

1. Биение валов и других тел вращения. Точность измерения 0,1-0,005 мм.



2. Перемещение объекта относительно датчика. Точность измерения 1,0-0,05 мм.



3. Построение 3D-модели (профиля объекта) с помощью специализированных программ. Точность измерения 1,0-0,05 мм.



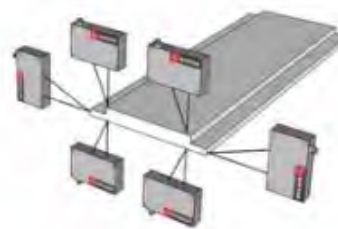
4. Толщина/ширина изделия. Датчики располагают и калибруют в одной системе координат. Точность измерения 0,5-0,01 мм



5. Сортировка объектов. Датчики применяются в автоматических сортировочных линиях (пример, сортировка конструктора LEGO) или специальных измерительных стендах. Точность измерения 0,5-0,01 мм



6. Размеры объекта. При перемещении детали (изделия) бесконтактно определяются его размеры. Точность измерения 1,0-0,05 мм



- Игнатов, А.Н., Оптоэлектронные приборы и устройства // Экотрендз, Москва, 2006.
- Венедиктов, А.З. Основные принципы построения опико-электронных систем триангуляционных измерителей. Вестник РГРТА. Вып.15, 2004.-С.45-51.
- Дворкович В.П., Дворкович А.В. Цифровые видеоинформационные системы. – М.: Техносфера, 2012.– 1008 с.
- Меркишин, Г.В. Многооконные опико-электронные датчики линейных размеров. – М.: Радио и связь. - 1986. - 168 с.
- <http://riftek.com>. – триангуляционные датчики.

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

Павленко Д.В.

Запорожский национальный технический университет

Запорожье, Украина

В современных экономических условиях развитие таких наукоемких и технологичных отраслей промышленности как приборо-, агрегато-, авиа- и ракетостроение, а также машино-электромашиностроение и ряда других, невозможно без применения новых материалов и технологий. С одной стороны высокотехнологичные отрасли промышленности нуждаются в новых материалах, обладающих улучшенными характеристиками. С другой стороны новые материалы должны отличаться низкой себестоимостью получения, что позволит снизить себестоимость производства изготавливаемых из них изделий. Наряду с развитием новых low-cost материалов, получаемых путем замены дорогих легирующих элементов более дешевыми аналогами [1], не менее важным аспектом является снижение стоимости их получения [2]. Одним из перспективных путей развития данного направления является использование технологий, основанных на методах порошковой металлургии. Хорошо известно, что порошковая металлургия позволяет получать заготовки деталей машин с высоким коэффициентом использования материала, а также заготовки, химический состав которых трудно, а иногда и не возможно, получить путем традиционной технологии переплава – из псевдосплавов. Следует отметить, что получение псевдосплавов, обладающих уникальным сочетанием потребительских свойств, является необходимым в различных отраслях промышленности. Несмотря на то, что псевдосплавы уступают большинству армированных композитов по прочности, они обладают рядом других ценных характеристик (демпфирующей способностью, износостойкостью, способностью к само смазыванию при трении, теплостойкостью, дугостойкостью, магнитной проницаемостью, биосовместимостью и др.), которые определяют их широкое применение. Немаловажным достоинством технологий порошковой металлургии для приборостроения является также возможность мелкосерийного производства заготовок оригинальных по химическому составу и, как следствие, свойствами.

Однако, несмотря на неоспоримые преимущества, а также достаточно хорошо развитую теорию и практику порошковой металлургии, применение деталей синтезированных из порошков в конструкции ответственных и нагруженных элементах машин весьма ограничено. Это

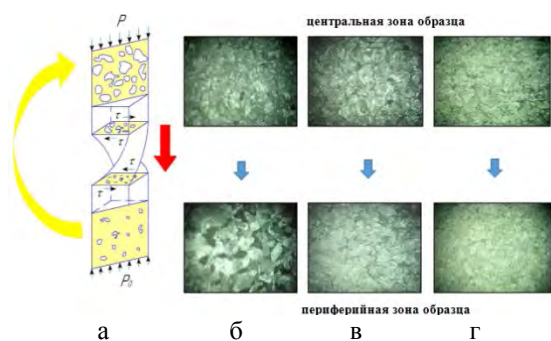
связано с основными известными их недостатками - остаточной пористостью, неомогенностью химического состава и, как следствие, невысоким уровнем прочности и пластичности.

Перспективной ресурсосберегающей технологией получения новых материалов является технология, сочетающая в себе методы порошковой металлургии и интенсивной пластической деформации (ИПД). Разработанная технология включает в себя такие технологические операции как приготовление порошковой смеси заданного химического состава, компактирование заготовок путем холодного прессования, консолидацию частиц порошков путем вакуумного спекания, ИПД заготовок методом винтовой экструзии и дальнейшую термическую обработку, обработку давлением и резанием с целью формообразования основных поверхностей детали. При этом, в отличие от традиционного назначения технологий порошковой металлургии направленных на снижение стоимости деталей за счет высокого коэффициента использования материала заготовки и, как следствие, сведения к минимуму необходимости механической обработки, разработанная технология направлена на получение компактных полуфабрикатов сложнелегированных сплавов по уровню свойств не уступающих деформированным полуфабрикатам получаемых путем переплава и последующей деформационной обработки. Исключение необходимости переплава (для титановых сплавов многостадийного вакуумного переплава) и синтез путем твердофазного спекания позволяет с одной стороны получать псевдосплавы, а с другой стороны значительно снизить себестоимость получаемых полуфабрикатов.

Основные задачи, которые были решены при разработке новой технологии связаны с оптимизацией режимных параметров на всех этапах технологического процесса. Так, на этапе подготовки порошковой смеси, учитывая различные свойства и фракционный состав порошков легирующих элементов, разработан способ их введения, оптимизирован фракционный состав, а также режимы смешивания. Установлено, что на данном этапе часть легирующих элементов рационально вводить в виде порошков отдельных металлов, а часть – в виде порошков комплексной лигатуры. На этапе холодного прессования и спекания основными задачами являлись режимные параметры процессов при ко-

торых с одной стороны обеспечивается достаточная прочность и однородность заготовок, а с другой – низкие затраты энергетических ресурсов. Увеличение давления прессования, например, способствует повышению прочности прессовок, но одновременно приводит и к интенсификации процессов износа технологической оснастки. Увеличение времени и температуры спекания способствует протеканию процессов диффузии и гомогенизации химического состава, однако сопровождается ростом зерен и затрат энергетических ресурсов.

На этапе ИПД, являющимся ключевым в разработанной технологии, были оптимизированы как режимные параметры процесса (температура заготовки, ее геометрия, степень и скорость деформации и др.), так и выбран наиболее рациональный способ деформации. Учитывая, что основной задачей ИПД является многократная деформация заготовки без ее формоизменения и разрушения, установлено, что для спеченных заготовок наиболее рациональным является применение метода винтовой экструзии [3]. Особенностью винтовой экструзии являются возможность высокой степени деформации заготовки в одном цикле. При этом, за счет приложения к переднему торцу заготовки противодействия, в процессе обработки в очаге деформирования обеспечивается высокий уровень гидростатического компонента тензора напряжений, что позволяет обрабатывать малопластичные материалы без разрушения (рис. 1).



P – давление прессования; P_0 – противодействие; τ – касательные напряжения.

Рисунок 1 – Схема уплотнения спеченных заготовок винтовой экструзией (а) и макроструктура спеченных заготовок после одного (б) двух (в) и трех (г) циклов деформации винтовой экструзией

Основными задачами, которые были решены на этапе ИПД спеченных заготовок являлись уплотнение (устранение пористости и других макродефектов), формирование субмикроструктурной структуры материала и гомогени-

зация химического состава во всем объеме заготовки. Первые две из них решаются путем накопления в заготовке больших деформаций, что обеспечивается многоциклового обработкой. Установлено, что рациональным является 5 циклов деформации. Гомогенизация обеспечивается за счет возникновения в поперечном сечении деформируемой заготовки множественных вихрей способствующих протеканию процессов массопереноса и перемешивания [4].

Исследования полуфабрикатов сложнолегированных титановых сплавов типа ВТ3-1, ВТ6 и ВТ8 полученных по разработанной технологии показали, что она позволяет получать компактные полуфабрикаты обладающие субмикроструктурной структурой, обеспечивающей хорошо известный эффект повышения комплекса свойств материала [5]. При этом себестоимость полуфабрикатов в 2...2,2 раза ниже по сравнению с деформированными полуфабрикатами титановых сплавов получаемых по традиционной технологической схеме переplava [6].

Таким образом разработанная ресурсосберегающая технология позволяет получать полуфабрикаты сложнолегированных сплавов различного состава для широкого круга отраслей промышленности с высоким уровнем свойств при относительной низкой себестоимости.

1. Рябцев А.Д. Получение титана повышенной прочности путем легирования кислородом в процессе камерного электрошлакового переplava / А.Д. Рябцев, С.И. Давыдов, А.А. Троянский и др. // Электрошлаковая технология, – 2007 – №3. – С. 3-6.
2. Ивасишин О.М., Шпак А.П., Д.Г. Саввакин Экономичная технология получения титановых деталей методом порошковой металлургии // Титан. – 2006. – №1. – С. 31-39.
3. Бейгельзимер Я.Е., Варюхин В.Н., Орлов Д.В. и др. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации Донецк: Фирма ТЕАН, 2003 – 87 с.
4. Pavlenko D.V., Beygelzimer Y. E Vortices in Noncompact Blanks During Twist Extrusion // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2016. – February. – P. 1-8.
5. Pavlenko D.V, Ovchinnikov A. V. Effect of Deformation by the Method of Screw Extrusion on the Structure and Properties of VT1-0 Alloy in Different States // Materials Science. – 2015 – Vol. 51, Issue 1 – P. 52-60.
6. Павленко Д.В. Альтернативные схемы технологического процесса получения полуфабрикатов для лопаток ГТД методами порошковой металлургии // Технологические системы. – 2014 – №4 – С. 51-57.

МЕТОДЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ИЗ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Павлюченко В.В., Дорошевич Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

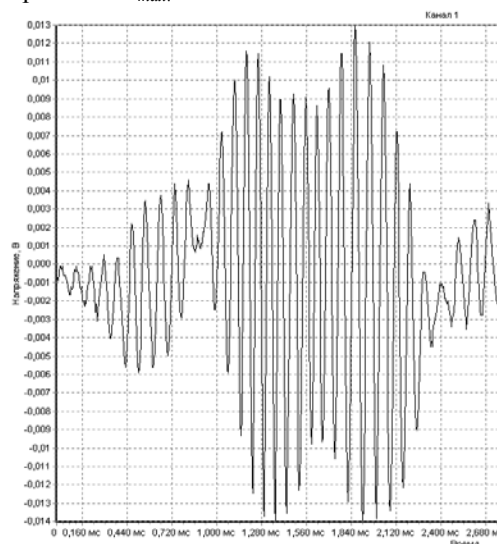
Дискретизация процесса записи магнитного поля осуществляется путем разбиения плоского датчика на отдельные фрагменты, каждый из которых несет информацию о поле. Эти фрагменты могут быть выполнены в виде полос и участков другой формы. Из магнитного носителя изготавливали дискретные датчики в виде параллельных магнитных полос равной ширины, укрепленных на гибкой диэлектрической немагнитной основе [1]. Преимущественное направление намагничивания датчика было в его плоскости, так что на датчик производили запись тангенциальной составляющей H_m . Сканирование датчика индукционной магнитной головкой (МГ) осуществляли в направлении, перпендикулярном осям магнитных полос. Выход МГ был подключен к входу цифрового осциллографа, соединенного с монитором. Измеряли величину индуцированного головкой электрического напряжения U , по которой в соответствии с градуировочными характеристиками датчика находили распределение H_m . Величина пиков U от краев магнитных полос пропорциональна величине H . Ширина магнитных полос составляла $2 \cdot 10^{-4}$ м и $3 \cdot 10^{-4}$ м. Датчики могут быть изготовлены из магнитооптической пленки, флюкс-детекторов и других материалов.

Так как при считывании сигнал возникает от обоих краев магнитных полос с разной полярностью, то амплитуда сигнала удваивается. Сигнал является двухполярным с определением нулевого уровня и получаемые распределения U во времени являются симметричными, что повышает возможности визуальной или автоматической обработки информации. Точность измерения магнитного поля также значительно повышается вследствие большой крутизны обратного участка гистерезисной зависимости $U(H)$.

Воздействуем на дискретный носитель последовательно тремя разнополярными импульсами поля с убывающей амплитудой. Ось излучателя импульсного магнитного поля параллельна магнитным полосам. Положение проекции оси излучателя магнитного поля соответствует минимуму сигнала $U(t)$ в момент времени $t_{1max} = 1,7 \cdot 10^{-3}$ с. В результате получаем распределение $U(t)$, изображенное на рисунке 1 и содержащее четыре максимума в точках $t_{1max} = 5,8 \cdot 10^{-4}$ с, $t_{2max} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ с, $t_{3max} = 1,9 \cdot 10^{-3}$ с, $t_{4max} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ с и пять минимумов $t_{1min} = 0$,

$t_{2min} = 8 \cdot 10^{-4}$ с, $t_{3min} = 1,7 \cdot 10^{-3}$ с (соответствует положению оси излучателя импульсного магнитного поля, нулевой минимум), $t_{4min} = 2,4 \cdot 10^{-3}$ с, $t_{5min} = 2,9 \cdot 10^{-3}$ с. Впервые получены картины упорядоченных распределений остаточных магнитных полей на носителе и распределений $U(t)$.

По аналогии с интерференцией волн можно ввести понятия максимумов и минимумов интерференции. Под осью линейного излучателя находится нулевой максимум или нулевой минимум. Порядок максимума или минимума определяем по тому, сколько раз на соответствующем ему участке датчика произошло перемагничивание. Тогда на рисунке 1 имеем два максимума второго порядка ($1,3 \cdot 10^{-3}$ с, $1,9 \cdot 10^{-3}$ с) и два максимума первого порядка, нулевой минимум третьего порядка ($1,7 \cdot 10^{-3}$ с), два минимума второго порядка ($8 \cdot 10^{-4}$ с, $2,4 \cdot 10^{-3}$ с), два минимума первого порядка. Использование впервые полученной дискретизации позволяет повысить точность измерения магнитных полей в 2-5 и более раз. Осуществить измерения можно с помощью одного импульса сложной формы (рисунк 2) с получением зависимости $U(t)$ (рисунк 3). На пластину из алюминия [2] воздействовали импульсом магнитного поля со временем нарастания t_{max} .



Воздействие на носитель
тремя импульсами поля

Рисунок 1 - Зависимость $U(t)$,
воспроизведенная МГ

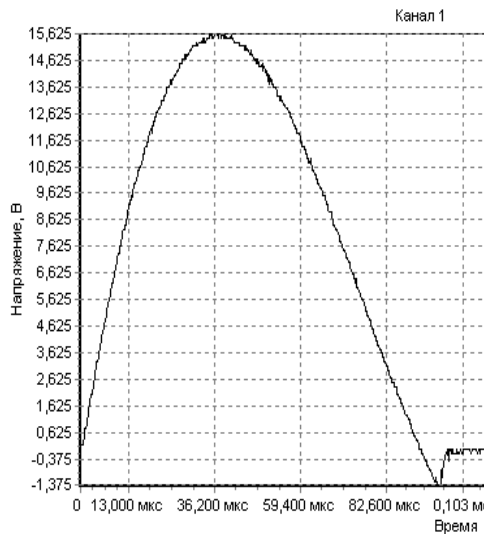


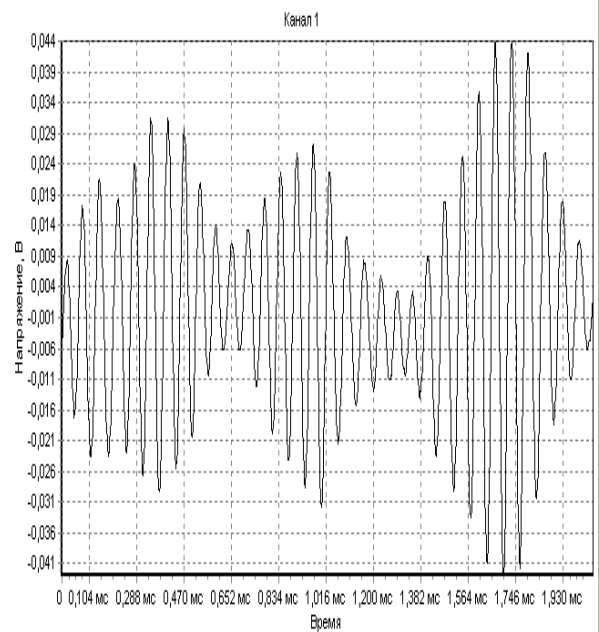
Рисунок 2 - Зависимость $U(t)$, снятая с измерительного сопротивления источника магнитного поля

Увеличение толщины пластины с $1 \cdot 10^{-4}$ м до $1,3 \cdot 10^{-4}$ м приводит к увеличению $H_{\text{тн}}$ вблизи поверхности пластины из алюминия в 1,15 раза. Это соответствует увеличению $U(t)$ с $8,2 \cdot 10^{-2}$ В до $8,8 \cdot 10^{-2}$ В. Тогда в пересчете на диапазон регистрации с верхним пределом $6 \cdot 10^{-2}$ В получаем, что диапазон измерения составляет $4,5 \cdot 10^{-3}$ В. При измерении предложенным способом диапазон измерений равен $5,9 \cdot 10^{-2}$ В (нулевой максимум второго порядка при $t = 1 \cdot 10^{-3}$ с на рисунке 3, равный $5,9 \cdot 10^{-2}$ В, нулевой минимум второго порядка при $t = 1 \cdot 10^{-3}$ с, равный нулю для толщины $1 \cdot 10^{-4}$ м). Отношение пределов допустимой относительной погрешности δ в данном случае равно отношению обратных величин их диапазонов регистрации сигналов ($4,5 \cdot 10^{-3}$ В и $5,9 \cdot 10^{-2}$ В). Точность измерений повысилась в 13 раз.

Оптические изображения полученных фигур сравнивали с оптическими изображениями эталонных объектов, по которым идентифицировали свойства контролируемого объекта. Метод позволяет контролировать толщину и разнотолщинность объекта, параметры дефектов сплошности в нем, динамическую магнитную проницаемость μ , удельную электропроводность σ и их распределение в объекте.

Проведены теоретические расчеты распределений импульсных магнитных полей [2] с использованием Delphi. Воздействуем на носитель двумя разнополярными импульсами магнитного поля линейного индуктора в направлении x с напряженностью $y = A / (x^2 + 0,36)$, где $y = H_{\text{т}}$. Здесь x измеряется в sm , а y - в A/sm . Такие двухполярные расчетные распределения показаны на рисунке 4: прямая функция

($A=360$, $A_{\text{обр}}=-43$) и зеркальная функция ($A=-360$, $A_{\text{обр}}=43$), $A_{\text{обр}}$ - постоянная для обратного импульса.



Пластина из алюминия толщиной $1,3 \cdot 10^{-4}$ м

Рисунок 3 - Зависимость $U(t)$, воспроизведенная МГ

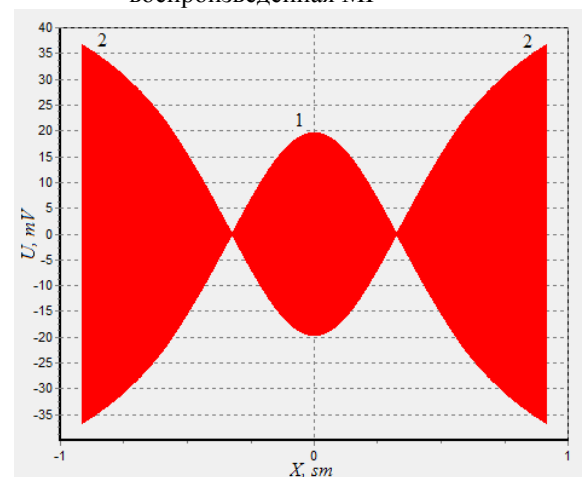


Рисунок 4 - Зависимость U , снимаемого с МГ от расстояния x до проекции оси излучателя,

$$U_m = 40 \text{ mV}$$

Метод, использующий программные расчеты напряженности магнитного поля [3] основан на выделении локального участка магнитного носителя с уровнем напряжения $U = U(x)$ на выходе сканирующего его преобразователя, с отличным от уровня остальной его части сигнала (рисунок 5, участок 1). Выделяют локальный участок, смещают нулевой уровень сигнала, усиливают сигнал, строят зеркальную функцию, создают оптическое изображение магнитного поля.

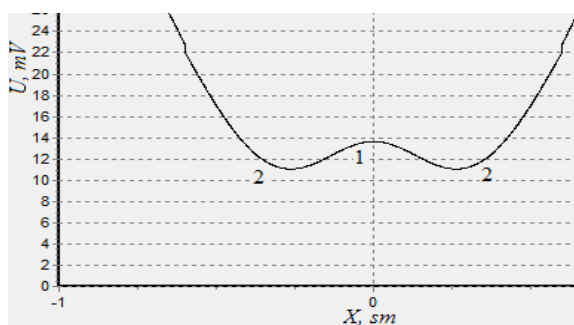


Рисунок 5 – Зависимость U , снимаемого с МГ, от расстояния x до проекции оси излучателя

Последовательность проводимых расчетов: выбор экспериментальной (теоретической) зависимости $U = U(H_\tau)$ для конкретного носителя, представление ее в виде нескольких функций в заданном приближении $U_{il} = U_{il}(H_\tau)$, определение параметров первого воздействующего импульса прямого направления: величины тока линейного индуктора, времени нарастания и спада импульса тока, формы импульса и расстояния от оси линейного индуктора до МН, расчет воздействия найденным импульсом поля на МН и получение зависимости $U = U(t)$ при считывании по которому определяют параметры объекта.

УДК 620.130

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ОБЪЕКТОВ

Павлюченко В.В., Сычик В.А., Дорошевич Е.С.
Белорусский национальный технический университет.

На основе исследования вторичных магнитных полей вблизи электропроводящих объектов установлена квазилинейная зависимость величины максимальной тангенциальной составляющей поля $H_{\tau Sm}$ от толщины d объекта, переходящая в экспоненциальную зависимость, при воздействии на объект импульсами поля и экспоненциальная зависимость $H_{\tau Sm}$ от времени нарастания импульсов t_{max} [1]. Разработаны новые методы определения свойств электропроводящих объектов с использованием полученных зависимостей, позволяющие записывать распределения магнитных полей с информацией об объектах на площадях поверхности $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ и более в течение $1 \cdot 10^{-4} \text{ с}$ и повышающие точность контроля электрических и магнитных свойств электропроводящих объектов на 40%. Установлено, что величина $H_{\tau Sm}$ на линейном участке упомянутой зависимости прямо пропорциональна величине максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля первичного источника $H_{\tau 0m}$, прямо пропор-

преобразователем магнитного поля, применение функций $U_i = U_i(H_\tau)$ к зависимости $U_i = U_i(x)$, определение обратных зависимостей $U_j = U_j(H_\tau)$, создают оптическое изображение магнитного поля, представление этих зависимостей в виде нескольких функций в заданном приближении $U_{i2} = U_{i2}(H_\tau)$, определение параметров второго и последующих импульсов и результатов их воздействия, выбор объекта контроля, повторение указанных действий в присутствии объекта и в его отсутствие и определение свойств объекта путем их сравнения.

Разработанные методы измерения и контроля с дискретизацией и гистерезисом авторы распространяют на все объекты, все носители информации и на все поля.

1. Павлюченко, В.В. Использование магнитного гистерезиса при контроле объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях / В.В. Павлюченко, Е.С.Дорошевич // Дефектоскопия. – 2013. – № 6. – С. 53-68.

2. Павлюченко, В.В. Расчет распределений остаточных магнитных полей при гистерезисной интерференции импульсного магнитного поля / В.В. Павлюченко, Е.С. Дорошевич, В.Л. Пивоваров // Дефектоскопия. – 2015. – №1. – С. 11-20.

циональна величине удельной электропроводности материала σ и обратно пропорциональна t_{max} . Разработана новая физическая модель связи величины $H_{\tau Sm}$ с d , основанная на расчете плотности токов вторичного источника в момент времени, равный четверти периода волны, и определении $H_{\tau Sm}$ [1]. Так, использование найденной зависимости $H_{\tau sm}(d)$ при магнитоимпульсном методе с применением магнитооптической пленки [2] позволяет значительно повысить точность определения параметров изделий. Для каждого времени нарастания воздействующего магнитного поля рассчитывают максимальную величину напряженности магнитного поля согласно найденным экспериментально линейной зависимости и зависимости вида единица минус экспонента этой величины от толщины объекта.

На материал с приложенной к нему магнитооптической пленкой воздействуют импульсами магнитного поля с разными временами нарастания t_{imax} и получают изображения доменной

структуры пленки, соответствующие проникновению магнитного поля на разные глубины. Однако H_{csm} на поверхности контролируемого объекта увеличивается с увеличением его толщины. Поэтому магнитооптическая пленка находится в разных исходных состояниях при воздействии на объект импульсами магнитного поля с одной и той же $H_{\tau 0m}$ и разными временами его нарастания, что не позволяет производить точный контроль электрических и магнитных свойств материалов, а также определять параметры дефектов сплошности в них. Более того, при достаточно большой толщине объекта доменная структура пленки может прийти в состояние насыщения, что не позволит осуществлять контроль свойств материала. В моменты времени $t = t_{imax}$ для каждого импульса величина максимальной тангенциальной составляющей напряженности поля на поверхности однородного материала H_{itm} должна быть одной и той же $H_{itm} = const$. Из найденной квазилинейной зависимости определяем величину напряженности первичного поля, обеспечивающую одну и ту же величину $H_{itm} = const$ на поверхности материала:

$$H_{itom} = H_{itm} - k \cdot d,$$

где k – коэффициент, зависящий от σ и t_{imax} . На втором участке зависимость величины H_{itsm} от d носит экспоненциальный характер и описывается найденной эмпирической формулой:

$$H_{itsm} = k_{is} \cdot H_{itom} (1 - e^{-bd}),$$

где b – коэффициент, зависящий от σ и t_{imax} , k_{is} – коэффициент, равный отношению величин максимальных тангенциальных составляющих магнитного поля индукционных токов H_{itsm} и воздействующего поля H_{itom} при толщине материала d , стремящейся к бесконечности. Используя найденную экспоненциальную зависимость находим напряженность первичного поля, обеспечивающего одинаковую $H_{itm} = const$ на поверхности однородного материала при разных временах нарастания воздействующего поля t_{imax} на втором участке зависимости:

$$H_{it m} = H_{itm} \left[1 + k_{is} (1 - e^{-bd}) \right]^{-1}$$

Воздействуя на материал одиночными импульсами магнитного поля с разными t_{imax} и H_{itm} , определяемыми из указанных формул, находят соответствующие им изображения доменной структуры магнитооптической пленки в моменты времени t_{imax} , накладывают изображения друг на друга и находят распределение σ материала и ее неоднородности по глубине. Глубину залегания этих неоднородностей находят по времени t_{imax} импульса, соответствующего эффективной глубине проникновения магнитного поля в материал, при воздействии которым начинают проявляться неоднородности доменной структуры магнитооптической пленки.

Метод магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала [3] осуществляют следующим образом. Воздействуют на объект импульсами магнитного поля с разными временами нарастания и определяют распределение максимальной тангенциальной составляющей напряженности по заданной линии замера для каждого импульса, по которым формируют строки и полосы раstra телевизионного изображения, соответствующие разной глубине объекта. Далее изображение каждой полосы накладывают на изображения всех остальных полос, причем ширина каждой полосы раstra соответствует эффективной глубине проникновения магнитного поля, определяемой временем нарастания импульса поля. На поверхности контролируемого объекта выбирают линию замера. Воздействуют на объект импульсами магнитного поля со временами нарастания t_{imax} , находят распределение максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля H_{itm} по линии замера и для каждого импульса на поверхности объекта формируют полосу раstra. Ширину этой полосы L устанавливают прямо пропорциональной эффективной глубине проникновения магнитного поля в объект Δ_i для каждого времени нарастания t_{imax} :

$$\Delta_i = \sqrt{\frac{4t_{imax}}{\pi \mu \sigma}}. \quad (2)$$

При этом величине H_{itm} вводят в соответствие уровни сигнала, например, электрического, и производят запись каждой полосы раstra на элементы памяти. После этого воспроизводят информацию, записанную на элементы памяти каждой полосы, на экране монитора по отдельности и получают оптическое изображение распределения H_{itm} для слоев объекта толщиной Δ_i с цифровой индикацией величины H_{itm} . В случае немагнитных электропроводящих материалов $H_{itm} = H_{itm}(\sigma, t_{imax})$, а, для магнитных $H_{itm} = H_{itm}(\sigma, \mu, t_{imax})$. Таким образом, измерив H_{itm} на поверхности объекта по предварительно найденным функциям $H_{itm} = H_{itm}(\sigma, t_{imax})$ и $H_{itm} = H_{itm}(\sigma, \mu, t_{imax})$ соответственно для известных немагнитных и магнитных материалов, определяют σ и μ материала объекта. Разделение информации о величинах σ и μ в указанной зависимости H_{itm} от них ведут по ее параметрам с учетом дополнительной информации о величинах σ и μ для материала конкретного объекта.

Далее формируют растр из всех полученных полос таким образом, что изображение каждой полосы накладывают на изображения всех остальных полос, причем линия каждой полосы, например, верхняя, соответствует поверхности объекта, а положение нижних линий полос опре-

деляется эффективной глубиной проникновения магнитного поля в объект, определяемой $t_{i \max}$. Для выделения информации полос устанавливают одинаковый средний уровень сигнала каждой полосы и вычитают информацию заданной полосы из всех последующих, получая данные о свойствах глубинных слоев объекта. При этом оставляют в растре полную ширину только первой, то есть верхней, полосы, соответствующей минимальной величине $t_{i \max}$, а у всех последующих полос оставляют в растре только нижние части, исключая наложение полос друг на друга. Располагая все полосы растра в одном масштабе, устанавливают соответствие между положением каждой строки и глубиной проникновения магнитного поля в материал объекта.

1. Павлюченко, В.В. Неразрушающий контроль объектов из электропроводящих материалов в импульсных магнитных полях /

В.В. Павлюченко, Е.С. Дорошевич // Дефектоскопия. – 2010. – № 11. – С. 29-40.

2. Способ магнитоимпульсного контроля дефектности, электрических и магнитных свойств объекта из магнитного или немагнитного электропроводящего материала: пат 10464 Респ. Беларусь, МПК С2 ВУ, G 01 N 27/00 / В.В. Павлюченко, Е.С.Дорошевич; заявитель БНТУ – № а20060201; заявл. 09. 03. 2006; опубл. 30.04.08 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008. – № 2. – С. 97-98.

3. Способ магнитного контроля дефектности, электрических, магнитных и механических свойств ферромагнитного материала: пат 11266 Респ. Беларусь, МПК С2 ВУ G 01 N 27/84, G 01 R 33/82 / В.В. Павлюченко, Е.С.Дорошевич; заявитель БНТУ – № а 20060340; заявл. 13. 04. 2006; опубл. 30.04.08// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008, № 5. – С. 128-129.

УДК 51-73

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЭМС НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАТРИЦАМИ ИЗ ПОРИСТЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР

Плескачевский Ю.М.¹, Горох Г.Г.², Казаченко В.П.³, Плиговка А. Н.², Шилько С.В.⁴, Таратын И.А.⁵, Хатько В.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

³Республиканская ассоциация наноиндустрии Беларуси

Минск, Республика Беларусь

⁴Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси

Гомель, Республика Беларусь

⁵ОАО Минский НИИ радиоматериалов

Минск, Республика Беларусь

Анализ мирового рынка выявляет возрастающую потребность в микроэлектромеханических преобразователях сенсорного и актуаторного типа (далее – преобразователей). Одним из путей повышения эксплуатационных характеристик указанных приборов является разработка новых функциональных, в особенности, интеллектуальных материалов, с использованием основы (подложки), структурированной на наномасштабном уровне [1]. Это открывает перспективы управления физико-механическими свойствами материалов путем создания упорядоченных микро- и наномасштабных поверхностных и объемных кластеров.

В основе настоящей работы лежит идея создания преобразователей в виде актуаторов и сенсоров путем синергетического использования упорядоченных наноструктурированных объектов (рис. 1) и функциональных материалов в

виде полимеров, полупроводников и пьезоэлектриков, способных к регистрации и трансформации физических воздействий.

Реализация этой идеи связана с поиском конкретных соединений и способов их введения в нанопоры (рис. 1а) или столбчатые наноструктуры (рис. 1б) для получения интеллектуальных композитов, обладающих термо-, опто-, тензо- и другими видами чувствительности.

Ранее проведенные исследования [2] показали зависимость модуля Юнга, коэффициента теплопроводности и других физико-механических характеристик нанопористого анодного оксида алюминия от его объемной пористости. Использование указанного наноструктурированного материала в качестве связующего звена между монолитной (например, кремниевой) подложкой и осаждаемым на ней функциональным материалом (полимером, полупроводником и т.д.) обес-

печат решение нескольких проблем. За счет уменьшения градиента коэффициентов термического расширения подложки и функционального слоя снижается концентрация межфазных термомеханических напряжений и вероятность адгезионного разрушения.

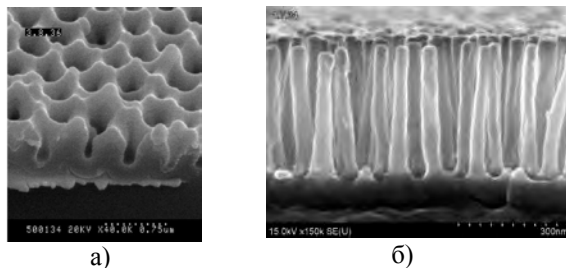


Рис. 1. Регулярные структуры оксида алюминия (а) и оксида ниобия (б)

Одним из направлений в реализации данной идеи является разработка исполнительного элемента МЭМС терморегуляции малых космических аппаратов (МКА). В качестве исполнительного элемента таких микросистем чаще всего применяются балочные и мембранные актюаторы, действие которых основано на электростатическом эффекте или тепловой активации движения балки (принцип биметаллической пластины). На рис.2 приведена внешняя панель МКА с микромеханическими системами терморегулирования (схематически).

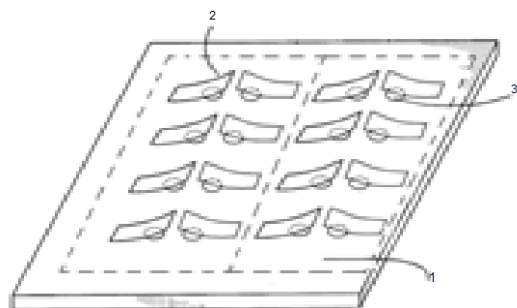


Рис. 2. Внешняя панель МКА с МЭМС терморегулирования: 1 – Si подложка, 2 – биморфная пластина, 3 – отверстие.

К настоящему моменту времени уже существуют технологии и опытные образцы систем терморегуляции на основе термомеханических актюаторов, действие которых основано на биморфном эффекте пары материалов с различным коэффициентом термического расширения (кремний и термостойкий полимер) [3].

В настоящей работе приведены результаты исследований структуры и морфологических особенностей тонких пленок на основе полимерных форм C_{60} , синтезированных методом электроно-лучевого осаждения на поверхностях

нанопористого АОА и структурированных полиимидных пленок.

Покрyтия из полимеризованного фуллерена C_{60} толщиной 100–500 нм формировали на подложках из нанопористого анодного оксида алюминия (АОА), сформированных в щавелево-кислом, малоновокислом и виннокислом электролитах, с размерами пор от 20 до 100 нм. Структуру сколов и морфологию осажденных пленок на различных подложках исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием микроскопов VEGA II LSH и Supra 55. Сколы покрытий, осажденных на трековые мембраны из полиимидной пленки, были получены в среде жидкого азота.

Для покрытий, сформированных на АОА (рис. 3 и 4), было показано, что характерный размер надмолекулярных структурных образований увеличивается с ростом периода структуры подложки (рис. 5). Указанная зависимость сохраняется как для покрытий толщиной 100–150 нм, так и для слоев толщиной 300–400 нм. При этом на подложках со значением периода структурирования более 100 нм происходит образование характерных столбчатых структур.

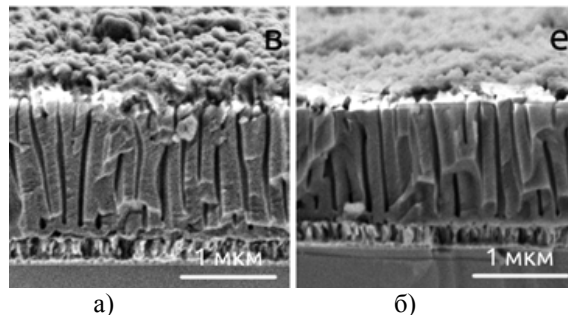


Рис. 3. Изображения РЭМ сколов покрытия полимеризованного C_{60} , осажденного на подложках из нанопористого оксида алюминия без (а) и с применением дополнительного отжига в вакууме (б)

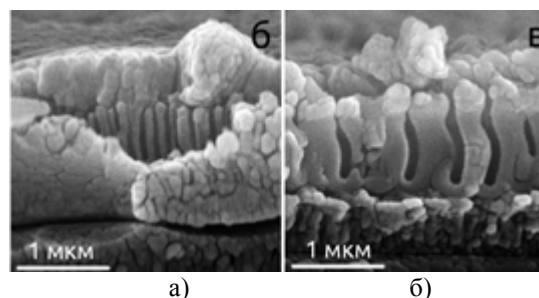


Рис. 4. Изображения РЭМ сколов покрытий полимеризованного C_{60} толщиной 300–400 нм на поверхности наноструктурированного оксида алюминия.

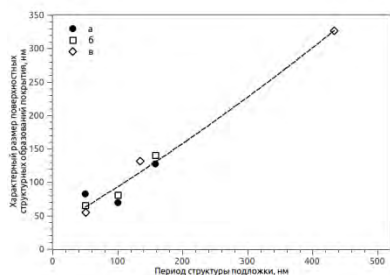


Рис. 5. Зависимость характерного размера структурных образований покрытия полимеризованного C_{60} от периода структуры подложки: а – покрытия толщиной 100–150 нм, б – покрытия толщиной 100–150 нм, сформированные с дополнительным вакуумным отжигом, в – покрытия толщиной 300–400 нм

Отжиг осажденных слоев *in situ* в вакууме непосредственно после формирования при температуре $100^{\circ}C$ в течение 1 часа практически не влиял на структуру и морфологию осажденных слоев (рис. 4). Глубина проникновения материала покрытия в поры подложки не превышает диаметра пор. Наименьшей шероховатостью обладают покрытия, сформированные на подлож-

ках с периодом структурирования около 100 нм и размером пор около 50 нм, что соответствует диапазону размеров структурных образований покрытий полимеризованного C_{60} , сформированных на гладких поверхностях, таких как монокристалл кремния.

Таким образом, исследования показали, что диаметры пор и период структуры исследуемых подложек оказывают решающее значение на шероховатость полимеризованного C_{60} покрытия, характерный размер поверхностных надмолекулярных образований и степень заполнения пор.

1. Плескачевский Ю.М., Хатько В.В., Горох Г.Г., Таратын И.А. / Сб. научн. статей “Наноструктуры в конденсированных средах”/ Под ред. П.А. Витязя. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. – С. 18–24.
2. Баркалин В.В., Белогуров Е.А., Таратын И.А., Хатько В.В., Шукевич Я.И. / Нано- и микросистемная техника. – 2012, № 1. – С. 18–24.
3. Корпухин А.С., Бабаевский П.Г., Жуков А.А., Козлов Д.В., Смирнов И.П. / Нано- и микросистемная техника. 2011, № 2.

УДК 621.396:535.8

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООПТИКИ МИКРООБЪЕМОВ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖК В ПРОСТРАНСТВЕННО ИНТЕГРИРОВАННЫХ МОДУЛИРУЮЩИХ СТРУКТУРАХ

Развин Ю.В., Потащиц В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Нематические жидкие кристаллы (НЖК) относятся к числу перспективных и наиболее доступных в настоящее время электрооптических материалов для устройств модуляции света. НЖК характеризуются дальним ориентационным порядком. Длинные оси молекул в объеме вещества ориентированы вдоль определенного направления. Направление преимущественной ориентации молекул ЖК принято характеризовать единичным вектором \mathbf{n} (так называемый директор). Директор определяет лишь направление преимущественной ориентации молекул. Мерой дальнего ориентационного порядка является степень упорядоченности:

$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \Theta - 1 \rangle,$$

где Θ - угол между осью отдельной молекулы и директором слоя ЖК.

В ЖК степень упорядоченности S определяет анизотропию его электрических и оптических свойств. При изменении степени упорядоченности претерпевают изменения анизотропии показателя преломления ($\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$), диэлектрической проницаемости ($\Delta \epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$) и электропро-

водности ($\Delta \sigma = \sigma_{\parallel} - \sigma_{\perp}$). Индексы \parallel и \perp показывают направления относительно длинной оси молекул ЖК.

Особенность электрооптических эффектов в НЖК состоит в том, что вследствие анизотропии диэлектрической проницаемости и электропроводности жидкий монокристалл испытывает вращающий момент, стремящийся понизить энергию ЖК слоя в электрическом поле. Вследствие относительно небольшой вязкости и внутреннего трения вращающий момент приводит к переориентации молекул ЖК. Согласно теории Озеена-Франка электрическое поле вызывает такую деформацию ЖК, что результирующее распределение ориентации осей молекул (n) минимизирует свободную энергию объема ЖК. Минимум энергии искажения ЖК достигается при условии совпадения направления максимальной поляризуемости с направлением поля \mathbf{E} . В результате в ЖК с положительной диэлектрической анизотропией директор стремится установиться вдоль поля, а при отрицательной диэлектрической анизотропии – перпендикулярно ему. Упругие силы стремятся вернуть ЖК в ис-

ходное состояние, определяемое граничными условиями на поверхностях слоя. Анализ такой модели показывает, что существует пороговое напряжение, при достижении которого начинается переориентация ЖК-слоя

$$U_{пор} = \pi(4\pi K/\Delta\varepsilon)^{1/2},$$

где K – модуль упругости НЖК

В качестве примера рассмотрим электрооптику твист эффекта (Т-эффекта), как наиболее применяемого в НЖК-устройствах. Твист-эффект наблюдается в планарно-ориентированных слоях НЖК с положительной диэлектрической анизотропией. Направление ориентации молекул на границах слоя отличаются друг от друга на угол 90° , при этом образуется закрученная структура. В отсутствие управляющего напряжения такая структура оптически активна, причем угол вращения плоскости поляризации проходящего через нее излучения равен углу закрутки жидкого кристалла. Этот режим выполняется для всех длин волн λ , проходящего через ячейку излучения, удовлетворяющих режиму Могена:

$$\lambda \ll 4d\Delta n,$$

где d – толщина слоя жидкого кристалла, Δn – его оптическая анизотропия.

При достаточно большой толщине слоя ЖК (~10 мкм) условие Могена выполняется для всех длин волн видимого диапазона. Соответственно, твист-ячейка закручивает на 90° плоскость поляризации как монохроматического, так и белого света. В отсутствие поля оптическая система: твист-ячейка в параллельных поляроидах (если направление поляризатора совпадает или перпендикулярно ориентации молекул ЖК на входной грани модулятора), непрозрачна при распространении света по нормали к ограничивающим поверхностям. Для твист-эффекта характерна зависимость от толщины ЖК слоя не только угла наклона молекул, но и их азимута. В результате выражение для порогового поля, определяющего начало деформации, равно:

$$U = \pi([K_{11} + (K_{33} - 2K_{22})/4]4\pi/\Delta\varepsilon)^{1/2}$$

При этом порог Т-эффекта всегда превышает порог начала деформации. Времена переориентации и релаксации молекул ЖК для чистой Т-деформации определяются выражениями

$$\tau_{вкл} = \gamma_1 d^2 / (\Delta\varepsilon E^2 d^2 + \pi^2 K_{22})$$

$$\tau_{рел} = \gamma_1 d^2 / \pi^2 K_{22}$$

где γ_1 – коэффициент вязкости ЖК

Необходимо подчеркнуть, что если время включения Т-эффекта может быть уменьшено увеличением управляющего напряжения, то изменение времени релаксации при условии постоянства d определяется только параметрами ЖК.

Матричные модуляторы (ПМС) являются универсальным устройством отображения информации дискретного типа. Простейший модулятор имеет две системы ортогональных электродов N строк и M столбцов (разрядов), между которыми находится слой ЖК. С увеличением информационной емкости уменьшается размер световых элементов – пикселей (переключаемых микрообъемов жидкого кристалла). Электрооптика микрообъемов ЖК существенным образом отличается от электрооптических свойств сплошных модулирующих структур.

Основная проблема, с которой приходится сталкиваться при управлении матричным модулятором, является подавление кросс-эффекта. Кросс-эффект (включение “полувыбранных” пикселей) возникает вследствие гальванической и емкостной связи между электродами, а также пологой ВКХ жидкого кристалла и приводит к уменьшению числа отображаемых строк модулятора. Максимальное число сканируемых строк матричного модулятора определяется выражением:

$$N_{max} = [(1+P)^2 + 1] / [(1+P)^2 - 1]^2$$

где $P = (U_p - U)/U$ – крутизна ВКХ, U – пороговое напряжение для ЖК слоя, U_p – рабочее напряжение.

Кросс-эффект можно ослабить при подборе режимов управления по так называемым схемам $U/2$, $U/3$, или использовать жидкий кристалл с крутой ВКХ. При управлении матричным модулятором повторяющимися импульсами электрического поля число отображаемых строк зависит от среднеквадратичного значения порогового и рабочего напряжений. Таким образом, чем круче вольт контрастная характеристика ЖК (меньше P), тем с большим числом сканируемых строк можно построить матрицу.

Требования к временным характеристикам электрооптических эффектов, применяемых в матричных модуляторах, связаны в основном с повышением быстродействия. Чистый твист-эффект в ЖК, имеющий память релаксационного типа, считался до недавнего времени малоперспективным для мультиплицирования информации на модуляторе матричного типа. Время отклика зависит от толщины ячейки и отношения динамической вязкости к коэффициенту упругости K используемой ЖК смеси.

Исследование образцов матричных ЖК ПМС на основе Т-эффекта показало, что при малых объемах модулирующего слоя в пределах апертуры пикселя существенное влияние на кинетику переключения оказывает начальный преднаклон молекул жидкого кристалла.

В работе использовались экспериментальные образцы матричных НЖК-модуляторов, собранных на подложках с переменной структурой

электродов. Оптическая апертура образцов не превышала 16x16 мм². Размеры электродов исследуемых структур менялись в пределах 100...5 мкм. Соответственно изменялся шаг структуры. В образцах использовались различные смеси нематических ЖК ($\Delta\epsilon = 0,5...2$). Толщина жидкокристаллического слоя устанавливалась с помощью прокладок либо с помощью площадок, напыленных на рабочие поверхности оптических подложек. Регистрация контрастно-временных параметров исследуемых образцов осуществлялась в поляризованном свете по осциллографической методике, в качестве источников считывающего излучения в работе использовались ЛГ208 и ЛГ311 [1].

На рис. 1 приведены осциллограммы переключения обычной твист-ячейки и пикселя исследуемого образца ПМС при реализации режима регулируемого преднаклона ЖК-молекул.

В качестве рабочей среды в образцах ПМС использовалась нематическая смесь ДЧЖК, что позволяло получать режим изменяемого преднаклона молекул. При этом, как показывают результаты исследования, можно устранить появление кросс-эффекта.

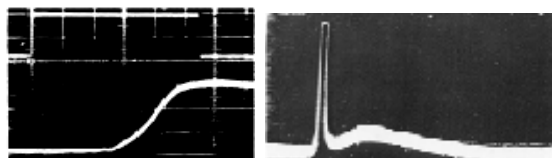


Рисунок 1 – Осциллограммы переключения твист-ячейки (сплошной модулирующий слой) и пикселя исследуемого образца ПМС (нижняя осциллограмма). Верхняя осциллограмма соответствует временной развертке управляющего импульса

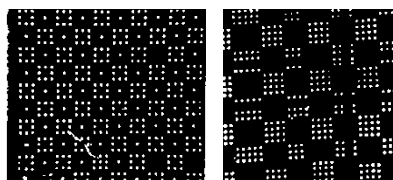


Рисунок 2 – Фотографии фрагментов ПМС

1. Развин, Ю.В. Особенности переключения жидкокристаллического слоя при комбинированном возбуждении / Ю.В. Развин, В.А. Потачиц // Наука – образованию, производству, экономике: материалы докладов 2-й междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2004. – Т. 2. – С. 330–334.

УДК 621

АППРОКСИМАЦИЯ СИНГУЛЯРНЫМИ ВЕЙВЛЕТАМИ

Романчак В.М., Кондратьева Н.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Компьютерное моделирование в той или иной степени решает задачу аппроксимации. Поэтому поиск и исследование новых методов аппроксимации представляет значительный интерес и является актуальной прикладной задачей.

Данной работой мы продолжаем развитие нового метода аппроксимации - метода сингулярных вейвлетов. Вначале, на нестрогом уровне, поясним отличие классического вейвлета от сингулярного. Пусть $\psi(x)$ – это базисный вейвлет («маленькая волна», «всплеск»), который должен удовлетворять условию:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0. \quad (1)$$

В вейвлете варьируют значения параметра масштабирования a и параметра сдвига b :

$$\frac{1}{a} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (2)$$

В теории вейвлетов рассматривают скалярное произведение действительной функции $f(x)$ и вейвлета функции (2), которое называют вейвлет преобразованием:

$$Wf(b,a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (3)$$

Можно показать, что если функция $\psi(x)$ удовлетворяет условию допустимости (1), то в преобразовании (3) «малый всплеск» приводит к «маленькой волне», т.е. функция $Wf(b,a)$ для малых a будет близка к нулю. Если базисный вейвлет не удовлетворяет условию допустимости («большой всплеск»), то преобразование (3) может привести к «большой волне», т.е. функция $Wf(b,a)$ может оказаться большой. Между тем, изменив определение интегрального вейвлета преобразования можно устранить эту проблему.

Введем дельта преобразование по формуле:

$$Hf(b,a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^{\infty} (f(t) - f(b)) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (4)$$

С учетом условия допустимости (1) дельта преобразование (4) совпадает с вейвлет преобразованием (3). Но если в преобразовании (4) выбрать вейвлет, для которого не выполняется необходимое условие допустимости (1), то «большой всплеск» по-прежнему будет приводить к «маленькой волне», т.е. функция

$Hf(b,a)$ для малых a будет близкой к нулю. В качестве вейвлета в дельта преобразовании можно использовать дельта-образные функции, которые применяют при ядерной оценке регрессии, например вейвлетом может быть функция плотности стандартного нормального распределения:

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right). \quad (5)$$

Дельта преобразование (4) с ядром Гаусса (5) можно использовать для получения уравнения регрессии. Так, если интеграл в выражении (4), заменить на промежутке длины d суммой и считать преобразование $Hf(b,a)$ достаточно малой величиной, получим:

$$\frac{d}{na} \sum_{i=1}^n (f(t_i) - f(b)) \psi\left(\frac{t_i - b}{a}\right) \approx 0.$$

Тогда

$$f(b) \approx \frac{\sum_{i=1}^n f(t_i) \psi\left(\frac{t_i - b}{a}\right)}{\sum_{i=1}^n \psi\left(\frac{t_i - b}{a}\right)}. \quad (6)$$

Мы пришли к непараметрической ядерной оценке Надарая – Ватсона в виде (6), используя дельта преобразование с вейвлетом Гаусса. Для ядерной оценки (6) существенно условие положительности ядра в среднем. Действительно, если в качестве ядерной функции выбрать допустимый базисный вейвлет, который равен в среднем нулю (1), то получить оценку (6) будет невозможно из-за того, что знаменатель в выражении (6) обратится в ноль. Из рассмотренных примеров следует, что ядерная функция не может быть вейвлетом, если выполняется условие допустимости (1) и вейвлет с таким условием не подходит в качестве ядерной функции. Необходима модификация вейвлета преобразования, которая позволит преодолеть ограничения по выбору базиса аппроксимации и объединит теорию вейвлетов с ядерными оценками регрессии. Назовем такой метод – аппроксимация сингулярными вейвлетами. Отметим, что в классической теории вейвлетов равенство (3) позволяет найти функцию $f(t)$, если нам известно вейвлет преобразование $Wf(b,a)$, с помощью формулы обратного вейвлета - преобразования:

$$f(t) = \frac{1}{C_0} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{1}{a^2} Wf(b,a) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) db da,$$

где

$$C_0 = 2\pi \int_0^\infty \frac{|\Psi(u)|^2}{u} du,$$

$\Psi(u)$ – преобразование Фурье стандартного вейвлета $\psi(t)$, удовлетворяющего условию (1).

Аппроксимация сингулярными вейвлетами.

Будем считать, что в данном разделе базисный вейвлет $\psi(t)$ принадлежит L^2 и условие (1) не является обязательным. Введем необходимые определения.

Будем говорить, что для функции $\psi(t)$ выполняется условие убывания на бесконечности, если:

$$|\psi(t)| \leq \frac{c}{1+t^2}, c > 0 \quad (7)$$

Замечание. Из неравенства (7) следует, что интеграл от функции $\psi(t)$ сходится абсолютно, $\psi(t)$ принадлежат L^1 и преобразование Фурье функции $\psi(t)$ является непрерывно дифференцируемой функцией.

Определим вейвлет преобразование функции $f(t)$:

$$Wf(b,a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^\infty f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt.$$

Определим дельта преобразования функции $f(t)$:

$$Hf(b,a) = \frac{1}{a} \int_{-\infty}^\infty (f(t) - f(b)) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt. \quad (8)$$

Определение. Базисный вейвлет называется сингулярным, если

$$\int_{-\infty}^\infty \psi(t) dt = 1. \quad (9)$$

Если вейвлет сингулярный, то дельта преобразование (8) равно разнице между вейвлет преобразованием функции и самой функцией: $Hf(b,a) = f(b) + Wf(b,a)$. Если для вейвлета выполнено условие допустимости (1), дельта преобразование совпадает с вейвлет преобразованием: $Hf(b,a) = Wf(b,a)$.

Обозначим $P(x)$, $G(x)$, $\Psi(x)$ - преобразование Фурье для функций $f(t)$, $g(t)$ и $\psi(t)$ соответственно, например:

$$\Psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^\infty \psi(t) e^{ixt} dt.$$

Теорема 1. Пусть ψ - базисный вейвлет, для которого выполняется условие допустимости:

$$2\pi \int_0^\infty \frac{(\Psi(-u) - \Psi(0))\Psi(u)}{u} du = 2\pi \int_0^\infty \frac{(\Psi(u) - \Psi(0))\Psi(-u)}{u} du = C, \quad (10)$$

где C – конечная постоянная, тогда для всех f и g из L^2 :

$$\int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty Hf(b,a) Wg(b,a) \frac{da}{a} db da = C(f, g), \quad (11)$$

здесь $(f, g) = \int_{-\infty}^\infty f(t)g(t)dt$.

Доказательство. На основании (8) можно записать:

$$Hf(b,a) = -S \cdot f(b) + \frac{1}{a} \int_{-\infty}^\infty f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (12)$$

где

$$S = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(u) du .$$

Функцию $f(b)$ в (12) выразим через обратное преобразование Фурье, а для функций под знаком интеграла применим равенство Парсевала ($a>0$):

$$Hf(b,a) = -\frac{S}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(x)e^{-ibx} dx + \int_{-\infty}^{\infty} F(x)\Psi(-ax)e^{-ibx} dx .(13)$$

Поскольку $\Psi(0) = \frac{S}{\sqrt{2\pi}}$, выражение (13) можно

записать в виде

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} Hf(b,a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(x)(\Psi(-ax) - \Psi(0))e^{-ibx} dx .(14)$$

Для вейвлет преобразования функции $g(x)$ аналогично:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} Wg(b,a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} G(y)\Psi(-ay)e^{-iyb} dy .(15)$$

В правой части выражений (14) и (15) находятся преобразования Фурье для функций $F(x)(\Psi(-ax) - \Psi(0))$ и $G(y)\Psi(-ay)$. Проинтегрируем по переменной b произведение выражений (14), (15) и применим равенство Парсевала:

$$\int_{-\infty}^{\infty} Hf(b,a)Wg(b,a)db = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} F(x)(\Psi(-ax) - \Psi(0))G(-x)\Psi(ax) dx . (16).$$

Умножим теперь выражение (16) на $\frac{da}{a}$ и проин-

тегрируем на промежутке $[0, \infty]$, а затем применим равенство Парсевала:

$$2\pi \int_0^{\infty} \frac{da}{a} \int_{-\infty}^{\infty} F(x)(\Psi(-ax) - \Psi(0))G(-x)\Psi(ax) dx = C \int_{-\infty}^{\infty} F(x)G(-x)dx = C \int_{-\infty}^{\infty} f(t)g(t)dt ,$$

$$\text{где } C = 2\pi \int_0^{\infty} \frac{(\Psi(-ax) - \Psi(0))\Psi(ax)}{a} da .$$

Чтобы C была константной, необходимо, чтобы выполнялось условие

$$C = 2\pi \int_0^{\infty} \frac{(\Psi(-ax) - \Psi(0))\Psi(ax)}{a} da = 2\pi \int_0^{\infty} \frac{(\Psi(ax) - \Psi(0))\Psi(-ax)}{a} da ,$$

(в противном случае C будет зависеть от знака x) из которого следует условие допустимости (10).

УДК 535:628.373.8, 535:548

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Рыжевич А.А.¹, Балыкин И.В.^{1,2}, Мащенко А.Г.¹, Лепарский В.Е.¹, Хило Н.А.¹

¹Институт физики НАН Беларуси

²Белорусский государственный университет, Минск
Республика Беларусь

В настоящее время наряду с обычными гауссовыми лазерными пучками все более широкое применение находят бесселевы световые пучки (БСП), в том числе БСП высших порядков, имеющих винтовую дислокацию волнового фронта (ВДВФ). ВДВФ обуславливает наличие минимума интенсивности на продольной оси таких пучков, что необходимо для решения ряда прикладных задач. Актуальной является задача поиска эффективных методов формирования БСП высших порядков, радиальное распределение интенсивности в поперечном сечении которых описывается квадратом функции Бесселя второго порядка ($I(\rho) \sim J_n^2(M\rho)$, где ρ - радиальная координата, M - масштабирующий коэффициент). В данной работе предлагается метод формирования бесселевых световых пучков 2-го порядка (БСП₂).

Метод формирования БСП₂ основан на поляризационном разделении двух циркулярно поляризованных в ортогональных направлениях собственных волн, возбуждаемых в одноосном кристалле, оптическая ось которого вдоль

падающего на него циркулярно поляризованного лазерного пучка [1-2]. Оптическая схема метода показана на рисунке 1.

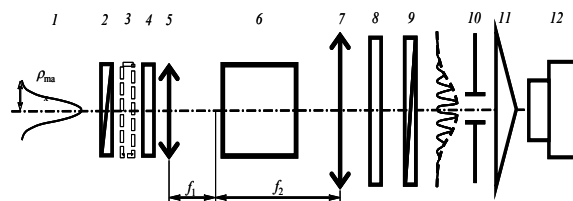


Рис. 1. Оптическая схема метода формирования БСП второго порядка

Вначале линейно поляризованный поляризатором 2 исходный лазерный гауссов пучок 1 с помощью последовательно расположенных первой четвертьволновой пластинки 4, одноосного кристалла 6, второй четвертьволновой пластинки 8 и поляризатора 9 преобразуется в линейно поляризованный многокольцевой световой пучок с ВДВФ второго порядка (ВДВФ₂), причем в этом случае можно достичь достаточно высокой (около 50%) эффективности преобразования. Затем из многокольцевого пучка круглой диа-

фрагмой 10 выделяется однокольцевой световой пучок с ВДВФ₂, из которого с помощью аксикона (конической линзы) 11 практически без энергетических потерь формируется БСП₂.

На рисунке 2 показаны диаметральные распределения интенсивности в поперечном сечении многокольцевых пучков, обладающего (рисунок 2а) и не обладающего (рисунок 2б) ВДВФ.

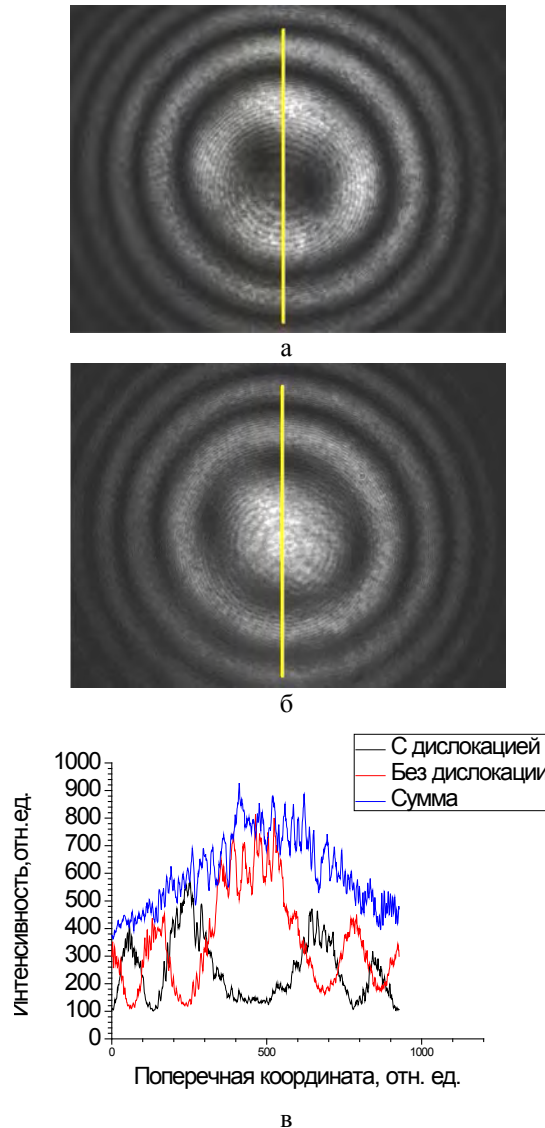


Рис. 2. Распределения интенсивности в многокольцевых пучках: поперечные распределения в пучках с ВДВФ (а) и без нее (б) и диаметральные распределения интенсивности вдоль желтых линий с их суммой (в)

Пучки получены при повороте поляризатора 9 относительно поляризатора 2 на 0° и 90° соответственно. Диаметральные линии, вдоль которых снимались распределения интенсивности, обозначены на рисунках 2а, б желтым цветом. Распределения интенсивности в пучках с ВДВФ₂

и без нее описываются соответственно формулами (1) и (2):

$$I_2(\rho) = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 I_0\left(\frac{f_2}{f_1}\rho\right) \sin^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right) \quad (1)$$

$$I_0(\rho) = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 I_0\left(\frac{f_2}{f_1}\rho\right) \cos^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right) \quad (2)$$

где

$$\frac{\Delta k}{2} = \frac{k_0}{4n_o} \left(\frac{n_o^2}{n_e^2} - 1\right) \sin^2(\gamma) \quad (3),$$

или

$$\frac{\Delta k}{2} = \frac{\pi}{2\lambda n_o} \left(\frac{n_o^2}{n_e^2} - 1\right) \sin^2(\gamma) \quad (4)$$

Здесь L – длина кристалла, f₁, f₂ – фокусные расстояния линз, составляющих телескоп, n_o, n_e – показатели преломления обыкновенной и необыкновенной волн в кристалле, ε_o, ε_e – главные компоненты тензора диэлектрической проницаемости для обыкновенной и необыкновенной волн в кристалле, γ – угол конусности элементарных пучков в световом пучке, ρ – радиальная координата.

Суммирование распределений (1) и (2) имеет результатом распределение интенсивности в начальном гауссовом пучке, падающем на кристалл, за вычетом потерь при отражении на входной и выходной гранях оптических элементов (рис. 2в).

На рисунке 3 показано распределение интенсивности в БСП₂, сформированном из пучка с ВДВФ₂.

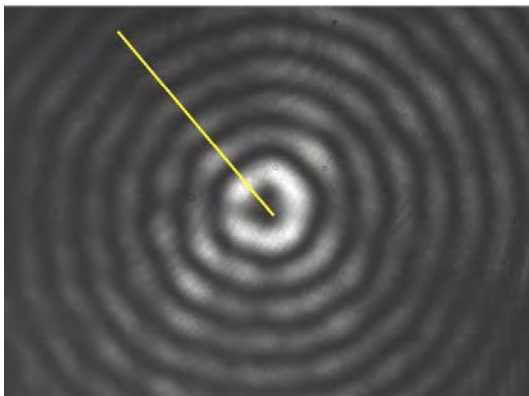
Большим достоинством предложенного метода является возможность формирования высокоинтенсивных лазерных БСП₂, что обеспечивается высокой лучевой прочностью использованных для реализации метода одноосного кристалла KDP (дигидрофосфат калия КН₂РО₄), четвертьволновых пластинок и кристаллических поляризаторов.

Радиальное распределение интенсивности в БСП₂, полученном с помощью аксикона с углом при основании конуса порядка 2,5 градуса, хорошо соответствует квадрату функции Бесселя второго порядка. Высокоинтенсивные БСП₂ могут применяться для точной лазерной обработки материалов, управления частицами в био- и нанотехнологиях, локального воздействия на биоткани.

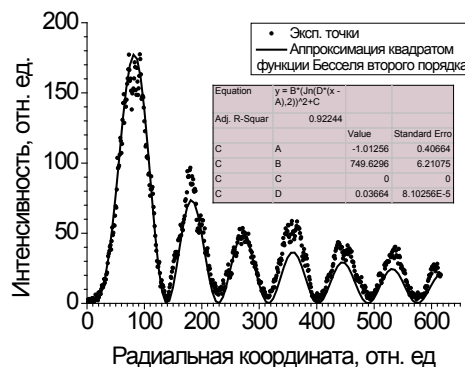
1. Belyi, V.N. Propagation of high-order circularly-polarized Bessel Beams and vortex

generation in uniaxial crystals / V.N. Belyi, N.A. Khilo, N.S. Kazak, A.A. Ryzhevich, A. Forbes // Opt. Eng. – 2011. – Vol. 50, № 5. – P. 1-9.

2. Хило, Н.А. Преобразование порядка бesselевых световых пучков в одноосных кристаллах / Н.А.Хило, А.А.Рыжевич, Е.С.Петрова // Квантовая Электроника – 2001. – Т. 31, № 1. – С. 85–89.



а



б

Рис. 3. Поперечное (а) и радиальное (б) распределение интенсивности в полученном экспериментально БСП₂

Equation		
Equation	$I = B J_2^2(D \cdot (x - A)) + C$	
Adj. R ²	0,92244	
Name	Value	Standard error
A	-1,01256	0,40664
B	749,62965	6,21075
C	0	0
D	0,03664	8,10E-05

УДК 621.762

НОВЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ – НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Савич В.В.

Институт порошковой металлургии Национальной академии наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь

В электродвигателях ротор и статор традиционно получают вырубкой профильных пластин из тонколистовой (0,2-1,2 мм) т.н. «электротехнической» стали (как правило – это сплав системы Fe-Co-V – викаллой 49КФ10, 52КФ11), сборкой пластин в пакет (как правило, с использованием лака или клея), и намоткой медным проводом заданных контуров. Однако собранные из пластин пакеты имеют низкую конструктивную жесткость и стабильность магнитных свойств, в силу чего потери, обусловленные упругой деформацией и смещением элементов пакетов, вследствие вибрационных, ударных и температурных нагрузок, достигают 20-30%. Устранить такие потери можно только за счет замены слоеных пакетов на жесткие монолитные конструкции магнитопроводов.

Технологии порошковой металлургии позволяют получать детали из магнитно-мягких материалов типа стали Э, пермаллоя и другие нужной конфигурации почти без потерь материала (до 5 %), исключить большинство трудоем-

ких и ручных операций, что дает возможность изготавливать роторы и статоры электродвигателей с большей экономической эффективностью. Использование метода порошковой металлургии для изготовления магнитно-мягких деталей позволяет управлять химическим составом магнитных материалов в очень узких пределах (что особенно важно для железоникелевых сплавов), а также вводить в материал наполнители, изолирующие прослойки, что открывает большие возможности в усовершенствовании и улучшении свойств магнитно-мягких материалов.

Однако в последние годы, исключительно благодаря технологиям порошковой металлургии, стало возможным коренным образом изменить традиционную конструкцию электродвигателя, уменьшить его габариты, повысить другие технические характеристики.

Цель данной работы – представить результаты использования зарубежными авторами новых порошковых магнитномягких материалов и

технологий формования из них деталей современных электродвигателей.

Интерес к снижению габаритов и массы электродвигателей, росту мощности и других эксплуатационных характеристик связан с развитием мехатроники, а также ростом производства гибридных и электромобилей.

В работе [1] авторами показаны достоинства технологии порошковой металлургии: замена вырубки фасонных тонколистовых элементов статора или ротора из полосовых или листовых заготовок, их сборки, пропитки лаками на однократное формование (прессование или инъекционное формование объёмной 3D-заготовки) из металлокомпозиита требуемого состава (чаще всего - на основе чистого железного порошка). Однако наиболее значимой стала возможность применить новый рациональный дизайн электродвигателя: вентильно-индукторный привод с двумя порошковыми магнитопроводами уменьшенной массы (на 15-20% каждый). На статоре, располагается обмотка сосредоточенного типа (как в трансформаторе или обмотке возбуждения машины постоянного тока) (рис.1, б), а ротор является безобмоточным, порошковым.

В таблице 1 приведены свойства магнитомягких материалов [2].

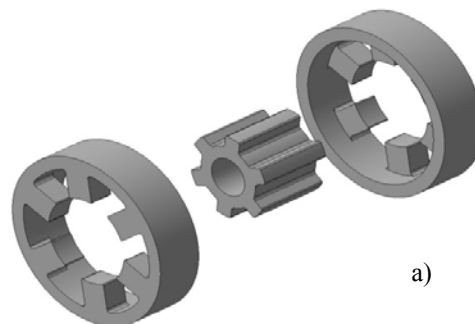


Рис. 1. 3D-дизайн [1] конструкции элементов (ротор-статор) электродвигателя (а) и внешний вид статора из порошковой композиции (б)

Таблица 1. Свойства магнитомягких материалов различной природы

Материал	Состав, вес. %							μ_0 , Гс/Э	μ_m , Гс/Э	H_c , Э	$\rho \cdot 10^6$, Ом/см	B_r , Гс
	Fe	Si	Al	Ni	Mo	Cr	Co					
Листовое железо	100	-	-	-	-	-	-	200	5000	1,0	10	21500
Альсифер	85	9	5	-	-	-	-	30000	120000	0,05	80	10000
Mo пермаллой	16	-	-	78,5	3,8	-	-	12000	120000	0,04	60	8700
Cr пермаллой	17,7	-	-	78,5	-	3,8	-	12000	60000	-	-	8000
Перминдюр	50	-	-	-	-	-	50	800	5000	2,0	7	24500
Somalloy S500 Insulated Fe	100	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	8	19500
Somalloy S700 Insulated Fe	100	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	90	20200

Как видно из таблицы 1, современные порошковые материалы Somalloy превосходят по своим свойствам ламинированные листовые и не содержат дорогостоящих легирующих элементов – кобальта, хрома, молибдена. Это обусловлено особенностями их микроструктуры [3] – рис.2.

Как видно из рис.2, частицы магнитомягкого материала Somalloy, представляют собой высокочистый порошок железа размером около 100 мкм, покрытые неорганической изоляцией – кремнием. В таблице 2 [3] приведено сравнение потерей мощности (Вт/кг) для материала Somalloy и традиционного ламинированного железа, из которой видно преимущество порошкового материала (Soft Magnetic Composite – SMC), особенно с ростом частоты.

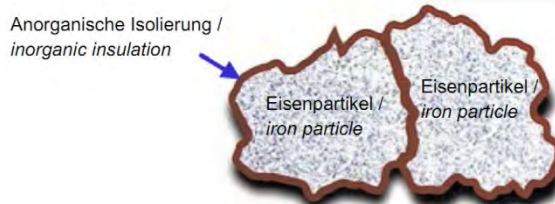


Рис. 2. Модель микроструктуры частиц магнитомягкого материала Somalloy

Выдающиеся свойства порошкового материала SMC обусловлены сохранением изолирующего отдельные частицы железа слоя и в сформованном изделии – статоре электродвигателя (рис.3) достаточно сложной формы.

Таблица 2. Сравнение потерь мощности в порошковых и ламинированных магнитомягких материалах [3]

Frequenz, Eisenverlust [W/kg] / Frequency, iron loss [W/kg]	SMC Pulver (Material) / SMC powder (material)					Silikonlaminiertes Stahl / Silicon steel lamination	
	A	B	C	D	E	0,5 mm (50A400)	0,35 mm (35JN360)
200 Hz	17,9	16,9	14,35	13,97	17	10,1	7,6
400 Hz	41,7	35,3	30,35	30,1	36,4	28,4	19,7
600 Hz	62,9	54,5	48	47,2	57	53,3	36,4
800 Hz	86,9	74,7	67,1	36,14	77	85	62,1
1 kHz	104,4	90,7	88,25	83,57	100,7	119,4	80,6
2 kHz	235,8	201,3	208	202,5	210,2	344,5	233
4 kHz	604,1	499,5	524	513,1	491,9	1201	717,7
6 kHz	1097	882,9	944,5	931,4	875,4	2126	1406
Permeabilität / permeability	300	500	700	780	472	1800	2000
Koerzitivfeldstärke / coercivity [kA/m]	31,8	23,8	15,9	15,9	23,9	7,95	7,95
Sättigungsflussdichte / saturation flux [T]	1,3	1,51	1,66	1,71	1,4	1,8	2,0



Рис. 3. Статор электродвигателя из порошкового материала SMC

На рисунке 4 представлен пример разработки фирмы Aisin Seiki Co: сравнение длины и массы двигателя ABS автомобиля.

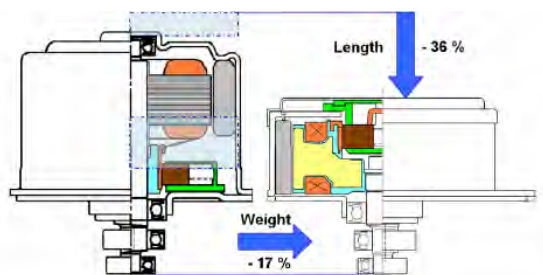


Рис. 4. Двигатель ABS с ламинированным (слева) и порошковым SMC (справа) роторами

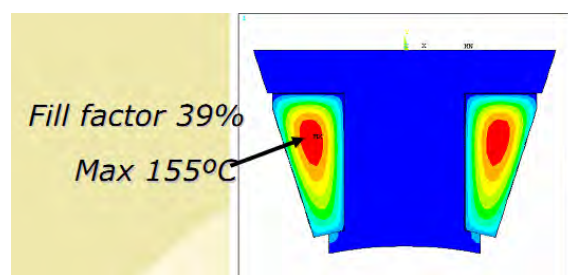
Как видно из рис. 4, совместная работа конструкторов и технологов фирмы Aisin Seiki Co при участии специалистов фирмы Höganäs AB (Швеция) позволила на 36% укоротить двигатель, уменьшив тем самым его массу на 17%. И все это благодаря новому материалу и технологии порошковой металлургии, позволившей получить цельный 3D-ротор сложной оптимизированной формы (рис. 5) [4-5].

Важным достоинством цельного порошкового сердечника является его заведомо более высокая теплопроводность, чем ламинированного. Такое исполнение

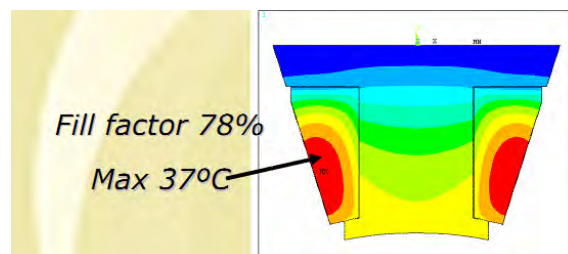
обеспечивает лучшие условия для охлаждения электрических машин, повышает их эксплуатационные параметры. В работе [5] проведено численное моделирование распределения температуры в сердечнике статора электродвигателя, выполненного по традиционной технологии (ламинированным) и из монолитным из порошкового магнитомягкого SMC материала Somalloy, результаты которого представлены на рис. 6 [5].



Рис.5. Порошковая заготовка ротора двигателя ABS (слева) и готовый ротор после незначительной мехобработки и обмотки (справа)



а)



б)

Рис.6. Расчетные значения предельных температур и распределение температуры в ламинированном (а) и монолитном SMC (б) сердечниках статора [5]

Как видно из рис. 6, использование монолитного SMC-сердечника позволяет выровнять температуру в системе «обмотка - сердечник», снизить предельно достигаемую при работе двигателя температуру со 155 °С до 37 °С. Кроме того, как это хорошо видно и на рис.4 и 5, коэффициент заполнения статора магнитомягким материалом SMC в два раза выше, чем ламинированным железом.

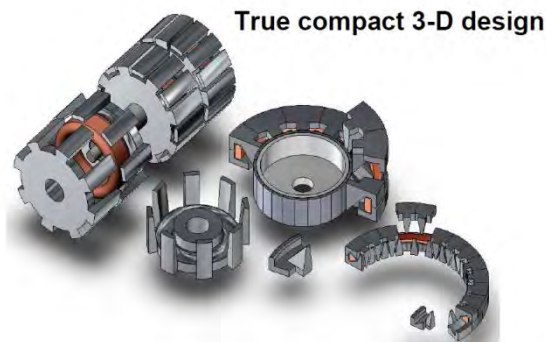


Рис.7. совершенствование конструкций двигателей за счет порошковых деталей, формирующих трехмерные магнитные потоки

Дальнейшее совершенствование конструкций ротора и статора электродвигателей, по мнению авторов работы

[5], связано с формированием трехмерных магнитных потоков за счет особой конструкции безобмоточного статора и ротора из SMC материала (рис.7).

Таким образом, применение новых SMC материалов и технологий порошковой металлургии позволяет коренным образом изменить конструкции электродвигателей, уменьшить их габариты и массу, повысить эксплуатационные параметры.

1 Конструкторско-технологические и экологические аспекты проектирования и реализации технологии производства композиционных порошковых материалов и изделий / Б.Ч.Месхи, А.В.Люлько, М.П.Дрягина, А.В.Трифонов // Вестник ДГТУ, 2008. Т.8. №1(36). – С.7-11.

2 Soft Magnetic Composite Technology. SMC-Update. Hoganes AB. Sweden. – № 2, 2003. – 8 p. № 1, 2005. – 4 p.

3 Somaloy vs. Silicon steel lamination// Magnetworld AG. Jena, 2013. – 2 p.

4 <https://www.hoganas.com/en/business-areas/soft-magnetic-composites/>

2. Existing & Future Automotive Applications for Soft Magnetic Composites / Lars Hultman, Henrique Lopes //1° Workshop sobre Inovações nos Materiais Magnéticos para a Indústria Automobilística Atual e as Perspectivas dos Carros Híbrido. 30 junho – 1 julho 2008. - Sao Paolo, Brazil

УДК 621.822

ИЗМЕНЕНИЕ УГЛА КОНТАКТА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО КИНЕМАТИКОЙ ПОСРЕДСТВОМ ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Савченко А.Л., Минченя Н.Т., Минченя В.Т., Берхин Е.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Движение шарика в подшипнике качения определяется геометрией контактирующих поверхностей. В общем случае в сферическом движении шарика можно выделить три составляющих:

$$\bar{\omega} = \bar{\omega}_K + \bar{\omega}_B + \bar{\omega}_{кр},$$

где $\bar{\omega}_K$ – угловая скорость качения, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости контакта; $\bar{\omega}_B$ – угловая скорость вращения, вектор которой находится в плоскости контакта; $\bar{\omega}_{кр}$ – угловая скорость кручения, вектор которой также находится в плоскости контакта (рис. 1) [1].

Для радиально-упорного подшипника, работающего с предварительным осевым натягом, соотношение угловых скоростей шарика $\omega_K : \omega_B : \omega_{кр} = 1 : 0,18 : 0$, что приводит к его неравномерному износу [2]. Ранее было доказано, что при $\omega_{кр} \neq 0$ можно обеспечить равно-

мерный износ шарика, что было использовано при восстановлении точностных параметров изношенного подшипника методом обкатки [3]. Значение $\omega_{кр} \neq 0$ обеспечивалось приложением к одному из колец подшипника осевых ультразвуковых колебаний. Управляя параметрами колебаний можно получить различные значения $\omega_{кр}$.

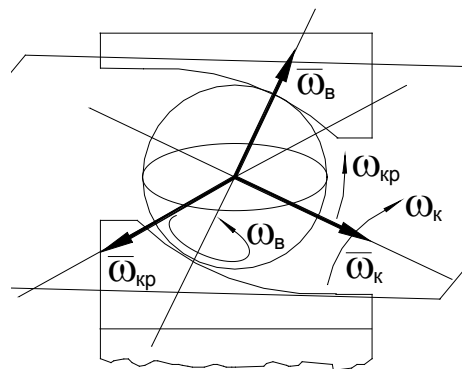


Рис. 1. Составляющие угловой скорости шарика

Создавая условия для равномерного вращения в процессе работы подшипника, можно обеспечить равномерный износ шариков, за счет чего повысить точностную долговечность узла вращения.

При работе подшипника в условиях осевых колебаний одного из колец из-за изменения кинематики шарика будет изменяться угол контакта, и теоретическое соотношение $\omega_k:\omega_b$ также изменится. Для установления реального значения угла контакта в условиях одновременного осевого нагружения и осевых колебаний было использовано специально разработанное устройство, схема которого показана на рисунке 2.

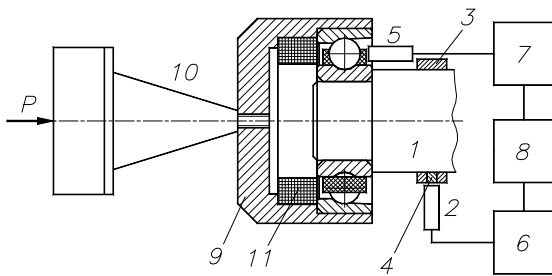


Рисунок 2

Отклонение угла контакта определяется косвенным методом по соотношению угловых скоростей внутреннего кольца и сепаратора по формуле:

$$\alpha = \arccos \frac{d_m}{d_{ш}} \left(1 - \frac{2\omega_c}{\omega_b} \right),$$

где ω_c – угловая скорость сепаратора; ω_b – угловая скорость внутреннего кольца.

Подшипник устанавливается внутренним кольцом на выходной вал шпинделя 1, скорость вращения которого измеряется с помощью бесконтактного индуктивного датчика 2. Якорь датчика представляет собой алюминиевое кольцо 3 с равномерно расположенными по окружности ферромагнитными вставками 4 в количестве 11 штук (по числу шариков в подшипнике). Для измерения скорости вращения сепаратора предназначен бесконтактный индуктивный датчик 5. Якорем для датчика служат шарики измеряемого подшипника. Сигналы от обоих датчиков преобразуются двумя приборами 6, 7 типа БИМП-2 в последовательности электрических импульсов, которые подаются на вход специального устройства 8, предназначенного для вычисления угла контакта. Ультразвуковые колебания преобразователя 10 и осевая нагрузка Р передаются на подшипник через стакан 9. Устройство позволяет дополнительно измерять скорость вращения шарика с помощью индукционного датчика 11

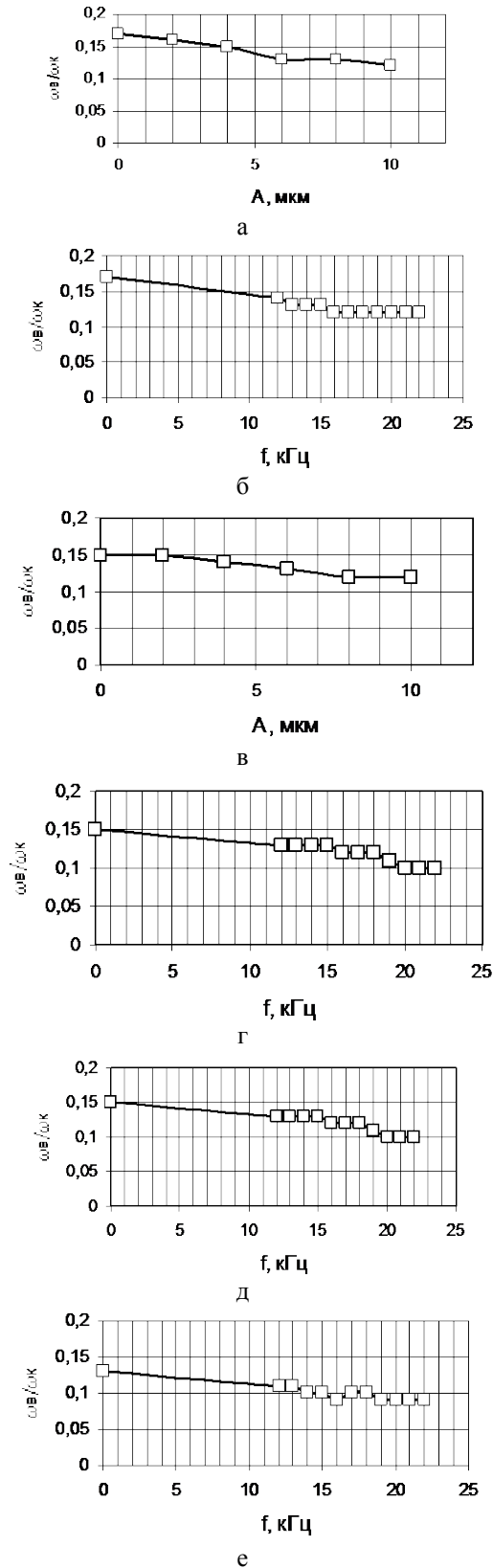


Рисунок 3 – Зависимости отношения $\omega_b:\omega_k$ от амплитуды ультразвуковых колебаний при $f = 18$ кГц (а, в, д), от частоты ультразвуковых колебаний при $A = 8$ мкм (б, г, е) при осевой нагрузке 400 Н (а, б), 500 Н (в, г), 600 Н (д, е)

(один из шариков подшипника полярно намагничен). С помощью описанного устройства были получены зависимости колебания угла контакта от осевой нагрузки и параметров ультразвуковых колебаний. Результаты измерений в виде графиков зависимостей отношения $\omega_b:\omega_k$ от осевой нагрузки и параметров ультразвуковых колебаний показаны на рисунке 3.

Из графиков видно, что при увеличении амплитуды и частоты колебаний величина $\omega_b:\omega_k$ уменьшается, что можно объяснить увеличивающимся проскальзыванием шариков в местах контакта. При увеличении осевой нагрузки величина $\omega_b:\omega_k$ также уменьшается, что связано с увеличением угла контакта.

Вместе с тем, снижение измеренного соотношения скоростей относительно невелико. Поэтому можно сделать вывод о том, что при управлении кинематикой можно пренебречь изменением угла контакта. При этом действитель-

ные кинематические соотношения в подшипнике будут незначительно отличаться от расчетных.

1. Филонов, И. П. Механика процессов обработки / И. П. Филонов; под ред. П. И. Ящерицына. – Минск : Наука и техника, 1985. – 328 с.
2. Бочков, В. С. Исследование кинематики радиально-упорного подшипника / В.С. Бочков, Б. Л. Каневский // Сб. науч. тр. / Всесоюзный научно-исследовательский конструкторско-технологический институт подшипниковой промышленности. – М., 1971. – №1(65). – С. 3 – 34.
3. Савченко, А.Л. Восстановление точностных параметров радиально-упорных шарикоподшипников / А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. – 2005. – №6. – С. 93 – 97.

УДК 538.2; 620.179.14

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛЕЙ НА ЧАСТНЫХ ПЕТЛЯХ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА ПРИ РАЗНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Сандомирский С.Г.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

При изменении магнитного поля H намагниченность M ферромагнитных сталей изменяется нелинейно и неоднозначно – по кривой намагничивания и петле гистерезиса (рис. 1).

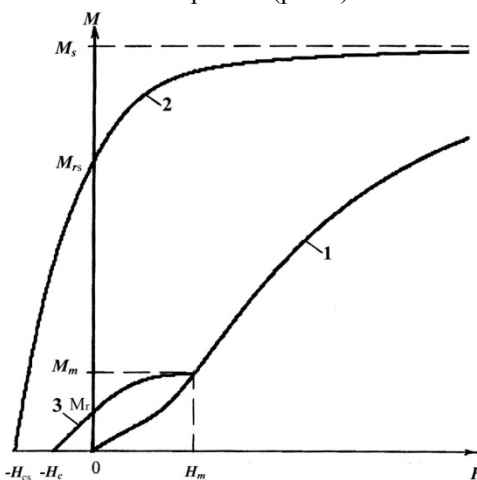


Рисунок 1. Основная кривая намагничивания (1) и нисходящие ветви предельной (2) и частной (3) петель магнитного гистерезиса стали

В магнитном структурном и фазовом анализе сталей используют результаты измерений параметров их предельной петли гистерезиса: коэрцитивной силы H_{cs} , намагниченности M_s технического насыщения, остаточной намагниченности

M_{rs} . Магнитным параметром, наиболее чувствительным к структурным изменениям в сталях, происходящих при их термических обработках, считается H_{cs} . При структурных изменениях металла его M_{rs} изменяется в узких пределах [1]:

$$0,5M_s \leq M_{rs} \leq 0,866 M_s \quad (1)$$

Но H_{cs} среднеуглеродистых сталей не однозначно изменяется в области средних и высоких температур T_0 отпуска. Поэтому изменение M_{rs} таких сталей особенно важно.

Кроме того, стальные изделия обладают размагничивающим фактором [2]. Поэтому материал изделий в открытой магнитной цепи намагничивается по частным петлям магнитного гистерезиса, которые характеризуются максимальными напряженностью H_m намагничивающего поля и намагниченностью M_m , коэрцитивной силой H_c и остаточной намагниченностью M_r (рис.1). Зависимости M_m , H_c и M_r сталей от изменений T_0 не соответствуют зависимостям M_s , H_{cs} и M_{rs} тех же сталей от T_0 . Так, в [3] определены условия намагничивания, при которых зависимость H_c сталей от их H_{cs} меняется с прямой на обратную.

Аналитическое описание связи остаточной намагниченности M_r сталей на частных петлях магнитного гистерезиса с их намагниченностью

M_s технического насыщения, коэрцитивной силой H_{cs} и остаточной намагниченностью M_{rs} на предельной петле гистерезиса получено и обосновано в [4]:

$$M_r = \frac{M_s}{\pi} \frac{H_m^2}{H_m^2 + kH_{cs}^2} \left\{ \pi K_s - \sum_{n=0}^1 \arctg \left[T(1+(-1)^n \frac{H_m}{H_{cs}}) \right] \right\} \quad (2)$$

где: $K_s = M_{rs}/M_s$; $T = \text{tg}(\pi K_s/2)$;

$$k = \frac{M_s \arctg(2T)}{\pi(M_c - \chi_a H_{cs}/2)},$$

$$M_c \approx 0,67[0,5 + 0,06\pi H_{cs} - (0,068\pi H_{cs})^2] M_{rs} \quad (3)$$

$$\chi_a \approx \frac{[0,5 + 0,06\pi H_{cs} - (0,068\pi H_{cs})^2] M_{rs}}{(2,9 + 35e^{-1,75\pi H_{cs}}) H_{cs}} - 1 \quad (4)$$

Применение формул (2) – (4) позволяет рассчитать значения M_r по H_{cs} , M_s и M_{rs} стали на предельной петле гистерезиса и величине H_m . Данные о H_{cs} , M_s и M_{rs} почти всех сталей приведены в справочной литературе.

В качестве примера реализации такой возможности на рис.2 приведены результаты расчета зависимостей M_r стали 30 от температуры T_0 их отпуска после закалки. Для построения зависимостей $M_r(T_0)$ при разных H_m использованы формулы (2) – (4) и результаты измерения зависимостей $H_{cs}(T_0)$, $M_{rs}(T_0)$ и $M_s(T_0)$ стали 30 в [5, табл.1.1], приведенные в таблице.

Магнитные свойства (в кА/м) стали 30, отпущенной при разных T_0 после закалки

$T_0, ^\circ\text{C}$	H_{cs}	M_s	M_{rs}
150	2,25	1591	870
200	2,10	1599	876
250	1,43	1644	970
300	1,22	1652	1007
350	1,13	1650	1070
400	0,995	1643	1145
450	0,873	1645	1248
500	0,876	1648	1265
550	0,866	1639	1277
600	0,834	1632	1280

Представленные на рис.2 данные на первый взгляд неожиданны. В соответствии с установленными представлениями о характере изменения магнитных параметров среднеуглеродистых сталей от температуры их отпуска, зависимость $H_{cs}(T_0)$ стали 30 имеет не монотонный характер при $450^\circ\text{C} \leq T_0 \leq 550^\circ\text{C}$ (таблица). Параметр M_s во всем диапазоне изменения T_0 этих сталей изменяется не значительно и не монотонно. Это не позволяет использовать результаты измерения H_{cs} и M_s для контроля качества средне- и высокотемпературного отпуска стали 30. Параметр M_{rs} во всем диапазоне изменения T_0 стали 30 изменяется монотонно. Это позволяет использовать результаты измерения M_{rs} стали 30

для контроля качества ее средне- и высокотемпературного отпуска. Но, в полном соответствии с (1) и [5], диапазон изменения M_{rs} не широк. Так, при изменении T_0 стали 30 от 150°C до 600°C , M_{rs} этой стали изменяется всего в 1,47 раза. Это снижает достоверность контроля температуры отпуска стали 30 по результатам измерения ее M_{rs} .

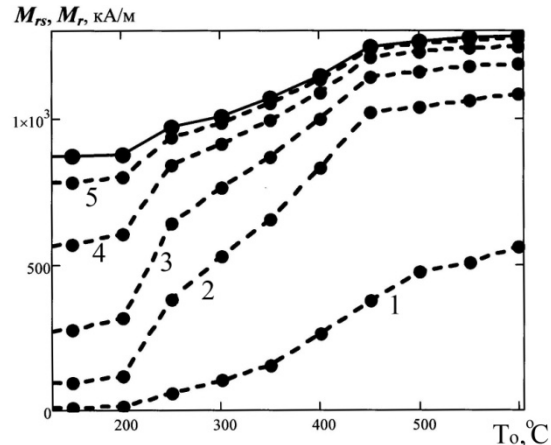


Рисунок 2. Зависимость остаточной намагниченности M_{rs} на предельной петле гистерезиса (сплошная кривая, результаты измерения в [5]) и остаточной намагниченности M_r на частной петле гистерезиса (пунктир, расчет по (2) – (4)) стали 30 от температуры T_0 отпуска. 1 – 5 – соответственно для $H_m = 1; 2; 3; 5$ и 10 кА/м

При снижении напряженности H_m намагничивающего поля и измерении M_r стали 30 на частной петле гистерезиса диапазон изменения M_r радикально увеличивается (рис.2) при сохранении монотонности зависимости $M_r(T_0)$ во всем диапазоне изменения T_0 . При изменении T_0 стали 30 от 150°C до 600°C , M_r этой стали изменяется в 2,2 раза при $H_m = 5$ кА/м, в 4,34 раза при $H_m = 3$ кА/м, в 11,3 раза при $H_m = 2$ кА/м, в 66,1 раза при $H_m = 1$ кА/м. Отметим, что даже минимальная напряженность поля $H_m = 1$ кА/м в 20 раз превышает напряженность (≈ 50 А/м) поля Земли.

Многочисленное увеличение диапазона изменения M_r сталей, измеренной на частных петлях гистерезиса в относительно сильных намагничивающих полях по сравнению с диапазоном возможного изменения M_{rs} сталей, создает хорошие предпосылки для достоверного контроля качества отпуска среднеуглеродистых сталей по результатам измерения их остаточной намагниченности на частных петлях магнитного гистерезиса. Для реализации такого контроля намагничивание стали и измерение ее M_r должно осуществляться в замкнутой магнитной цепи. Необходимо так же, что бы перед контролем изделия не подвергались магнитному воздействию и на операцию контроля поступали в термически

размагниченном состоянии – то есть непосредственно после закалки и отпуска. Должна быть обеспечена и стабильность напряженности H_m намагничивающего поля.

Выводы. Анализом зависимостей M_r сталей от температуры T_0 отпуска установлено явление многократного расширения диапазона возможного изменения M_r сталей при структурных изменениях в них по мере снижения H_m по сравнению с диапазоном возможного изменения M_{rs} сталей при тех же структурных изменениях. Это соответствует физике перемагничивания ферромагнитного материала в слабых магнитных полях. На основе использования этого явления даны рекомендации по использованию остаточной намагниченности M_r сталей на частных петлях магнитного гистерезиса для магнитного структурного анализа.

1. Тикадзуми, С. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические

применения / С. Тикадзуми // М.: Мир, 1987. – 419 с.

2. Сандомирский, С. Г. Расчет и анализ размагничивающего фактора ферромагнитных тел / С.Г. Сандомирский // Мн.: Беларуская навука, 2015. – 244 с.
3. Сандомирский, С. Г. Анализ структурной и фазовой чувствительности коэрцитивной силы частных петель гистерезиса сталей / С.Г. Сандомирский // Металлы. 2014. № 4. С.37 – 43.
4. Сандомирский, С.Г. Анализ влияния режимов термической обработки сталей на их остаточную намагниченность на частных петлях магнитного гистерезиса / С.Г. Сандомирский // Сталь. 2016. № 4. С.55 – 59.
5. Бида, Г.В. Магнитные свойства термообработанных сталей / Г.В. Бида, А.П. Ничипурк // Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 218 с

УДК 621.373.826

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВЫХ БОРАТОВ С ИОНАМИ Yb^{3+} И Er^{3+}

Свибович И.В.¹, Курильчик С.В.¹, Горбаченя К.Н.¹, Кисель В.Э.¹,
Напрасников Д.А.², Мальцев В.В.², Леонюк Н.И.², Кулешов Н.В.¹

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Москва, Россия

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к исследованию новых материалов, соактивированных ионами Er^{3+} и Yb^{3+} , для использования в качестве активных сред твердотельных лазеров спектрального диапазона 1,5-1,6 мкм. Излучение в этой области является относительно безопасным для зрения, соответствует области минимальной материальной дисперсии и минимальных потерь в кварцевых волокнах (так называемое, «третье информационное окно»). Перспективными средами для таких лазеров являются новые стеклокристаллические композиты, сочетающие в себе свойства кристаллов и стекол.

В данной работе исследовались спектроскопические свойства новых стеклокристаллических композитов на основе кристалла иттрий-алюминиевого бората – $YAl_3(BO_3)_4$ – с ионами эрбия (Er^{3+}) и иттербия (Yb^{3+}). Образцы для исследования были получены из монокристаллов путем их размалывания, добавления стеклообразующего компонента (оксида бора) и высокотемпературного прокаливания.

Измерение спектров поглощения для образца с содержанием Er $0.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и Yb $5.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ производилось на двухлучевом спектрофотометре CARY 5000 для спектральных областей, соответствующих энергетическому переходу ионов иттербия $^2F_{7/2} \rightarrow ^2F_{5/2}$ (рис. 1) и эрбия $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ (рис. 2).

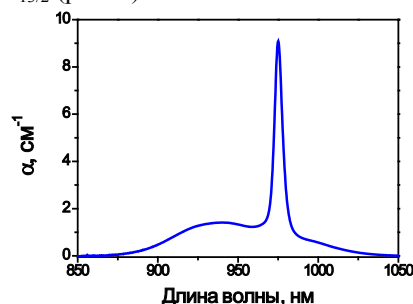


Рисунок 1 – Спектр коэффициента поглощения образца с содержанием Er $0.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и Yb $5.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ в области 850-1050 нм

Измерение спектров люминесценции в области 1400-1690 нм производилось по методу синхронного детектирования при возбуждении

на длине волны 976 нм. Результат изменения предствлен на рис. 3.

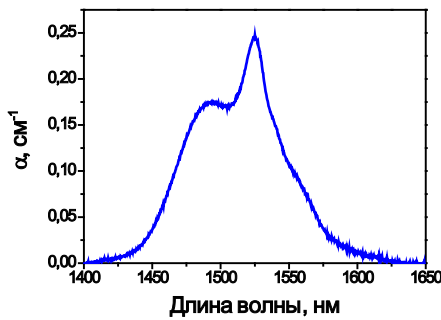


Рисунок 2 – Спектр коэффициента поглощения образца с содержанием Er $0.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и Yb $5.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ в области 1400-1650 нм

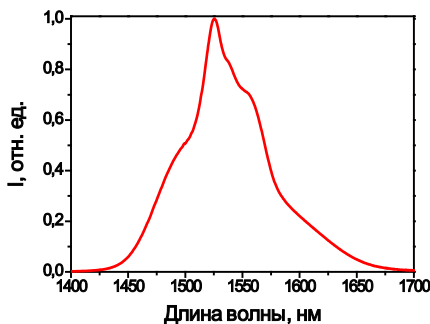


Рисунок 3 – Спектр интенсивности люминесценции образца с содержанием Er $0.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ и Yb $5.8 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ в области 1400-1700 нм

Измерения временных характеристик люминесценции проводились для четырех образцов с различной концентрацией примесных ионов (см. таблицу 1). Измерения проводились по методу, позволяющему минимизировать влияние перепоглощения излучения люминесценции (повторного поглощения испущенных фотонов) из-за перекрытия спектров поглощения и люминесценции в квазитрехуровневых средах [1, 2].

Таблица 1. Концентрации примесных ионов в исследуемых образцах

№ образца	$N_{Yb}, \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$	$N_{Er}, \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$
1	1,06	-
2	5,8	1,06
3	5,8	2,11
4	5,8	4,23

Кинетики затухания с уровня ${}^2F_{5/2}$ иона Yb^{3+} (переход ${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$) в образцах измерялись при возбуждении на длине волны 976 нм. Регистрация сигнала люминесценции производилась с помощью германиевого фотодетектора на длине волны 1080 нм. Для образца №1, активированного лишь ионами Yb^{3+} , кинетики люминесценции затухали по моноэкспоненциальному закону и хорошо аппроксимировались экспоненциальной функцией (см. рисунок 4).

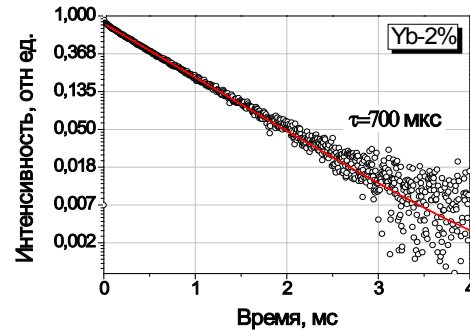


Рисунок 4 – Кинетики затухания люминесценции образца стеклокристаллического композита №1 в суспензии при максимальном разбавлении

При увеличении объема глицерина в суспензии постоянная времени затухания кинетики уменьшалась и выходила на близкое к стационарному значению при объеме глицерина более 0,8 мл. Это свидетельствует о том, что влияние перепоглощения излучения становилось не значительным. Полученное время жизни уровня ${}^2F_{5/2}$ ионов Yb^{3+} в образце стеклокристаллического композита на основе иттрий-алюминиевого бората, легированного только ионами иттербия, составило 700 мкс.

Для образцов стеклокристаллических композитов №2-4, соактивированных ионами Yb^{3+} и Er^{3+} , время затухания люминесценции на длине волны 1080 нм также уменьшалось при увеличении объема глицерина. Были получены следующие результаты: для образца №2 время жизни составило 144 мкс; для образца №3 – 67.5 мкс; для образца №4 – 30 мкс.

Для соактивированных образцов сигнал люминесценции характеризовался профилем затухания, отличным от экспоненциального. Время жизни уровня ${}^2F_{5/2}$ ионов Yb^{3+} в данном случае рассчитывалось по формуле [3]:

$$\tau_{уср} = \frac{\int_0^{\infty} t I(t) dt}{\int_0^{\infty} I(t) dt} \quad (1)$$

Величина эффективности переноса энергии в соактивированных образцах рассчитывалась по формуле:

$$\eta_{Yb \rightarrow Er} = 1 - \frac{\tau}{\tau_0} \quad (2)$$

Люминесценция соактивированных образцов на длине волны 1570 нм, которая соответствует энергетическому переходу ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} затухала по одноэкспоненциальному закону для всех трех образцов (№2-4) и не изменялась при добавлении глицерина. Время затухания люминесценции ионов Er^{3+} сокращалось при увеличении содержания эрбия с 410 до 300 мкс, что, по всей вероятности, обусловлено влиянием концентрационного

тушения. Наиболее близким к радиационному времени жизни уровня ${}^4I_{13/2}$ ионов Er^{3+} в стеклокристаллических композитах будет время затухания, измеренное в низко концентрированном образце №2, которое составило 410 мкс.

Полученные результаты по временам затухания люминесценции для всех исследованных образцов, а также рассчитанные значения эффективности переноса энергии представлены в таблице 2.

Таблица 2. Времена затухания люминесценции с уровня ${}^2F_{5/2}$ ионов Yb^{3+} и эффективности переноса энергии в исследуемых образцах

№ образца	τ_{Yb}	$\eta_{\text{Yb} \rightarrow \text{Er}}$, %
1	700	
2	144	79
3	67,5	90
4	30	96

Таким образом, в данной работе измерены спектры поглощения, люминесценции и кинетики затухания люминесценции образцов стеклокристаллических композитов на основе иттрий-алюминиевого бората, активированного

ионами Yb^{3+} , и соактивированного ионами Er^{3+} и Yb^{3+} с различной концентрацией, определено время жизни уровня ${}^2F_{5/2}$ ионов иттербия в исследуемом материале. Для соактивированных образцов рассчитаны значения эффективности переноса энергии от ионов иттербия к ионам эрбия.

1. Growth, optical characterization, and laser operation of a stoichiometric crystal $\text{KYb}(\text{WO}_4)_2$ / M.C. Pujol [et al] // Phys. Rev. B. – 2002. – Vol. 65, №16. – P. 165121-165131.
2. Sumida, D.S. Effect of radiation trapping on fluorescence lifetime and emission cross section measurements in solid-state laser media / D.S. Sumida, T.Y. Fan // Opt. Lett. – 1994. – Vol.19. – P.1343-1345.
3. Степанов, Б.И. Введение в теорию люминесценции / Б.И. Степанов, В.П. Грибковский – Мн.: изд-во АН БССР, 1963. – 443 с.
4. Energy-transfer studies and efficient cw laser operation of a cw Er,Yb:YCOB laser at 1.5-1.6 μm / P. Burns [et al.] // Proc. SPIE. / SPIE. – Bellingham, 2003. – Vol. 4968. – P. 79-86.

УДК: 621.373:535

ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ

Свирина Л.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью данной работы является теоретическое исследование фазовых характеристик четырехчастотного кольцевого газового лазера (ЧКГЛ) с эллиптическими состояниями поляризации генерируемых волн в условиях нестационарной генерации.

Уравнения генерации для интенсивностей $I_{1,2}^{\pm}$ и разностей фаз $\Psi_{1,2} = \Psi_{1,2}^+ - \Psi_{1,2}^-$ встречных волн с произвольными состояниями поляризации выведены на основе матричного формализма в [1]. Эллиптические состояния поляризации создаются при помещении в резонатор ЧКГЛ линейной фазовой пластинки и оптического вращателя. Матрицы Джонса такого резонатора для встречных направлений (\pm) имеют вид:

$$\hat{M}^{\pm} = \begin{pmatrix} e^{i\nu} & 0 \\ 0 & e^{-i\nu} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix}, \hat{M}^- = \tilde{\hat{M}}^+ \quad (1)$$

где ψ и ϕ - величина линейной и циркулярной фазовой анизотропии, $\tilde{}$ означает транспонирование. Собственные значения матриц \hat{M}^{\pm} и разность частот однонаправленных волн определяются как:

$$\lambda_{1,2}^{\pm} = \cos 2\psi \cos 2\phi \pm \sqrt{\cos^2 2\psi \cos^2 2\phi - 1}, \quad (2)$$

$$\omega_{c1}^{\pm} - \omega_{c2}^{\pm} = 2 \arccos(\cos 2\psi \cos 2\phi) c/L,$$

а состояния поляризации мод резонатора задаются соотношениями:

$$\gamma_{1M}^+ = 1/2 \arctg\{-\text{tg} \phi\}, \text{sh} 2\beta_{1M}^+ = -\sin \phi \text{ctg} \psi, \quad (3)$$

$$\gamma_{1M}^+ - \gamma_{2M}^+ = \pi/2, \xi_{2M}^+ = -\xi_{1M}^+, \quad (4)$$

$$\gamma_{1M,2M}^- = \gamma_{1M,2M}^+, \xi_{1M,2M}^- = -\xi_{1M,2M}^+.$$

Здесь γ - азимут, $\xi = \text{th} 2\beta$ - эллиптичность, знаки \pm отнесены к встречным направлениям распространения волн, цифры 1,2 обозначают номер резонаторной моды. Как следует из (3) (4), однонаправленные волны поляризованы ортогонально, а встречные волны, соответствующие одинаковым модам резонатора, - неортогонально: их азимуты одинаковы, а эллиптичности противоположны по знаку.

Для рассматриваемого ЧКГЛ характерно наличие большого числа экспериментально регулируемых параметров, поэтому вначале на основе численного интегрирования уравнений генерации при параметрах резонатора и активной среды, типичных для He-Ne ($\lambda = 1.15$ мкм)

лазера, определим область значений линейной и циркулярной фазовой анизотропии резонатора, в которой возможны автоколебательные режимы генерации эллиптически поляризованных волн. На рис. 1 эта область закрашена серым цветом.

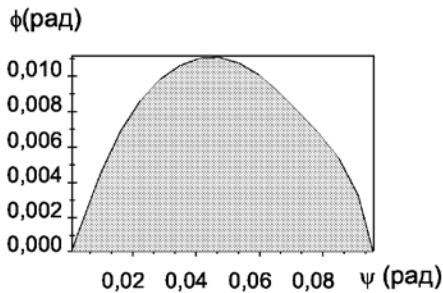


Рисунок 1 – Область автоколебаний

Как следует из рисунка, в данной системе автоколебания возможны для не слишком больших значений эллиптичности: $0 \leq \xi < 0.2$.

Для значений $\psi = 0.005$ рад, $\phi = 0.0015$ рад, которым на основании (3),(4) соответствуют следующие параметры поляризации мод резонатора: $\gamma_{1M}^+ = -7.5 \times 10^{-4}$, $\xi_{1M}^+ = -0.146$, определим области существования устойчивых режимов генерации для различных значений коэффициентов обратного отражения r и отстройек от центра линии x . Как показано в [2], в данном ЧКГЛ, помимо стационарных режимов генерации бегущих и стоячих волн, в широкой области управляющих параметров существуют автоколебательные режимы генерации. На рис. 2 показаны периодические колебания интенсивностей I_1^\pm (а), I_2^\pm (б) и разностей фаз $\Psi_{1,2}$ (в) для $r = 0.001$ и различных отстройках: $x = -43.2$ МГц (левая колонка), $x = 0$ (средняя колонка) и $x = 43.2$ МГц (правая колонка). Сплошными линиями обозначены зависимости $I_{1,2}^+$, Ψ_1 , пунктирными – $I_{1,2}^-$, Ψ_2 . В данном случае динамика генерации ЧКГЛ демонстрирует закономерности, аналогичные обнаруженным в эксперименте [3] и описанным теоретически в [1] для линейно поляризованных волн. В обеих системах в режиме автоколебаний интенсивности встречных волн I_1^\pm (I_2^\pm), а также интенсивности однонаправленных волн I_1^+ , I_2^+ (I_1^- , I_2^-), совершают антифазные колебания, а интенсивности встречных волн I_1^+ , I_2^- (I_1^- , I_2^+) – синфазные. Переход через центр линии сопровождается переключением интенсивностей и состояний поляризации встречных и однонаправленных волн.

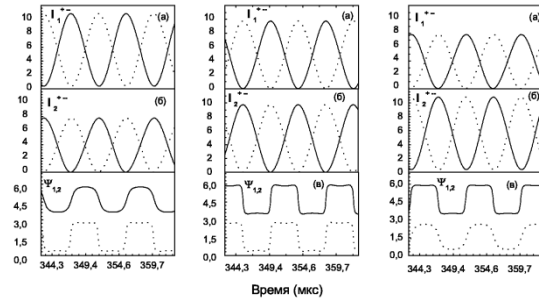


Рисунок 2 – Автоколебательные режимы генерации для различных отстроек

Рисунок 3 иллюстрирует поведение средних (а) и мгновенных (б) значений разностей фаз в области отстроек вблизи центра линии, где происходит переключение интенсивностей.

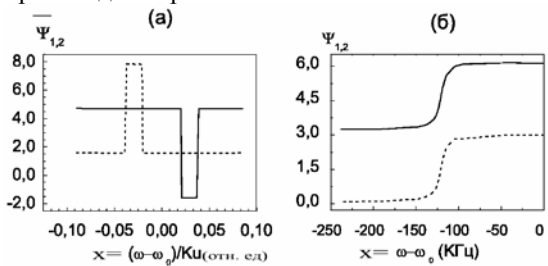


Рисунок 3 – Средние и мгновенные значения разностей фаз в области переключения интенсивностей: Ψ_1 – сплошная линия, Ψ_2 – пунктирная

Как видно из рис. 3(а), средние значения разностей фаз постоянны: $\bar{\Psi}_1 = -\pi/2$, $\bar{\Psi}_2 = +\pi/2$ и не изменяются при переходе через центр линии, претерпевая скачки на 2π вдали от него. Отсутствие скачка на π для усредненных по времени фазовых переменных при переходе через центр линии было обнаружено при теоретическом исследовании динамики генерации скалярного поля в CO_2 лазере [3]. Изменение мгновенных значений разностей фаз (рис. 3(б)) происходит непрерывно в узкой области отстроек (несколько десятков КГц) и имеет место не на центре линии, а вблизи точки $x \approx -125$ КГц.

Для значений $\psi = 0.08$ рад, $\phi = 0.007$ рад, $\gamma_{1M}^+ = -0.0035$, $\xi_{1M}^+ = -0.0435$, $\omega_{1c}^\pm - \omega_{2c}^\pm = 21,3$ МГц динамика генерации рассматриваемого ЧКГЛ существенно усложняется. Здесь мы ограничимся рассмотрением поведения фазовых характеристик для последовательности режимов генерации, наблюдаемых при переходе из области отрицательных в область положительных отстроек Рисунок 4 иллюстрирует поведение средних значений разностей фаз $\bar{\Psi}_1$ (а) и $\bar{\Psi}_2$ (б) в зависимости от x при $r = 0.001$. Последовательность режимов генерации показана схематически: сплошными линиями отмечен стационарный

режим генерации одной стоячей волны, вертикальными черточками – двух стоячих волн, треугольниками – автоколебания, стрелками показаны изменения средних значений разностей фаз на π , которые имеют место в области автоколебаний.

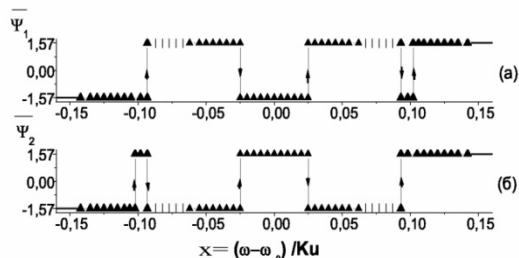


Рисунок 4 – Изменение средних значений разностей фаз при движении из области отрицательных в область положительных отстройек

Поведение мгновенных значений интенсивностей и разностей фаз для $x = -0.0235$ (а) и $x = -0.0287$ (б) иллюстрирует рис. 5.

В зависимости от условий регистрации, для которой выбирается некоторый конечный временной интервал, изменения средних значений разности фаз могут происходить как непрерывно, так и скачкообразно.

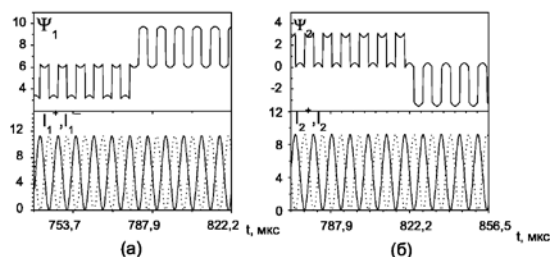


Рисунок 5 – Скачки мгновенных значений разностей фаз на 2π при неизменных интенсивностях

1. Svirina, L.P. A four-frequency anisotropic-cavity ring gas laser / L.P. Svirina // *Quantum & Semiclassical Optics*, JEOS, part B. – 1998. – V. 10, № 1. P. 213–222.
2. Свирина, Л.П. Фазовая неустойчивость в четырехчастотном кольцевом газовом лазере с анизотропным резонатором / Л.П. Свирина // *Квантовая электроника*. – 2008. – Т38, № 1.– С.1–15 (приглашенная статья).
3. Yasinskii, V.M. Polarization dynamics in He - Ne ring laser/ V.M Yasinskii // *Proceedings of SPIE*. – 1996. – V. 2792. – P. 166-170.
4. Pando, C.L. /Phase dynamics in a single mode class B laser / C.L. Pando, G.A. Luno Acosta // *Optics Communications*. – 1995. – V. 114, №2. – P. 509-518.

УДК 539.26, 538.958, 621.373.8

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОКРИСТАЛЛЫ ОКСИДА ГАЛЛИЯ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ КОБАЛЬТА

Скопцов Н. А.¹, Глазунов И. В.¹, Лойко П.А.^{1,4}, Маляревич А. М.¹, Юмашев К. В.¹, Дымшиц О. С.², Жилин А. А.², Алексеева И. П.², Шемчук Д. В.², Виткин В.В.³, Харитонов А.А.³

¹НИЦ оптических материалов и технологий, Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»

³Университет ИТМО

Санкт-Петербург, Россия

⁴Department of Materials and Nano Physics, School of Information and Communication Technology
Kista, Sweden

В настоящее время большой интерес исследователей привлекает получение коротких и сверхкоротких импульсов лазерного излучения. Источники такого излучения востребованы в прецизионной обработке материалов, медицине дальнометрии, волоконных средствах передачи и обработки информации. Одним из способов получения лазерного излучения такой длительности является применение пассивных затворов на основе просветляющихся сред. Для лазеров спектрального диапазона 1.5 мкм большое распространение получили затворы на основе твёр-

дотельных сред с ионами кобальта [1-5]. Целью данной работы является создание и изучение спектрально-люминесцентных и нелинейно-оптических свойств новых материалов для пассивных затворов – ситаллов с наноразмерными кристаллами оксида галлия, легированных ионами кобальта, $Co^{2+}: Ga_2O_3$.

Исходное стекло литиевогаллиевоалюмо-силикатной системы $13Li_2O \cdot 23Ga_2O_3 \cdot 64SiO_2$ с добавкой оксида кобальта было синтезировано в платинородиевом тигле при температуре 1580 °С с перемешиванием, отлито на металлическую

плиту и отожжено при температуре 640 °С. Исходное стекло было термообработано при температуре 730 °С в течение 6 часов. В результате термообработки получен прозрачный материал светло-синего цвета.

Для определения структуры кристаллической фазы, выделившейся при термообработке, выполнен рентгенофазовый анализ (РФА). Измерение производилось с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 6000 при излучении Cu K α с никелевым фильтром. Согласно данным РФА, материал содержит кристаллы оксида галлия Ga₂O₃ нанометрового размера. Наличие кристаллической фазы также подтверждается данными просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) (рисунок 1).

Регистрация спектров поглощения образцов стекол и ситаллов (рисунок 2) осуществлялась с помощью спектрофотометра Cary Varian 5000. Анализ спектра показывает, что в состав нанокристаллов входят двухвалентные тетракоординированные ионы кобальта. В спектре видно, что край полосы поглощения ионов кобальта, вызванный переходами $^4A_2(^4F) \rightarrow ^4T_{1g}(^4F)$, в ситалле находится в области 1.75 мкм, что недоступно для других материалов с ионами кобальта. Указанная особенность позволяет использовать данный материал для пассивных затворов в лазерах, излучающих в спектральном диапазоне 1,4-1,75 мкм.

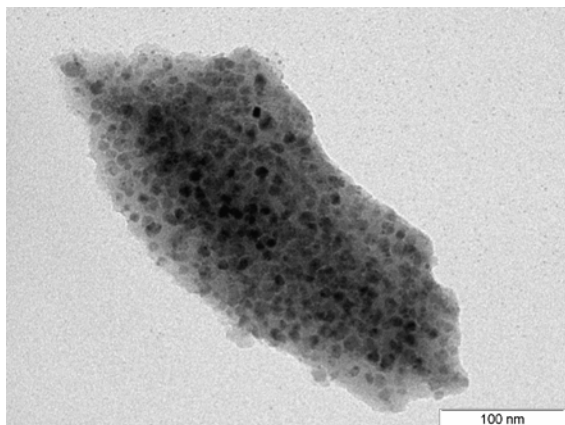


Рисунок 1. Снимок просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) ситалла с нанокристаллами оксида галлия $Co^{2+}:Ga_2O_3$

На рисунке 3 представлен спектр люминесценции ситалла с ионами кобальта. Возбуждение осуществлялось лазерным излучением с длиной волны 623 нм, регистрация производилась спектрометром SOLAR S-100. Полосы свечения обусловлены переходами ионов кобальта Co^{2+} из возбужденного состояния $^4A_{2g}(^4F)$ (0.6 мкм) и $^4T_{2g}(^4F)$ (0.9 мкм) в основное состояние $^4A_2(^4F)$.

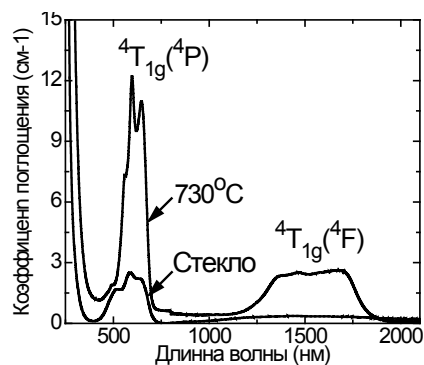


Рисунок 2. Спектр поглощения ионов кобальта в стекле и ситалле с нанокристаллами $Co^{2+}:Ga_2O_3$

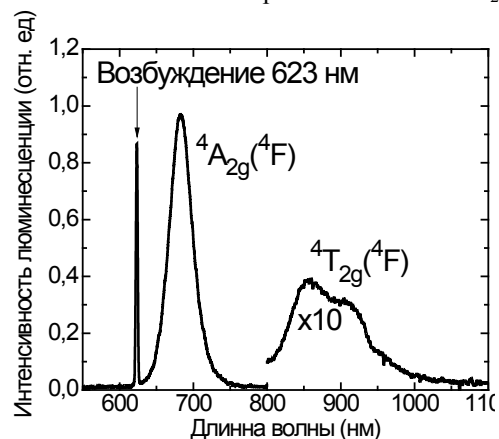


Рисунок 3. Спектр люминесценции ионов кобальта в ситалле с нанокристаллами $Co^{2+}:Ga_2O_3$

На рисунке 4 представлена кинетика затухания люминесценции ионов кобальта из состояния $^4A_{2g}(^4F)$. Время жизни в возбужденном состоянии измерено с помощью фотоприемника Hamamatsu C 5460 и осциллографа Gwinstek GDS-71152A и составляет 170 нс.

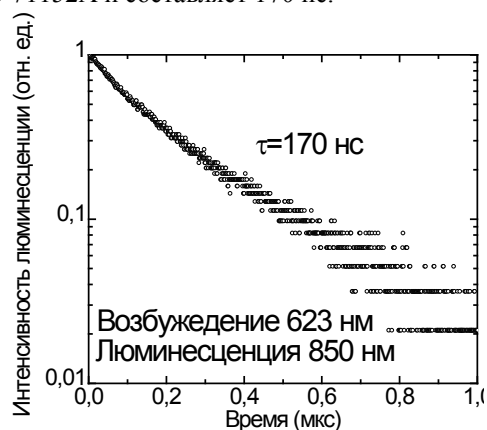


Рисунок 4. Кинетика затухания люминесценции ионов кобальта в ситалле с нанокристаллами $Co^{2+}:Ga_2O_3$

Исследована зависимость пропускания ситаллов от интенсивности падающего лазерного излучения. Образец толщиной 4 мм облучался ла-

зерными импульсами с энергией 1.3 мДж, длительностью 85 нс на длине волны 1540 нм. Диаметр сфокусированного пятна на образце составлял 70 мкм. Для обработки экспериментальных данных, которые показывают, что ситалл с нанокристаллами $\text{Co}^{2+}:\text{Ga}_2\text{O}_3$, хорошо просветляется, использовалась модель медленно релаксирующего насыщающегося поглотителя [3]:

$$\frac{dE_0}{dz} = -I_{sa} \cdot \frac{\ln(1/T_0)}{L} \cdot \left[(1-\gamma) \cdot (1 - e^{-\frac{E_0}{I_{sa}}}) + \gamma \cdot \frac{E_0}{I_{sa}} \right]$$

где $I_{sa} = h\nu/\sigma_a$ – интенсивность насыщения поглощения; $\gamma = \sigma_{esa}/\sigma_a$ – контраст просветления; σ_a и σ_{esa} – поперечные сечения поглощения из основного и возбужденного состояний, соответственно. По результатам моделирования определены контраст просветления $\gamma=0.12$, поперечные сечения поглощения из основного $\sigma_a=1.7 \cdot 10^{-19}$ см² и возбужденного $\sigma_{esa}=0.2 \cdot 10^{-19}$ см² состояний.

С помощью исследованного материала получена пассивная модуляция добротности лазера на эрбиевом стекле с поперечной диодной накачкой. Накачка осуществлялась лазерным диодом с длиной волны 940 нм и мощностью до 70 Вт. В качестве активной среды использовался стержень $\varnothing 1.6 \times 24$ мм. Резонатор лазера длиной 65 мм был образован парой плоских зеркал. Пропускание выходного зеркала на длине волны генерации составляло 13%. Начальное пропускание пассивного затвора толщиной 0.5 мм $T=85\%$. Радиус моды внутрирезонаторного излучения на затворе составлял 150 мкм. В описанном лазере были получены импульсы излучения с энергией 1.75 мДж и длительностью 25.4 нс.

Таким образом, в работе синтезирован новый лазерный материал – ситалл, содержащий нано-

кристаллы оксида галлия с ионами кобальта $\text{Co}^{2+}:\text{Ga}_2\text{O}_3$. Исследованы его структурные, спектрально-люминесцентные и нелинейно-оптические свойства. Получена пассивная модуляция добротности эрбиевого лазера с поперечной диодной накачкой. Показано, что ситаллы с нанокристаллами оксида галлия $\text{Co}^{2+}:\text{Ga}_2\text{O}_3$ являются перспективной средой для пассивной модуляции добротности лазеров спектрального диапазона 1.4-1.75 мкм.

1. Konstantin V. Yumashev, "Saturable absorber $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ crystal for Q switching of 1.34- μm $\text{Nd}^{3+}:\text{YAlO}_3$ and 1.54- μm $\text{Er}^{3+}:\text{glass}$ lasers," *Appl. Opt.* **38**, 6343-6346 (1999).
2. K.V. Yumashev, I.A. Denisov, N.N. Posnov, P.V. Prokoshin, V.P. Mikhailov. Nonlinear absorption properties of $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$ crystal. *Appl. Phys. B* **70**, 179–184 (2000).
3. Denisov I.A., Demchuk M.I., Kuleshov N.V., Yumashev K.V. $\text{Co}^{2+}:\text{LiGa}_5\text{O}_8$ saturable absorber passive Q-switch for 1.34 μm $\text{Nd}^{3+}:\text{YAlO}_3$ and 1.54 μm $\text{Er}^{3+}:\text{glass}$ lasers. *Appl. Phys. Lett.*, **77**, 2455-2457 (2000).
4. [John B. Gruber, Ann W. Kennedy, Bahram Zandi and James A. Hutchinson](#) "Modeling of the Co^{2+} saturable absorber Q-switch for the $\text{Er}:\text{Yb}:\text{glass}$ laser (1.534 μm)", *Proc. SPIE* 3928, Nonlinear Materials, Devices, and Applications, 142 (March 23, 2000).
5. Alexander M. Malyarevich, Igor A. Denisov, Konstantin V. Yumashev, Olga S. Dymshits, Alexander A. Zhilin, and Uk Kang, "Cobalt-doped transparent glass ceramic as a saturable absorber Q switch for erbium:glass lasers," *Appl. Opt.* **40**, 4322-4325 (2001).

УДК 534-16:534-8:621.9.048.6

КОНЦЕНТРАТОРЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ НЕОДНОРОДНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Степаненко Д.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Возможность создания концентраторов ультразвуковых колебаний на основе кольцевых упругих элементов с постоянной и переменной площадью поперечного сечения была ранее теоретически обоснована автором [1, 2]. Основными преимуществами концентраторов на основе кольцевых упругих элементов по сравнению со стержневыми концентраторами являются простота изготовления, малые габаритные размеры и масса. В данной работе дается теоретическое обоснование возможности использования в качестве концентраторов ультразвуковых колебаний неоднородных кольцевых упругих элементов,

состоящих из двух кольцевых сегментов, выполненных из материалов с различным модулем упругости. В качестве прототипа для подобного типа концентраторов послужили стержневые концентраторы, состоящие из двух соединенных между собой четвертьволновых стержней с различным модулем упругости и одинаковой площадью поперечного сечения, ступенчатое изменение модуля упругости в которых равносильно ступенчатому изменению площади поперечного сечения в ступенчатых стержневых концентраторах.

В качестве основы для теоретического анализа возможности усиления колебаний неоднородными кольцевыми упругими элементами были использованы дифференциальные уравнения колебаний однородного кольцевого сегмента. Неизвестные постоянные в общих решениях этих уравнений определялись таким образом, чтобы обеспечить непрерывное сопряжение решений на границе сегментов концентратора и выполнение граничных условий, описывающих симметричность колебаний относительно плоскости симметрии концентратора. Характер общих решений определяется видом корней кубического уравнения

$$\zeta^3 + (2 + p\xi)\zeta^2 + (1 - \xi - p\xi)\zeta + \xi(1 - p\xi) = 0, \quad (1)$$

где $p = J/SR^2$ – безразмерный геометрический параметр, J – осевой момент инерции поперечного сечения сегмента, S – площадь поперечного сечения сегмента, R – радиус средней линии сегмента, $\xi = \omega^2/p\omega_0^2$ – безразмерный частотный параметр, ω – круговая частота колебаний, $\omega_0 = (1/R)\sqrt{E/\rho}$.

Существуют три точки изменения характера корней уравнения (1): $\xi_L < \xi_M < \xi_U$. В случае $\xi_M < \xi \leq \xi_U$ амплитуда V тангенциальных колебательных смещений точек средней линии кольцевых сегментов после учета условий симметрии, позволяющих сократить число неизвестных постоянных в каждом из общих решений с 6 до 3, будет выражаться равенствами

$$V_1(\varphi_1) = A_1 \sin(d_1\varphi_1) + A_2 \operatorname{sh}(e_1\varphi_1) + A_3 \operatorname{sh}(f_1\varphi_1), \quad (2)$$

$$V_2(\varphi_2) = A_4 \sin(d_2\varphi_2) + A_5 \operatorname{sh}(e_2\varphi_2) + A_6 \operatorname{sh}(f_2\varphi_2), \quad (3)$$

где $d_1, e_1, f_1, d_2, e_2, f_2$ – окружные волновые числа, выражаемые через корни уравнения (1); $A_1..A_6$ – неизвестные постоянные, подлежащие определению из условий сопряжения решений; φ_1 и φ_2 – угловые координаты, отсчитываемые от сечений, в которых плоскость симметрии пересекает сегменты.

Подстановка общих решений (2)-(3) в условия сопряжения приводит к системе линейных однородных алгебраических уравнений для определения неизвестных постоянных $A_1..A_6$:

$$\mathbf{M}(\omega)\mathbf{A} = 0, \quad (4)$$

где \mathbf{M} – матрица размером 6×6 , \mathbf{A} – вектор неизвестных постоянных.

Система (4) имеет нетривиальное решение при условии

$$\det \mathbf{M}(\omega) = 0,$$

из которого могут быть определены резонансные частоты колебаний.

Расчет собственных форм колебаний, зависящих от значения вектора \mathbf{A} , затрудняется тем, что матрица $\mathbf{M}(\omega)$ в окрестности точек резонанса

является плохо обусловленной. В связи с этим решение системы (4) производится методом сингулярного разложения (SVD-разложения). Правые сингулярные векторы, соответствующие нулевым или близким к нулю сингулярным числам матрицы $\mathbf{M}(\omega)$, будут являться линейно независимыми нетривиальными решениями системы (4).

В качестве численного примера, подтверждающего возможность усиления колебаний неоднородными кольцевыми концентраторами, был рассмотрен расчет концентратора со следующими параметрами: радиус средней линии $R = 29$ мм; толщина в радиальном направлении $h = 2$ мм; модули упругости материалов сегментов $E_1 = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па (сталь), $E_2 = 1,3 \cdot 10^{11}$ Па (бронза); плотности материалов сегментов $\rho_1 = 7800$ кг/м³, $\rho_2 = 8300$ кг/м³; центральный угол стального сегмента $2\varphi_0 = \pi/2$. Были рассмотрены частоты колебаний f в диапазоне от 20 до 25 кГц. На рисунке 1 приведена резонансная кривая концентратора, представляющая собой график зависимости $\lg(|\det \mathbf{M}(f)|)$ от частоты f .

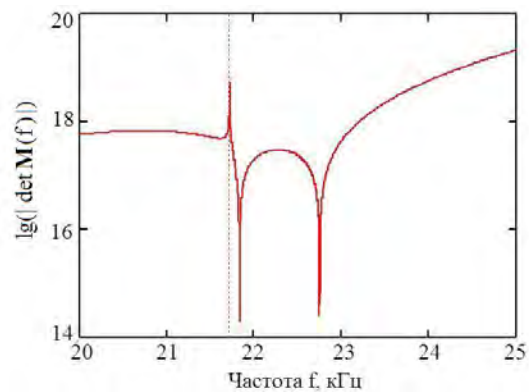


Рисунок 1 – Расчетная резонансная кривая кольцевого концентратора

Точки, в которых $\lg(|\det \mathbf{M}(f)|) \rightarrow -\infty$, соответствуют резонансным частотам, одной из которых является частота $f_{\text{рез}} = 22,75$ кГц. Для этой частоты с помощью метода SVD-разложения была рассчитана собственная форма колебаний, распределение амплитуды радиальных колебательных смещений $W(\varphi)$ для которой приведено на рисунке 2.

Распределение амплитуды показано для полукольца, отсекаемого плоскостью симметрии. Из множества линейно зависимых нетривиальных решений системы (4) было выбрано решение, удовлетворяющее условию $\|\mathbf{A}\| = 1$.

Как следует из анализа рисунка 2, рассматриваемая собственная форма колебаний характеризуется наличием усиления колебаний по амплитуде с коэффициентом усиления

$$K = |W(\pi)/W(0)| = 1,53.$$

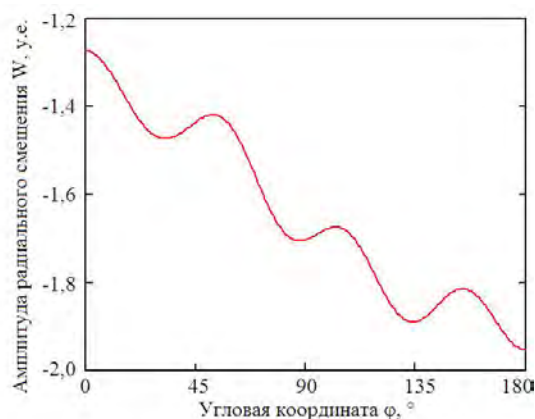


Рисунок 2 – Расчетная собственная форма колебаний кольцевого концентратора для частоты $f = 22,75$ кГц

УДК 620.179.14

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМАГНИЧИВАНИЯ ТОНКОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Стрелюхин А.В.¹, Осипов А.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Неразрушающий магнитный контроль получил широкое распространение для решения разнообразных задач обеспечения надежности выпускаемых изделий из ферромагнитных материалов, что обусловлено их широким использованием во многих отраслях промышленности. Кроме того, он имеет высокую производительность, надежность, точность и позволяет проводить испытания без разрушения изделия.

Для приборной реализации магнитного контроля необходимы разнообразные источники и измерители магнитного поля. Необходимые расчеты таких устройств и систем проводятся с использованием уравнений Максвелла и соответствующих конкретной задаче граничных условий. Однако из-за гистерезиса и нелинейности магнитных характеристик материала строго решить систему уравнений Максвелла для ферромагнитных изделий затруднительно. Поэтому для моделирования процесса намагничивания ферромагнитных материалов используют численные методы.

Такие численные методы как сеток, конечных элементов, граничных элементов и т.д. для своей реализации требуют учета граничных условий на поверхности объекта контроля (раздельно для нормальной \vec{n} и тангенциальной $\vec{\tau}$ составляющих) [1]. Известны подходы, при использовании которых расчет можно ограничить только объемом, занимаемым ферромагнетиком. Одним из

Таким образом, приведенный численный пример показывает возможность усиления ультразвуковых колебаний по амплитуде с помощью неоднородных кольцевых концентраторов.

1. Степаненко, Д.А. Разработка и исследование нового типа концентраторов ультразвуковых колебаний на основе кольцевых упругих элементов / Д.А. Степаненко [и др.] // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 2013. – Т. 18, № 2. – С. 90-94.
2. Степаненко, Д.А. Влияние формы кольцевого концентратора ультразвуковой системы на коэффициент усиления амплитуды колебаний / Д.А. Степаненко, И.В. Луговой, В.П. Луговой // *Наука и техника.* – 2016. – № 3. – С. 209-215.

таких методов является метод пространственных интегральных уравнений, результативность которого подтверждается рядом публикаций [2 – 4].

При моделировании и расчете магнитного состояния тонколистового проката возникает необходимость в решении трехмерной задачи. Это обусловлено геометрией изделия, анизотропией материала (при ее наличии) и использованием для намагничивания прямоугольных катушек [5].

Важным вопросом при численном моделировании процесса намагничивания является выбор способа описания зависимости намагниченности материала образца от величины поля. Для этого часто используются экспериментальные кривые, как наиболее точно соответствующие реальным физическим процессам, происходящим в материале образца при намагничивании. Однако для достижения высокой точности вычислений требуется измерять большие массивы экспериментальных зависимостей $M(H)$. Кроме того, возникают трудности при вычислении дифференциальных величин. В связи с этим при расчетах часто используют аналитические выражения [6, 7] для описания нелинейных свойств ферромагнетика.

В настоящей работе рассмотрено численное моделирование тонкого ферромагнитного листа, намагниченного двумя прямоугольными катушками. Расчет проводился для намагничивающей и измерительной системы, которые помещались

на прямоугольный образец низкоуглеродистой стали толщиной 0,786 мм и размером 200x200 мм².

Намагничивающая система представлена двумя прямоугольными катушками с размерами 210x55 мм², включенными согласно по полю (рисунок 1). Расстояние между осями катушек составляло 114 мм. Измерительная система выполнена из двух полузондов, расположенных друг над другом вдоль поля H над образцом (рисунок 1).

Материал листа полагают изотропным со следующими магнитными характеристиками: коэрцитивная сила $H_{cs} = 137$ А/м, остаточная намагниченность $M_r = 872000$ А/м; начальная магнитная проницаемость $\mu_n = 350$.

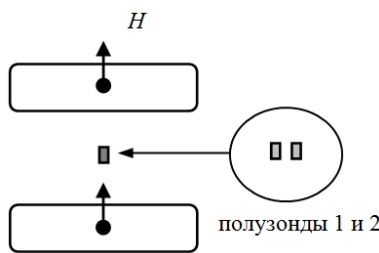


Рисунок 1 – Расположение намагничивающей и измерительной систем

За основу численного расчета взято нелинейное уравнение

$$\vec{H}(Q) = -\frac{1}{4\pi} \text{grad}_Q \int_{V_M} \vec{M}(N) \text{grad}_N \left(\frac{1}{r_{NQ}} \right) dV_n, \quad (1)$$

где N – точка источника поля; $\vec{H}(Q)$ – вектор напряженности магнитного поля в точке Q ; $\vec{M}(N)$ – вектор намагниченности в точке N ; V_M – объем ферромагнетика; \vec{r}_{NQ} – радиус-вектор из точки источника N в точку наблюдения Q .

Моделируемый образец разбивался на заданное число элементов по каждой координате. В методе пространственных интегральных уравнений поле $\vec{H}_{рез,i}$ в каждой точке наблюдения определялось как векторная сумма намагничивающего поля $\vec{H}_{нам,i}$ и поля от элементов ферромагнетика $\vec{H}_{фер,j}$:

$$\vec{H}_{рез,i} = \vec{H}_{нам,i} + \sum_j \vec{H}_{фер,j}. \quad (2)$$

При расчете использовались аппроксимирующие выражение [7] для основной кривой намагничивания, которое следует из формулы для петель магнитного гистерезиса:

$$M_m = \frac{M_s k_{ts} (H = H_m) H_m^2 / \pi + k_1 k_3 (H_m) H_{cs}^2}{H_m^2 + k_2 H_m^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \times$$

$$\times \left(\arctg \frac{H_{cs} + H_m}{H'_0} - \arctg \frac{H_{cs} - H_m}{H'_0} \right); \quad (3)$$

$$M = \pm \frac{M_s H_m^2 k_{ts} (H) / \pi + k_1 H_{cs}^2 k_3 (H_m)}{H_m^2 + k_2 H_m^{3/2} H_{cs}^{1/2} + k_1 H_{cs}^2} \times \left[2 \arctg \frac{H_{cs} \pm H}{H'_0} - \left(\arctg \frac{H_{cs} + H_m}{H'_0} + \arctg \frac{H_{cs} - H_m}{H'_0} \right) \right], \quad (4)$$

где знак «+» относится к нисходящей ветви петли гистерезиса, знак «-» – к восходящей; M – намагниченность; M_s – намагниченность насыщения; H_{cs} – коэрцитивная сила по предельной петле гистерезиса; H_m – максимальная величина напряженности перемагничивающего поля; k_{ts} , k_1 и k_2 – безразмерные коэффициенты, H'_0 и $k_3(H_m)$ – параметры.

Задача численного моделирования параметров контроля сводится к расчету поля в области наблюдения (расположения измерительных датчиков) по аналогии с формулой (2). Величину градиента вычисляют по значениям поля в двух точках и расстоянию между ними по соответствующей оси.

На рисунке 2 приводится пример зависимости поперечного градиента магнитного поля в зависимости от значения y . В центре графика имеется область малых изменений градиента, что показывает уменьшение чувствительности данного магнитного параметра как к смещениям намагничивающей системы, так и измерительной системы, что особенно важно при контроле в потоке производства, где при изготовлении на прокатном стане движущийся лист колеблется.

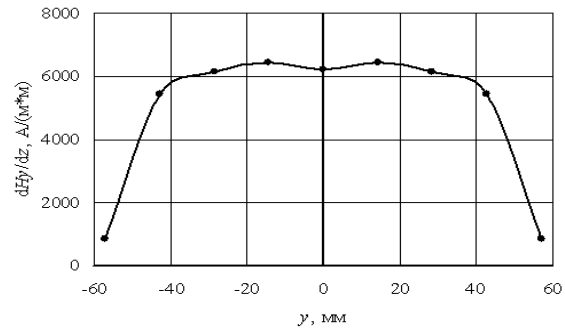


Рисунок 2 – Поперечный градиент магнитного поля $\partial H_y / \partial z$ по оси y

Сравнение модели и эксперимента показало, что различие между рассчитанными и измеренными магнитными параметрами составляет не более 10 %, что объясняется погрешностью параметров петли гистерезиса, неоднородностью образцов, недостаточным числом элементов разбиения и т.д.

Работа выполнялась при поддержке БРФФИ и РФФИ договор № Т16Р-040.

1. Демирчян К.С., Чечурин В.Л. Машинные расчеты электромагнитных полей. – М.: Высш. шк., 1986. – 240 с.
2. Пеккер И.И. К расчету магнитных систем методом интегрирования по источникам поля // Изв. вузов. Электромеханика. – 1968. – № 9. – С. 940-943.
3. Курбатов П.А., Аринчик С.А. Численный расчет электромагнитных полей. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.
4. Матюк В.Ф., Чурило В.Р., Стрелюхин А.В. Численное моделирование магнитного состояния ферромагнетика в неоднородном постоянном поле методом пространственных интегральных уравнений. I. Описание методики расчета // Дефектоскопия. – 2003. – № 8. – С. 71-84.
5. Счастный А.С., Осипов А.А. Исследование возможности контроля анизотропии листового проката // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20-33.
6. Мельгуй М.А. Формулы для описания нелинейных и гистерезисных свойств ферромагнетиков // Дефектоскопия. – 1987. – № 11. – С. 3-10.
7. Матюк В.Ф., Осипов А.А. Математическая модель намагничивания ферромагнетиков // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48. – № 5. – С. 43-45.

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ Счастный А.С., Осипов А.А., Бурак В.А.

*Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Анизотропия механических свойств плоских ферромагнетиков формируется при производстве и во многом обусловлена технологическими процессами изготовления. Учет анизотропии позволяет повысить качество как изготавливаемой продукции, так и повысить технологичность производства, поскольку анизотропия оказывает влияние на качество и экономичность механической обработки (резка, штамповка и т.д.), причем это влияние неоднозначно и зависит от ряда факторов, среди которых особое значение имеют вид выпускаемой продукции, технологический процесс используемой при изготовлении механической операции и дальнейшие эксплуатационные условия работы изделия.

Контроль величины механической анизотропии листового проката стали на предприятиях обычно осуществляется выборочно механическими (разрушающими) методами согласно ГОСТ 9045-93, а также неразрушающими методами контроля [1, 2]. Использование неразрушающих методов контроля анизотропии позволяет более экономно использовать листовой прокат, идущий в производство, повышают качество и надежность изделий, но требуют анализа и исследований, проводимых как на стадии внедрения, так и при дальнейшем использовании на производстве. Для контроля механической анизотропии стального проката широкое распространение получили магнитные методы контроля [3], основой для использования кото-

рых является связь магнитных параметров со структурным состоянием вещества.

В ряде работ [4-6], проведенных коллективом авторов, было показано, что импульсный магнитный метод имеет значимые коэффициенты корреляции с коэффициентом нормальной анизотропии R_n , а в ряде случаев коэффициенты корреляции составляли 0,8 и более. В этих работах связь между магнитными параметрами и механической анизотропией листового проката стали в зависимости от температуры термообработки металла не исследовалась, но данная задача представляет особый интерес для дальнейшего исследования возможностей магнитного метода при контроле механической анизотропии и для практического использования.

Измерения проводились на листах низкоуглеродистой стали толщиной 3 мм и размерами 1000x1000 мм². Листы стали имели различную температуру отжига после прокатки. Как и ранее [4-6], в качестве областей для измерения градиента напряженности остаточного магнитного поля были выбраны четыре точки в диагоналях прямоугольного образца, одинаково отстоящие от краев.

Намагничивающая система состояла из двух согласно по полю (вдоль оси y) включенных прямоугольных катушек с размерами 210x55 мм². Расстояние между осями катушек составляло 114 мм. Для намагничивания использовался импульсный магнитный анализатор ИМА-5Б. Измерения выполнялись

поперечным градиентометром, изготовленным из двух полузондов, используемых в приборах типа ИМА, расположенных друг над другом вдоль поля H над образцом и включенных встречно. Расстояние между полузондами поперечного градиентометра составляло 11 мм. При измерениях поперечный градиентометр подключался к прибору ИМА-4М.

Усредненные результаты измерения проекций поперечного градиента остаточного магнитного поля при намагничивании и измерении вдоль направления прокатки в исследуемых областях представлены на рисунке 1. На рисунке 2 представлены результаты измерения проекций поперечного градиента остаточного магнитного поля при намагничивании и измерении поперек направления прокатки в тех же областях.

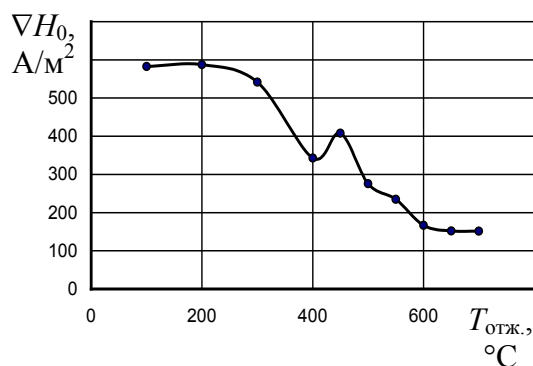


Рисунок 1 – Зависимость тангенциальных проекций поперечного градиента остаточного магнитного поля от температуры отжига $T_{отж}$ вдоль направления прокатки

Из представленных на рисунках 1 и 2 зависимостей видно, что значения градиента остаточного магнитного поля, измеренные вдоль и поперек прокатки, различаются. В обоих случаях имеется участок, характеризующийся стабильностью измеряемого магнитного параметра при малых значениях температуры отжига, однако в случае измерений вдоль направления прокатки спад величин градиента поля начинается несколько раньше, что приводит к уменьшению и коэффициента магнитной анизотропии $\nabla H_0/\nabla H_{90}$ (рисунок 3).

Дальнейшее повышение температуры отжига исследуемых стальных образцов приводит к неоднозначному снижению величины градиентов остаточного магнитного поля вдоль и поперек направления прокатки. Если для случая измерения градиента поперек направления прокатки такую зависимость можно считать близкой к линейной, то в случае измерения вдоль направления прокатки в области температуры, равной 450 °С наблюдается скачок значения.

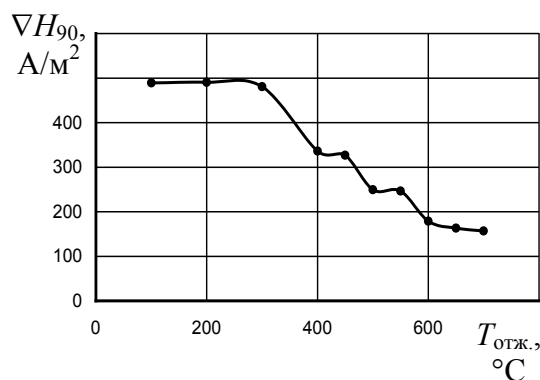


Рисунок 2 – Зависимость тангенциальных проекций поперечного градиента остаточного магнитного поля от температуры отжига $T_{отж}$ поперек направления прокатки

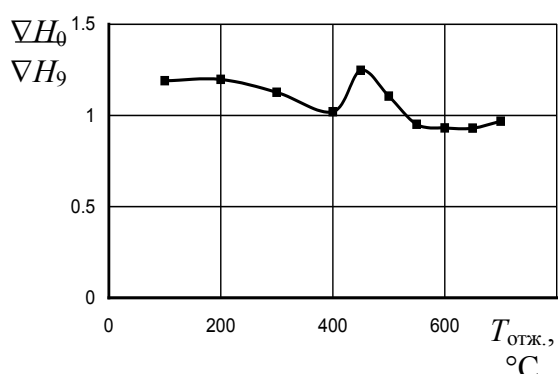


Рисунок 3 – Зависимость от температуры отжига $T_{отж}$ коэффициента анизотропии $\nabla H_0/\nabla H_{90}$ для поперечного градиента напряженности остаточного магнитного поля при согласном намагничивании

Из литературных источников известно, что при температуре отжига свыше 400 °С в стали начинаются структурные изменения, которые влияют на величины механических и магнитных свойств, в данном случае степень влияния температуры термообработки зависит от выдержки при данной температуре и ее величины. Это и обуславливает ход зависимостей.

В качестве параметра неразрушающего контроля анизотропии механических свойств может быть использован безразмерный коэффициент магнитной анизотропии $\nabla H_0/\nabla H_{90}$. Из рисунка 3 видно, что коэффициент магнитной анизотропии $\nabla H_0/\nabla H_{90}$ в области структурных изменений может иметь значение больше единицы при малых величинах температуры отжига $T_{отж}$. Затем его величина становится меньше единицы после структурных превращений, происходящих в стали при повышении температуры отжига, проходит через минимальное значение и стремится к единице при высокой температуре отжига (700 °С и выше).

Работа выполнялась при поддержке БРФФИ и РФФИ договор № Т16Р-040.

1. Матюк, В.Ф. Состояние неразрушающего контроля штампуемости листового проката сталей / В.Ф. Матюк // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2012. – № 3. – С. 15-42.
2. Востриков, А.А. Использование комплексного показателя для оценки штампуемости холоднокатаного листового проката / А.А. Востриков [и др.] // Сталь. – 1993. – № 7. – С. 47-49.
3. Щербинин, В.Е. Магнитный контроль качества металлов / В.Е. Щербинин, Э.С. Горкунов. – Екатеринбург, 1996. – 266 с.
4. Счастный, А.С. Исследование возможности контроля анизотропии листового проката / А.С. Счастный, А.А.Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2014. – № 3. – С. 20-33.
5. Счастный, А.С. Механическая анизотропия и параметры петли магнитного гистерезиса листового проката низкоуглеродистых сталей / А.С. Счастный, А.А.Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2015. – № 3. – С. 15-27.
6. Счастный, А.С. Исследование возможности использования приборов магнитного контроля для оценки механической анизотропии листового проката / А.С. Счастный, А.А.Осипов // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2015. – № 3. – С. 54-66.

УДК 621.382.002

ФОРМИРОВАНИЕ МЕЖУРОВНЕВОГО ДИЭЛЕКТРИКА ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Телеш Е.В., Вашуров А.Ю., Святохо С.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Существующие вакуумные методы формирования межуровневого диэлектрика, основанные на термическом испарении, ионном распылении, связаны с использованием дорогостоящих мишеней и материалов для испарения. Энергия осаждаемых на подложку атомов составляет 0,01–5 эВ, что не позволяет получать тонкопленочные покрытия с высокой адгезией и требуемой микроструктурой при низких температурах подложки. Прямое осаждение из ионных пучков предполагает использования только рабочего газа, причем стоимость последнего намного ниже стоимости мишеней [1].

Формирование слоев межуровневого диэлектрика из SiO₂ осуществляли осаждением из ионных пучков смеси 5 % SiH₄ + 95 % Ar и кислорода. Остаточный вакуум в процессе нанесения не превышал значения (2–3)·10⁻³ Па. Покрытия осаждались на неподвижные подложки из кремния. Режимы работы ионного источника на основе торцевого холловского ускорителя были следующими: анодное напряжение – 75 – 136 В, ток разряда – 1–4 А, ток солениода – 3–4 А, ток эмиттера электронов – 11–12 А. Температура подложек составляла 333–613 К.

Исследование электрофизических параметров (диэлектрическая проницаемость ϵ , тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, электрическая прочность $E_{\text{пр}}$) межуровневого диэлектрика из SiO₂ осуществляли путем изменения характеристик структур металл–диэлектрик–полупроводник. Полученные тестовые образцы измерялись с помощью моста E7-20 (емкость и $\text{tg}\delta$) и харак-

териографа TR-4805 (пробивное напряжение). Значение ϵ определяли расчетным путем из величины емкости тестовой структуры.

Исследовалось влияние тока и напряжения разряда, состава рабочего газа и температуры подложки на ϵ , $\text{tg}\delta$ и $E_{\text{пр}}$. Было обнаружено, что для покрытий из SiO₂ увеличение парциального давления кислорода с 4,0·10⁻² до 2,0·10⁻³ Па приводит к возрастанию ϵ с 1,9 до 4,8. Тангенс угла потерь был минимален (0,04) при давлении 6,65·10⁻² Па, затем возрастал до 0,41 при 9,3·10⁻² Па. Значения $E_{\text{пр}}$ практически не изменялись. Увеличение парциального давления SiH₄ приводило к снижению ϵ с 5,8 до 3,7, $\text{tg}\delta$ и $E_{\text{пр}}$ почти не изменялись. Повышение тока разряда с 1 до 4 А способствовало возрастанию ϵ до 4,3, а $E_{\text{пр}}$ – уменьшению с 8,0·10⁶ В/см до 3,2·10⁶ В/см. Тангенс угла потерь находился в пределах 0,25 – 0,45 и не коррелировал однозначно с величиной I_p . Установлено также, что величина напряжения разряда практически не влияет на электрофизические параметры пленок SiO₂. Повышение температуры подложки с 413 до 613 К способствовало увеличению ϵ с 1,2 до 5,61 а также повышению $E_{\text{пр}}$ с 3,4·10⁶ до 5,2·10⁶ В/см, т.е. улучшению диэлектрических параметров. На тангенс угла диэлектрических потерь температура подложки практически не влияла – $\text{tg}\delta=0,15\text{--}0,18$.

Тонкопленочные покрытия для межуровневого диэлектрика должны обладать высокой адгезией к металлу нижнего уровня, иметь минимальную пористость, обеспечивать конформное

заполнение ступеньки на металле нижнего уровня.

Важным требованием к межуровневому диэлектрику является его низкая пористость. Поэтому было проведено исследование влияния технологических режимов на пористость пленок диоксида кремния.

Для исследования пористости покрытия осаждались на неподвижные подложки из арсенида галлия. Температура подложек составляла 333–353 К. На поверхность диэлектрического покрытия наносилась тонкая пленка из алюминия. Полученная структура подвергалась нагреву при 953 К в течение 5 мин. После охлаждения проводился подсчет количества пор с использованием оптического микроскопа. Результаты измерений представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты исследования пористости покрытий от режимов нанесения

№ обр.	P_{O_2} , Па	P_{SiH_4} , Па	U_a , В	I_p , А	N , $см^{-2}$
1	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	100	1,5	112
2	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	4,0	182
3	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	3,0	73
4	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	3,0	29

Анализ полученных результатов показал, что повышение мощности разряда со 150 до 300 Вт привело к возрастанию пористости с 112 до 182 $см^{-2}$. Это означает, что высокая скорость нанесения способствует росту покрытия с неплотной структурой, что может привести к увеличению числа пор. На пористость оказывает сильное влияние и толщина слоя диэлектрика, о чем свидетельствуют данные по образцам 3 и 4. Увеличение толщины диэлектрика ~ в 2 раза привело к снижению количества пор в 2,5 раза.

Пористость и неоднородная структура пленки диэлектрика может привести к короткому замыканию между нижним и верхним слоем металла. Было проведено исследование влияния режимов нанесения на число короткозамкнутых МДМ структур. Внешний вид тестовой структуры приведен на рисунке 2. Режимы нанесения и результаты измерений приведены в таблице 2.

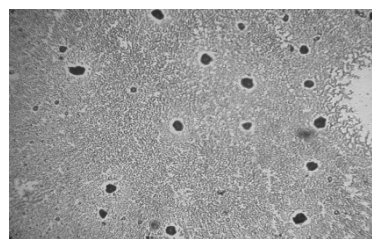
Установлено, что увеличение скорости нанесения и толщины диэлектрика приводит к снижению числа короткозамкнутых структур.

Для определения качества заполнения ступеньки на металле нижнего уровня использовалась тестовая структура, представленная на рисунке 3. В нижнем слое металла с применением обратной фотолитографии осуществлялось формирование проводников первого уровня. После нанесения межуровневого диэлектрика осуществлялось нанесение второго уровня металла. Конфигурация последнего формировалась с использованием металлической маски. Межуровневый диэлектрик наносился на неподвижную

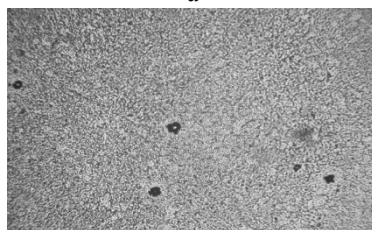
подложку и при вращении последней. Установлено, что во втором случае число короткозамкнутых проводников меньше.

Таблица 2 – Результаты исследования количества процентов незамкнутых (НЗ) МДМ структур от режимов нанесения

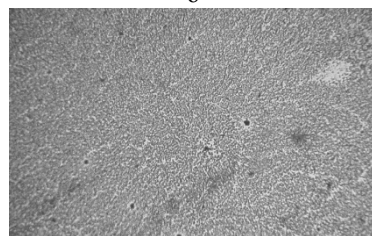
№ обр.	P_{O_2} , Па	P_{SiH_4} , Па	U_a , В	I_p , А	t , мин	НЗ, %
1	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	100	1,5	17	2,1
2	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	4,0	6	0,5
3	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	3,0	10	0,8
4	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$1,85 \cdot 10^{-1}$	75	3,0	22	1,8



а



б



в

а – образец 3; б – образец 3; в – образец 4
Рисунок 1 – Результаты исследования пористости покрытий

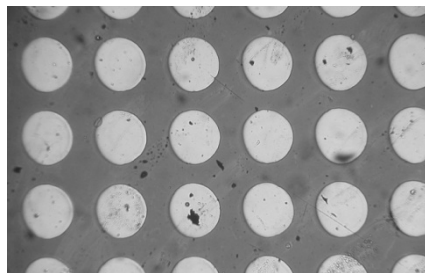


Рисунок 2 – Внешний вид тестовой структуры

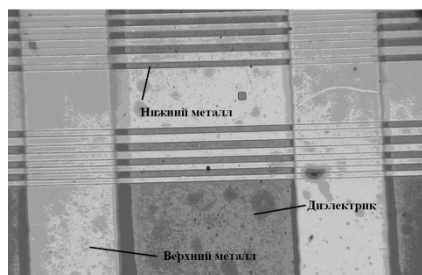


Рисунок 3 – Внешний вид тестовой структуры для исследования заполнения ступеньки на металле нижнего уровня

Для оценки адгезии межуровневого диэлектрика к металлу первого уровня осуществлялось нанесение на подложки из кремния, покрытые пленками алюминия и меди. Установлено, что покрытия имели адгезию, соответствующую уровню 4В–5В ASTM в диапазоне анодного напряжения 55–125 В.

1. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и нанoeлектроники: монография / А.П. Достанко [и др.]; под общей ред. А.П. Достанко, А.М. Русецкого. – Минск: Бестпринт, 2011. – 210 с.

УДК 621.793.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СТЕХИОМЕТРИЮ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Телеш Е.В., Гуревич О.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Диэлектрические пленки из диоксида кремния широко применяются в микроэлектронике и оптике. Например, важной задачей в арсенид-галлиевой технологии является формирование высококачественных диэлектрических слоев различного функционального назначения, т.к. существующие технологии не позволяют получать на поверхности GaAs качественные слои из собственного оксида, в отличие от кремниевой технологии.

Нестехиометрический состав диэлектрика приводит к росту плотности поверхностных состояний на границе раздела, увеличивает токи утечки и частотную дисперсию диэлектрической проницаемости, снижает электрическую прочность. Это приводит к гистерезису $C-V$ характеристик гетероструктур «диэлектрик–GaAs», гистерезису стоковых характеристик и долговременному дрейфу напряжения стока полевых транзисторов. Поэтому проблема формирования диэлектрических слоев стехиометрического состава является весьма актуальной.

Инфракрасный спектральный анализ является одним из основных методов исследования состава пленок диоксида кремния. Критерием стехиометричности пленок является положение в ИК спектре поглощения основной полосы ν_{as} , соответствующей валентным антисимметричным колебаниям $Si \leftarrow O \leftarrow Si$. Чем выше частота колебаний этих связей, тем состав пленки ближе к стехиометрическому.

Исследования стехиометрии пленок SiO_x , полученных ВЧ магнетронным распылением кварца, показали, что основная полоса находилась на частоте 1060 см^{-1} . Пленки наносились на холодную подложку. Отжиг при 1473 К привел к смещению полосы в высокочастотную об-

ласть до 1080 см^{-1} . Повышение температуры подложки с 373 до 723 К при ВЧ диодном распылении кварцевой мишени привело к увеличению частоты с 1057 до 1072 см^{-1} .

Исследование свойств пленок SiO_x , полученных реактивным диодным распылением кремния, показало, что сдвиг основной полосы в высокочастотную область наблюдался при снижении скорости нанесения, уменьшения парциального давления кислорода в рабочем газе и увеличении температуры подложки. Это было связано с увеличением плотности пленок, уменьшением пористости и содержания влаги.

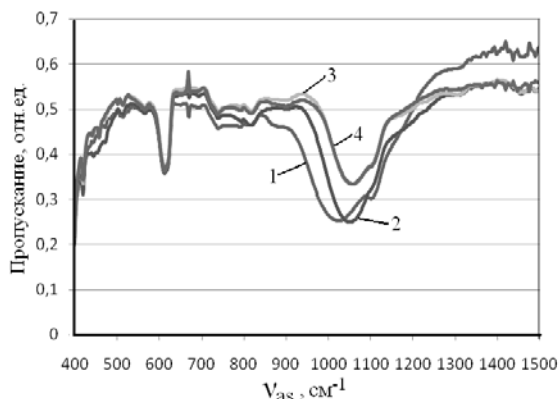
Пленки диоксида кремния, полученные ИЛР кварцевой мишени ионами аргона с энергией 1400 эВ и с ионным током $25 - 40 \text{ мА}$, имели основную полосу поглощения на частоте 1050 см^{-1} . Пленки со скоростью $0,09 - 0,11 \text{ нм} \cdot \text{с}^{-1}$ наносились на холодные подложки. В работе [1] проведено исследование стехиометрии SiO_x -пленок, полученных ИЛР мишени, изготовленной из чистого ($99,9984 \%$) SiO_x . Энергия распыляющих ионов составляла $\sim 4000 \text{ эВ}$, ток ионного пучка – 200 мА , температура подложки – 473 К . Установлено, что положение полосы ν_{as} сложным образом зависит от процентного содержания кислорода в рабочем газе. При оптимальном 8% -м содержании кислорода были получены пленки состава $SiO_{1,92}$.

Таким образом, практически отсутствуют сведения о влиянии на стехиометрию SiO_x -пленок различных технологических факторов (энергия распыляющих ионов, ток компенсатора, температура подложки) при ИЛР кварцевой мишени, а также влияния состава рабочего газа, температуры подложки при реактивном ИЛР мишени из кремния. В данной работе будет ис-

следовано влияние вышеуказанных факторов на положение основной полосы поглощения ν_{as} при ИЛР кварцевой и кремниевой мишеней.

Для формирования SiO_x -пленок использовался ионный источник на основе ускорителя с анодным слоем. В качестве материала мишеней использовались кварц (ТУ 0284409-108-85) и кремний поликристаллический КП-4. Пленки наносились на полированные с двух сторон подложки из монокристаллического кремния КДБ-10. Рабочими газами являлись аргон ГОСТ 10157-73 и кислород ГОСТ 6331-78. Толщину покрытий определяли с помощью микроскопа МИИ-4. Толщина SiO_x -пленок составляла 220...420 нм при реактивном ИЛР и 150...250 нм при ИЛР кварца. ИК спектры измерялись на FTIR спектрометре Vertex 70 в диапазоне 400–1500 см^{-1} . Композиционный индекс x определялся по зависимости, приведенной в работе [1].

На рисунке 1 представлены спектры поглощения пленок, полученных реактивным ИЛР кремниевой мишени при температуре подложки $T_p=313$ К и при разных парциальных давлениях кислорода. На спектре имеются следующие три характерные полосы поглощения: $\nu_{as}=1085$ см^{-1} , соответствующую валентным антисимметричным колебаниям $\text{Si} \leftarrow \text{O} \leftarrow \text{Si}$, $\nu_s=800$ см^{-1} , соответствующую валентным симметричным колебаниям $\text{Si} \rightarrow \text{O} \leftarrow \text{Si}$, $\delta_{as}=450$ см^{-1} , соответствующую деформационным дважды вырожденным колебаниям $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$. Также на спектре имеются четко выраженная полоса с частотой ~ 607 см^{-1} и небольшое поглощение на 1107 см^{-1} . Это полосы поглощения кремния.



1– $P_{O_2}=1,33 \cdot 10^{-2}$ Па; 2– $P_{O_2}=2,66 \cdot 10^{-2}$ Па;
3– $P_{O_2}=3,99 \cdot 10^{-2}$ Па; 4– $P_{O_2}=5,32 \cdot 10^{-2}$ Па

Рисунок 1– ИК-спектры пропускания пленок, полученных реактивным ИЛР кремния

Пленки из диоксида кремния были нанесены при разном составе рабочего газа, температуре подложки, а также при наличии положительного потенциала на мишени. Энергия распыляющих ионов составляла ~ 1950 эВ. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований SiO_x -пленок, полученных реактивным ИЛР кремния

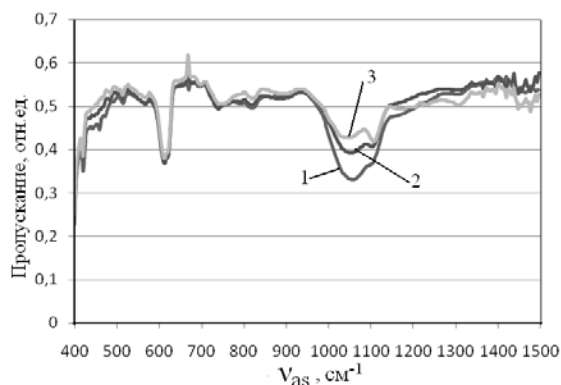
№	V_{H_2} , нм·с ⁻¹	P_{O_2} , Па	T_p , К	U_m , В	ν_{as} , см ⁻¹	x
1	0,63	$1,33 \cdot 10^{-2}$	313	0	1023	1,41
2	0,60	$2,66 \cdot 10^{-2}$	313	0	1053	1,70
3	0,47	$3,99 \cdot 10^{-2}$	313	0	1059	1,77
4	0,40	$5,32 \cdot 10^{-2}$	313	0	1059	1,77
5	0,47	$3,33 \cdot 10^{-2}$	373	0	1060	1,78
6	0,53	$3,33 \cdot 10^{-2}$	473	0	1067	1,83
7	0,47	$3,33 \cdot 10^{-2}$	573	0	1073	1,86
8	0,51	$3,33 \cdot 10^{-2}$	393	35	1062	1,80

С ростом парциального давления кислорода в рабочем газе происходит увеличение композиционного индекса до $x=1,77$. Распыление в чистом кислороде не привело к повышению x .

Повышение температуры подложки T_p стимулирует процесс химического взаимодействия между кремнием и кислородом. Это приводит к формированию SiO_x -пленок с повышенным композиционным индексом (при $T_p=573$ К, $x=1,86$). При этом парциальное давление кислорода было относительно невысоко, что позволяет не снижать скорость нанесения покрытий.

При наличии положительного напряжения на мишени U_m между мишенью и подложкой возникает вторичный плазменный разряд, который также стимулирует взаимодействие между кремнием и кислородом и способствует увеличению частоты основной полосы даже при невысокой T_p .

На рисунке 2 приведены ИК спектры SiO_x -пленок, полученных ИЛР кварцевой мишени при разном ускоряющем напряжении U_a и токе компенсатора I_k . Температура подложки составляла 333–350 К. В таблице 2 приведены режимы нанесения и полученные результаты.



1– $U_a=2$ кВ, $I_k=12$ А; 2– $U_a=3,8$ кВ, $I_k=12$ А;
3– $U_a=3$ кВ, $I_k=10$ А

Рисунок 2– ИК-спектры пропускания пленок, полученных ИЛР кварца

Таблица 2 – Результаты исследований SiO_x-пленок, полученных ИЛР кварца

№	U _{аб} , кВ	I _к , А	V _н , нм·с ⁻¹	P _{O2} , Па	v _{ас} , см ⁻¹	х
1	2,0	12	0,46	–	1060	1,78
2	3,8	12	0,37	–	1055	1,72
3	3,0	10	0,30	–	1050	1,68
4	3,0	13	0,41	–	1054	1,71
5	3,0	12	0,42	6, 65·10 ⁻³	1057	1,74
6	3,0	12	0,39	1, 19·10 ⁻²	1057	1,74
7	3,0	0	0,28	–	1038	1,56

Установлено, что снижение U_а (энергии ионов) способствует повышению частоты основной полосы. К такому же результату приводит и увеличение тока компенсатора. Добавка кислорода в рабочий газ также способствовала улучшению стехиометрии пленок диоксида кремния.

1. Достанко, А.П. Инфракрасный спектральный анализ SiO_x-пленок, полученных ионно-лучевым распылением кварцевых мишеней / А.П. Достанко, Е.С. Акулич, В.Я. Ширипов, С.А.Соболев // Журнал прикладной спектроскопии. – 1989. – Т.50. – 33. – С.436–439.

УДК 004.932.4

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ДЕФЕКТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Тявловский А.К.¹, Жарин А.Л.¹, Гусев О.К.¹, Воробей Р.И.¹, Тявловский К.Л.¹,
Пантелеев К.В.¹, Микитевич В.А.¹, Пилипенко В.А.², Петлицкий А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Минск, Республика Беларусь

В проводимых исследованиях картирование дефектов полупроводниковых пластин выполняется на основе регистрации пространственного распределения контактной разности потенциалов (КРП) поверхности, в том числе с использованием дополнительных воздействий, с помощью электрометрического зонда Кельвина, работающего в сканирующем режиме. Сканирование осуществляется по точкам, вследствие чего визуализированное изображение (карта) состоит из отдельных пикселей. При этом значения КРП либо определяемого посредством ее измерений параметра (поверхностной фотоЭДС, длины диффузии неравновесных носителей заряда, относительной концентрации примеси и т.д.) обозначаются условными индексными цветами или градациями яркости черно-белого изображения. Преобразование электрофизических параметров в индекс цвета либо яркости является линейным, и получаемое таким образом визуализированное изображение в большинстве случаев субъективно воспринимается как слабоконтрастное, что затрудняет выявление дефектов пластины на изображении. Для повышения контрастности изображения требуется его дополнительная обработка, которая может осуществляться на основе следующих механизмов.

1. Линейная растяжка гистограммы.

Алгоритм линейной растяжки заключается в изменении индексов цветов (значений яркости) каждого пиксела изображения на основании вида

$$Z_{new} = a + bZ_{old}, \quad (1)$$

где Z_{new} – новое значение индекса;

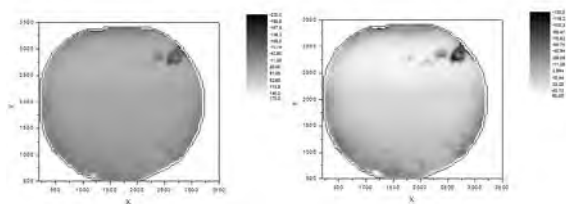
Z_{old} – старое значение индекса;

a, b – константы, выбираемые исходя из условия совпадения минимального Z_{new_min} и максимального Z_{new_max} значений индекса с соответствующими границами гистограммы.

При определении границ гистограммы недостающие крайние столбцы (содержащие от 1 до 5 % общего количества пикселей изображения, в зависимости от задачи картирования) могут быть отброшены без существенного ухудшения качества изображения, если это способствует улучшению контраста.

Благодаря простоте алгоритма операция линейной растяжки может быть легко автоматизирована с использованием простейших программных средств. Так, в экспериментальных работах по картированию дефектов полупроводниковых пластин использовалось программное обеспечение (ПО) на языке LabTalk, работающее в программной среде OriginPro. На рисунке 1(а) показан результат картирования дефектов полупроводниковой пластины с автоматическим назначением минимального и максимального индексов градаций яркости по левой и правой границам гистограммы, при этом индексу 0 оказалось поставлено в соответствие значение КРП минус 230 мВ, а индексу 255 – значение 170 мВ. Анализ гистограммы распределения значений КРП показал, что на диапазоны от минус 230 мВ до минус 130 мВ и от 60 мВ до 170 мВ приходится менее 3 % от общего количества пикселей. На основании этого были назначены новые границы гистограммы, приписывающие индекс 0 значению минус 130 мВ, а индекс 255 – значению 170 мВ (коэффициент растяжки b = 2,105).

Пикселям со значениями КРП менее новой нижней границы присвоен индекс 0, а более новой верхней – индекс 255, что вносит небольшую нелинейность в преобразование. Результат преобразования показан на рисунке 1 (б).



а) До преобразования. б) После преобразования.

а) До преобразования.
б) После преобразования.

Рисунок 1 – Применение линейной растяжки гистограммы для улучшения контраста визуализированного изображения.

Из рисунка 1 видно, что более чем двукратная растяжка гистограммы распределения несколько повысила контрастность изображения, позволив дополнительно выявить потенциально дефектную зону вдоль края полупроводниковой пластины (рисунок 1(б)) и более четко выделить границы наблюдаемых на рисунке 1(а) дефектов. В то же время, вследствие линейности преобразования, эффект повышения контрастности выражен сравнительно слабо, а получение качественных результатов, как показала практика исследований, в ряде случаев требует длительного эмпирического подбора новых границ гистограммы.

2. Нормализация (эквализация) гистограммы.

Данное преобразование предусматривает такое назначение условных индексов цветов либо градаций яркости пикселей, чтобы высота всех столбцов гистограммы была по возможности одинаковой, а гистограмма имела бы вид прямоугольного (равномерного) закона распределения, что достигается за счет неодинаковой ширины столбцов гистограммы. Алгоритм назначения индексов цвета (градаций яркости) при этом должен иметь следующий вид:

- На основании общего количества пикселей визуализированного изображения N и количества используемых индексов m определяется высота столбца гистограммы n_1 для равномерного распределения по формуле

$$n_1 = \text{mod}(N/m). \quad (2)$$

- Весь массив значений КРП (или иного визуализируемого параметра) для каждого пикселя упорядочивается по возрастанию.

- Упорядоченный массив разбивается на последовательность подмассивов одинаковой длины n_1 .

- Всем пикселям в пределах каждого подмассива присваивается одинаковое значение индекса, соответствующее порядковому номеру подмассива.

- Визуализация изображения осуществляется заново с использованием исходного расположения пикселей и вновь назначенных значений их индексов.

Преимуществами данного преобразования является высокая нелинейность при простом алгоритме линейзации и отсутствие потерь информации визуализированного изображения, что указывает на перспективность его применения для повышения контрастности результатов картирования.

3. Применение нелинейной фильтрации.

В общем случае фильтрация визуализированного изображения сводится к вычислению новых значений индекса для каждого пикселя на основании его старого значения и значений индексов пикселей в его окрестности некоторого радиуса r (не менее 1). При линейной фильтрации алгоритм вычисления может быть выражен формулой вида

$$Z_{ij_new} = \sum_{k=i-r}^{i+r} \sum_{l=j-r}^{j+r} a_{kl} Z_{kl_old}, \quad (3)$$

где a_{kl} – весовые коэффициенты.

Коэффициенты a_{kl} назначаются эмпирически с соблюдением следующих правил:

- матрица коэффициентов a_{kl} должна обладать осевой симметрией (быть пространственно инвариантной);

- значения коэффициентов должны убывать по мере удаления от текущего расположения пикселя;

- коэффициент a_{ij} для самого пикселя должен иметь максимальное значение.

Существенным недостатком линейной фильтрации, помимо необходимости эмпирического подбора коэффициентов, является потеря информации о высокочастотных составляющих пространственного спектра изображения и вытекающее из этого сглаживание контуров дефектов, что противоречит задаче картирования. Помимо этого, линейная фильтрация малоэффективна при наличии в окрестности пикселя одиночных выбросов (артефактов), так как при такой фильтрации происходит не их устранение, а только «размытие» по большей площади.

Одним из наиболее простых алгоритмов нелинейной фильтрации, не приводящих к размытию контуров, является алгоритм медианной фильтрации. Согласно этому алгоритму, все значения из окрестности пикселя заданного радиуса r заносятся в одномерный массив длиной $M = (2r+1)^2$ (количество пикселей в окрестности, включая сам фильтруемый пиксель) который затем упорядочивается по возрастанию либо убыванию. После этого пикселю приписывается

значение, оказавшееся в упорядоченном массиве в позиции $M/2$, т.е. в середине массива. Достоинство такого алгоритма, помимо исключения субъективного фактора при выборе весовых коэффициентов и отсутствия «размытия» контуров, заключается в эффективном устранении одиночных выбросов из изображения независимо от их местоположения относительно фильтруемого пикселя.

Наибольшей эффективностью характеризуется алгоритм фильтрации на основе вычисления двумерной корреляционной функции для каждого пикселя изображения и использования то-

чечных отсчетов этой функции в качестве весовых коэффициентов для индексов соответствующих пикселей из окрестности. Данный алгоритм отличает повышенный объем вычислений, что увеличивает время картирования. В то же время, язык программирования LabTalk содержит встроенные средства корреляционной фильтрации, что позволило реализовать данный механизм фильтрации в упоминавшихся экспериментальных исследованиях (в частности, приведенные на рисунке 1 изображения получены с использованием корреляционной фильтрации по окрестности радиусом $r = 3$).

УДК 620.179.11

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА С НЕОДНОРОДНО ЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИКА

Тявловский А.К.¹, Жарин А.Л.¹, Гусев О.К.¹, Тявловский К.Л.¹, Воробей Р.И.¹, Дубаневич А.В.¹, Жуковский П.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Люблинский технический университет
Люблин, Республика Польша

При исследовании диэлектриков зондовыми электрометрическими методами в измерительной схеме присутствуют не две (поверхность зонда и поверхность образца), а четыре поверхности: рабочая поверхность зонда, верхняя и нижняя поверхности диэлектрического образца, верхняя поверхность проводящего держателя образцов, на которой размещается исследуемый диэлектрический образец. При этом понятие работы выхода электрона применимо только к проводящим поверхностям зонда и держателя. Поверхность диэлектрика, в общем случае, имеет фиксированный заряд с поверхностной плотностью σ_0 . При наличии ненулевой КРП между материалами зонда и держателя поверхности последних также будут иметь электрический заряд с поверхностной плотностью σ_P и σ_H , соответственно. Это приводит к возникновению на верхней и нижней поверхностях диэлектрического образца дополнительных наведенных зарядов с плотностью σ' и $-\sigma'$, равных по величине и противоположных по знаку, в соответствии с законом сохранения заряда. Наличие распределенных в пространстве электрических зарядов приводит к возникновению в системе электростатического поля напряженностью E в пространстве между зондом и образцом и E' в толще образца. Схематично описанная физическая модель взаимодействия заряженной поверхности диэлектрика с чувствительными элементами электрометрических средств измерений изображена на рисунке 1, где t – толщина диэлектриче-

ского образца, d – расстояние между поверхностью диэлектрика и электрометрическим зондом.

Полная математическая модель взаимодействия заряженной поверхности диэлектрика с чувствительными элементами электрометрических средств измерений должна учитывать динамический характер измерительного конденсатора C_1 (рисунок 2), расстояние между пластинами d которого изменяется по закону

$$d(t) = d_0 + d_m \sin \omega t, \quad (1)$$

где d_0 – начальный (статический) зазор;
 d_m – амплитуда модуляции зазора;
 ω – круговая частота модуляции.

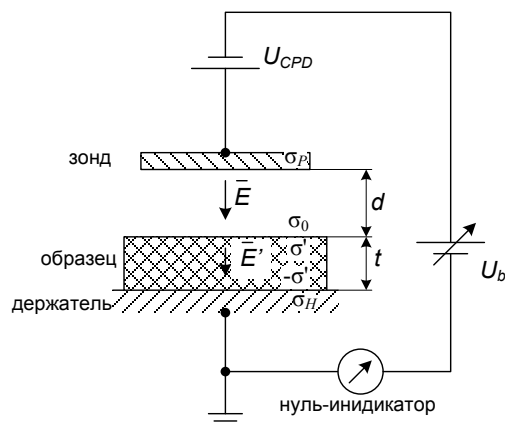


Рисунок 1 – Физическая модель взаимодействия заряженной поверхности диэлектрика с электрометрическим зондом

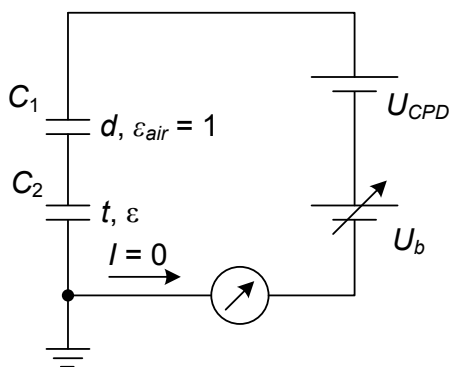


Рисунок 2 – Эквивалентная электрическая схема взаимодействия заряженной поверхности диэлектрика с электрометрическим зондом

Заряд σ_0 на поверхности диэлектрика создает наведенный заряд σ_P на поверхности зонда, компенсируемый, в рамках нулевого метода измерений, за счет работы включенного в цепь обратной связи источника напряжения компенсации U_b . При условии равномерного распределения заряда σ_0 по поверхности диэлектрика последний, в рамках практических измерений, может рассматриваться как бесконечная равномерно заряженная плоскость, силовые линии электрического поля которой параллельны и направлены нормально к плоскости. При этом напряженность электрического поля E и величина наведенного заряда σ_P не будут зависеть от расстояния d между зондом и поверхностью диэлектрика, вследствие чего выходной сигнал не будет изменяться в процессе вращении пластины динамического конденсатора.

При неравномерном распределении заряда по поверхности диэлектрика создаваемое им электростатическое поле является неоднородным в пространстве, что, с учетом конечных размеров электрометрического зонда, приводит к формированию дистанционной зависимости наведенного заряда σ_P и, соответственно, выходного сигнала электрометрического зонда. Про моделируем данную зависимость на примере точечного (много меньшего поперечных размеров зонда) заряда q_S , расположенного по оси зонда на в остальном равномерно заряженной (в частном случае, электронейтральной) плоской поверхности диэлектрика.

Примем сечение электрометрического зонда в виде окружности радиусом R , что соответствует общепринятой практике (рисунок 3). Оценить величину наведенного заряда можно, воспользовавшись методом изображений. Аналогично [1], математическая модель величины суммарного заряда q_P поверхности зонда может быть построена на основе интегрирования наведенной плотности заряда по всей площади зонда:

$$q_P = d(t) \int_0^R \left(\frac{q_S}{(r^2 + (d(t))^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \partial r. \quad (2)$$

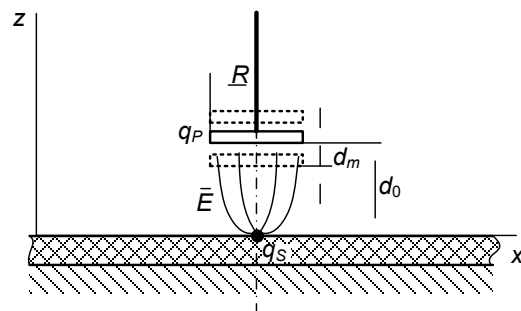


Рисунок 3 – Физическая модель взаимодействия точечного заряда на поверхности диэлектрика с электрометрическим зондом

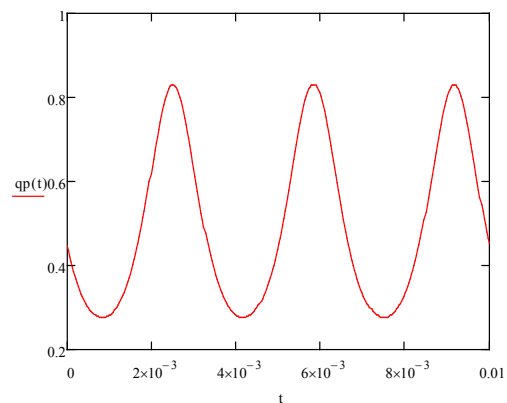


Рисунок 4 – Результат математического моделирования выходного сигнала электрометрического зонда при исследовании неоднородно (точечно) заряженной поверхности диэлектрика

Подставляя (1) в (2), получаем

$$q_P = (d_0 + d_m \sin \omega t) \int_0^R \left(\frac{q_S}{(r^2 + d_0^2 + d_0 d_m \sin \omega t + d_m^2 \sin^2 \omega t)^{\frac{3}{2}}} \right) \partial r. \quad (3)$$

Можно видеть, что уравнение (3) описывает периодическую функцию сложного гармонического состава. Решение (3) в общем виде возможно, однако нецелесообразно вследствие его громоздкости. В то же время, полученное выражение хорошо поддается решению численными методами, например, с использованием программной среды MathCAD. В частности, на рисунке 4 показан пример решения математической модели (3) для электрометрического зонда радиусом 0,5 мм, расположенного на высоте 1 мм от поверхности диэлектрика и вибрирующего с амплитудой 0,3 мм на частоте 300 Гц, представленный в виде графика временной зависимости (осциллограммы) выходного сигнала зонда. Видно, что, в отличие от случая равномерно заряженной

поверхности, выходной сигнал электрометрического зонда содержит значительную по амплитуде переменную составляющую, причем при синусоидальной модуляции зазора в динамическом конденсаторе результирующий сигнал не является синусоидальным, а содержит значительные гармонические искажения. В то же время, полученная в результате моделирования осциллограмма отличается от формы сигнала, получаемого при контроле дефектов поверхностей проводящих и полупроводниковых поверхностей [2]. Это позволяет предполагать возможность различения места локализации дефекта (подложка или диэлектрическое покрытие) в

композитных структурах, к примеру, структурах кремний-диэлектрик, на основе анализа спектрального состава измерительного сигнала.

1. Тявловский, А.К. Математическое моделирование дистанционной зависимости разрешающей способности сканирующего зонда Кельвина // Приборы и методы измерений. – 2012. – № 1(4). – С. 30-36.

2. Tyavlovsky, A. Complex-harmonic analysis of electric circuit containing a vibrating-plate capacitor / A. Tyavlovsky, A. Zharin // Informatyka, Automatyka, Pomiarы w gospodarce i ochronie srodowiska. – 2012. – № 1. – P. 32-35.

УДК 681.7.023.72

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУСТОРОННЕГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДВОЯКОВЫПУКЛЫХ ЛИНЗ

Филонова М.И., Кузнечик В.О., Семенкович В.П., Тищенко А.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В традиционной технологии финишного формообразования высокоточных линз выбор режимов обработки в каждом конкретном случае определяет оператор опытным путем, что приводит к непроизводительным затратам времени и, следовательно, повышает себестоимость продукции.

Отмеченных недостатков можно избежать, если провести предварительный расчет интенсивности съема материала в той или иной зоне детали в зависимости от величины наладочных параметров станка. В основу такого моделирования процесса обработки целесообразно положить гипотезу Ф. Престона, согласно которой производительность обработки пропорциональна при прочих равных условиях параметру $Q = pl$, где p – давление в зоне соприкосновения притирающихся поверхностей инструмента и детали, l – длина пути трения произвольно выбранной на поверхности детали опорной точки A относительно инструмента.

Для определения составляющей l параметра Q найдем линейную скорость скольжения $\vec{v}_{ск}$ опорной точки по формуле

$$\vec{v}_{ск} = \vec{v}_д - \vec{v}_и, \quad (1)$$

где $v_д$ – линейная скорость вращения детали; $v_и$ – линейная скорость движения инструмента, которую можно представить в виде

$$\vec{v}_и = \vec{v}_в - \vec{v}_{вв}, \quad (2)$$

где $v_в$ и $v_{вв}$ – составляющие линейной скорости инструмента, обусловленные его вращательным и возвратно-вращательным движениями; $i = 1, 2$.

Входящие в выражения (1) и (2) линейные скорости представим в виде

$$(3) \quad \begin{cases} \vec{v}_A = \vec{\omega}_д \vec{r}_i \\ \vec{v}_{ив} = \vec{\omega}_и \vec{r}_i \\ \vec{v}_{ик} = \vec{\Omega}_и \vec{r}_i, \end{cases}$$

где $\omega_д$, $\omega_и$ и $\Omega_и$ – скорости вращения соответственно детали, инструмента и возвратно-вращательного движения последнего, причем, согласно [1], $\omega_и = (0,7 \div 0,9) \omega_д$; r_i – радиус кривизны обрабатываемой поверхности.

Выражение для расчета скорости $\Omega_и$ получим из рис. 1, на котором представлена векторная кинематическая схема рабочей зоны устройства для одновременной двусторонней обработки двояковыпуклых линз [2], устанавливаемого на серийные шлифовально-полировальные и полировально-доводочные станки мод. ШП и ПД.

Определим далее составляющую p параметра Q . На рис. 2 представлено распределение давления в зоне контакта детали 1 с инструментом 2 в различных его положениях при возвратно-вращательном движении по обрабатываемой поверхности.

Если принять, что инструмент в процессе обработки не деформируется, то когда он не выходит за край детали, т.е. амплитуда его возвратно-вращательного движения не превышает величины $L_{min} = (d_д - d_и)/2$, где $d_и$ – диаметр инструмента (инструмент в положении I на рис. 2, а), давление по всей поверхности сопряжения притирающихся поверхностей распределено равномерно и принимает значение $p_0 = Q/S_n$, где Q – рабочее усилие, S_n – максимальная площадь сопряжения, равная площади инструмента. Если

же упомянутую амплитуду назначить максимальной $L_{max} = d_d$ (инструмент в положении II на рис. 2, а), то в краевой точке детали давление достигнет максимального значения $p_{max} = Q_b/S_{ед}$, где $Q_b = Q \cos \gamma_d$ – вертикальная составляющая силы Q , $S_{ед}$ – единичная площадь контакта, γ_d – угол раствора линзы.

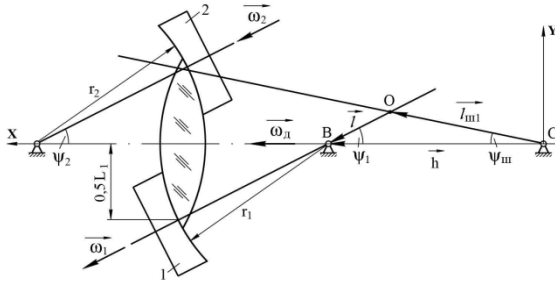


Рисунок 1 – Кинематическая схема рабочей зоны устройства

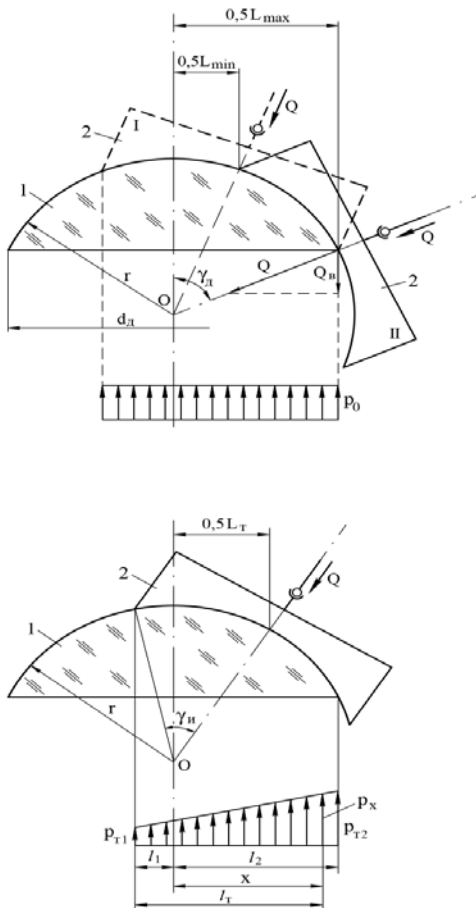


Рисунок 2 – Распределение давления в зоне контакта детали 1 с инструментом 2 при возвратно-вращательном движении по обрабатываемой поверхности а) инструмент в положении I, II; б) положение инструмента в произвольный момент времени

На рис. 2, б приведено положение инструмента в произвольный момент времени, когда его амплитуда возвратно-вращательного движения принимает текущее значение L_T . Будем полагать, что в этом случае эпюра давления в зоне сопряжения имеет трапецевидную форму. Тогда, как следует из анализа рис. 2, б, текущее значение давления p_T на расстоянии x от оси вращения детали можно записать в виде

$$p_T = \frac{p_{T2} - p_{T1}}{l_1 + l_2} l_T, \quad (4)$$

где $p_{T1} = p_0 - \frac{p_0}{L_{max} + L_{min}}$ и $p_{T2} = p_0 - \frac{p_{max}}{L_{max} + L_{min}} (L_T - L_{min})$ – соответственно минимальное и максимальное значения давления в текущей эпюре; $l_1 = r \sin[\gamma_u - \arcsin(L_T/2r)]$ и $l_2 = l_1 + x$ – расстояния от края инструмента, контактирующего с деталью, до соответственно оси вращения последней и до рассматриваемой точки с текущим давлением p_T ; x – расстояние от оси вращения детали до точки с давлением p_T , γ_u – угол раствора инструмента; $l_2 = 0,5d_d$.

При записи аналитических выражений для p_T , p_{T1} и p_{T2} исходили из следующих соображений. Поскольку значение p_{T1} не должно быть больше p_0 , то можно считать, что оно уменьшается на некоторую величину $\frac{p_0}{L_{max} + L_{min}} (L_T - L_{min})$ в виде значения p_0 приходящегося на единицу длины части амплитуды $(L_T - L_{min})$, в пределах которой происходит изменение эпюры давления, и умноженного на переменную составляющую $(L_T - L_{min})$, отображающую функциональную зависимость p_{T1} от амплитуды возвратно-вращательного перемещения инструмента.

По аналогичной схеме записано соотношение для p_{T2} .

Равенство для текущего давления p_T представляет собой переменную часть эпюры давления $(p_{T2} - p_{T1})$, умноженную на изменяющуюся величину l_T и отнесенную к длине сечения зоны контакта инструмента и детали плоскостью, содержащей их оси вращения.

Используя выражение (4), выполнили расчет параметра Q для линзы с $R_1 = 71,26$ мм, $R_2 = 540,58$ мм и $d_d = 90$ мм в зависимости от изменявшихся значений диаметра инструмента, величины амплитуды его возвратно-вращательного движения, а также скоростей вращения детали и входного звена исполнительного механизма базового станка. Данные получены для поверхности с $R_1 = 71,26$ мм.

С целью проверки соответствия результатов расчетов реальным закономерностям проводили полирование выпуклой сферической поверхности $R_1 = 71,26$ мм линзы диаметром 90 мм, изготовленной из оптического стекла марки К8, на

устройстве для двусторонней обработки двояковыпуклых линз, смонтированном на базовом станке мод. БПД-100. Выполненные теоретико-экспериментальные исследования закономерностей двусторонней обработки двояковыпуклых линз позволяют сделать следующие выводы:

а) из наладочных параметров рычажных шлифовально-полировальных и полировально-доводочных станков для управления процессом формообразования наиболее выгодно изменять амплитуду возвратно-вращательного перемещения инструмента и его диаметр.

б) с целью уменьшения величины локальных погрешностей на поверхности линзы такие наладочные параметры технологического оборудования, как скорости вращения входного звена его исполнительного механизма и детали, следует устанавливать минимальными. При этом для

усиления съема припуска в центральной зоне обрабатываемой поверхности необходимо использовать диаметр инструмента $d_{и} = (0,8 - 0,85)d_{д}$, а амплитуду его колебательных движений L назначать $(0,6 - 0,62)d_{д}$. Для более интенсивной обработки периферии детали целесообразно применять $d_{и} = (0,96 - 1,0)d_{д}$ и $L = (0,77 - 0,8)d_{д}$.

1. Бардин А.Н. Технология оптического стекла. М., 1963.
2. Устройство для одновременной двусторонней обработки оптических деталей с выпуклыми поверхностями: пат. 9420 РБ, МПК В24В 13/00 / А.С. Козерук, М.И. Филонова, В.Ф. Климович, И.В. Рутик, Е.Н. Горбаченя, опубл. 2007.06.30.

УДК 621.357.7

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Хмыль А.А., Кушнер Л.К., Кузьмар И.И., Василец В.К., Дежкунов Н.В.

УО «БГУИР»

Минск, Республика Беларусь

В современной технологии радиоэлектронного приборостроения широко используются функциональные электрохимические покрытия. Однако многие существующие процессы их формирования на постоянном токе малопродуктивны. В электрохимической практике для интенсификации процесса электроосаждения успешно применяются ультразвуковые колебания (УЗК) низкой частоты, что позволяет повысить скорость обновления электролита у катода, вследствие чего увеличивается коэффициент диффузии ионов и уменьшается толщина диффузионного слоя, что приводит к значительному увеличению предельной плотности тока [1].

Представлены результаты исследования влияния ультразвука различной интенсивности на функциональные свойства никелевых покрытий, модифицированных частицами ультрадисперсного алмаза (УДА), и покрытий сплавом олово-висмут.

Электроосаждение и контроль режимов электролиза осуществляли с применением разработанных в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники высококачественного источника питания гальванической ванны импульсно-реверсным током ИП 15-5 и ультразвуковой экспериментальной установки, включающей генератор УЗГ53-22 с пьезокерамическим излучателем, работающей на частоте 38 кГц и обеспечивающей акустическую мощность 15 Вт и интенсивность УЗК до 2,1 Вт/см² (рисунок 1) [2].

Электроосаждение никелевых покрытий проводили в электролите Уоттса. Введение в электролит предварительно диспергированной в ультразвуке суспензии УДА позволяет формировать композиционные электрохимические покрытия (КЭП) с содержанием дисперсной фазы до 1,2 масс.%. Покрытие сплавом олово-висмут формировали из сульфатного электролита.

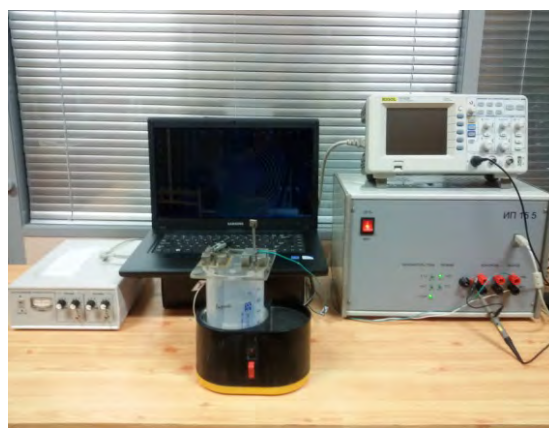


Рисунок 1 - Программно-аппаратный комплекс, включающий управляющий компьютер, программно управляемый источник стабилизированного импульсного тока (напряжения), осциллограф и макет ультразвуковой ванны

Формирование никелевых КЭП в ультразвуковом поле позволило повысить допустимую плотность тока и равномерность, устранить пит-

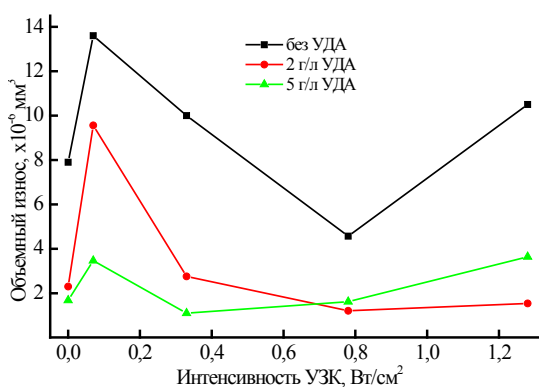
тинг, уменьшить размер зерна и наводороживать осадков.

Помимо того, что ультразвук позволяет качественно диспергировать и снизить агломерацию наночастиц, использование его при электроосаждении способствует инкорпорации и более равномерному распределению хорошо диспергированных частиц в покрытии. Осаждение в ультразвуковом поле приводит к получению мелкокристаллических и более однородных по размеру зерна осадков.

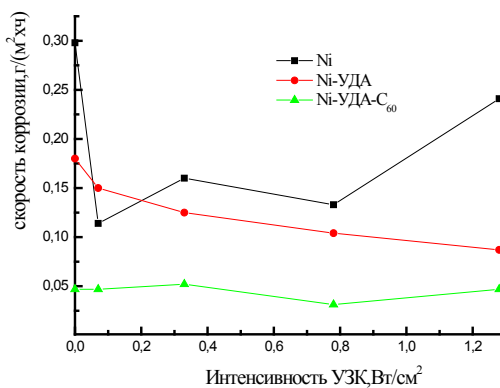
Включение УДА в электроосажденные никелевые покрытия приводит к увеличению твердо-

сти, износо- и коррозионной стойкости. Использование ультразвука при электроосаждении КЭП ведет к дальнейшему повышению прочностных и защитных свойств.

Микротвердость покрытий, сформированных при воздействии ультразвука, возрастает на 13,5-35%. При интенсивности ультразвука более $0,1 \text{ Вт/см}^2$ наблюдается значительное повышение износостойкости как никелевых, так и композиционных покрытий (рисунок 2). Величина коэффициента трения мало зависит от интенсивности ультразвука.



а



б

Рисунок 2 – Влияние условий формирования на износостойкость (а) и коррозионную стойкость (б) покрытий на основе никеля

Как показали коррозионные испытания, никелевые и композиционные покрытия имели склонность к точечной коррозии, в то время как осадки, полученные при воздействии ультразвука, отличались более стабильным поведением. С ростом интенсивности УЗК характерно снижение скорости коррозии, что обусловлено меньшей пористостью и более высокой компактностью осадков и хорошо согласуется с теорией о том, что рафинирование зерна ультразвуком приводит к меньшей пористости электроосажденных покрытий. Наибольшей коррозионной стойкостью обладают поликомпозиционные покрытия никель-УДА-фуллерены (C_{60}).

При формировании покрытий сплавом олово-висмут использование ультразвука позволяет повысить допустимую плотность тока, снизить в 2-3 раза пористость осадков, уменьшить величину контактного электросопротивления, улучшить защитные свойства и паяемость, которая сохраняется длительное время (рисунок 3, таблица 1).

Установлено, что использование ультразвуковых колебаний интенсивностью $1,02 \text{ Вт/см}^2$ способствует сохранению высоких показателей смачиваемости припоем поверхности покрытий сплавом олово-висмут после длительного хране-

ния в условиях лаборатории (коэффициент растекания припоя $K_p=91,81-93,18 \%$). Ультразвук позволяет увеличить содержание висмута в сплаве, тем самым улучшая свойства покрытий при длительном хранении. Воздействие ультразвука на процесс формирования приводит к повышению значения контактного электросопротивления покрытий. Однако в процессе хранения этот показатель улучшается до уровня покрытий, полученных без применения ультразвука.

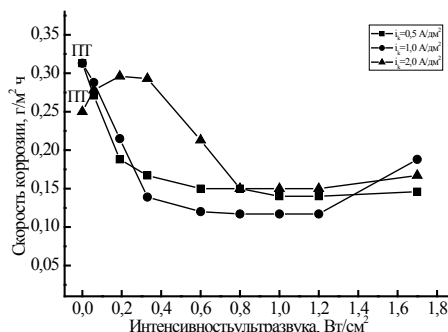


Рисунок 3 – Влияние условий формирования на скорость коррозии покрытий сплавом олово-висмут

Таблица 1 – Влияние ультразвука на свойства свежесоздаваемых (1) покрытий сплавом олово-висмут и после естественного хранения в течение 12 месяцев в условиях лаборатории (2) (Припой ПОС-61)

Режим электролиза	Без воздействия УЗК				Bi , масс. %	УЗК $I=1,02 \text{ Вт/см}^2$				
	K_p , %		R_k , МОм			K_p , %		R_k , МОм		Bi , масс. %
	1	2	1	2		1	2	1	2	
$i_k=0,5 \text{ А/дм}^2$	95,28	68,19	1,53	-	0,08	95,87	92,94	6,31	1,68	0,32
$i_k=1,5 \text{ А/дм}^2$	93,76	69,40	2,29	-	0,15	92,44	93,18	3,01	1,76	0,50
$i_k=2,5 \text{ А/дм}^2$	87,24	64,37	2,81	-	0,82	94,54	91,81	8,17	2,50	0,51

1. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. Учебник для химико-технол. специальностей вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Выш. Школа», 1975.
2. Дежкунов, Н.В. Оборудование для ультразвуковой интенсификации гальванических техпроцессов / Н.В. Дежкунов [и др.] // Ма-

териалы докладов III РНТС «Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий», БГТУ, Минск, Беларусь. - Минск: БГТУ, 2013. – С. 82–86.

УДК 539.2:669.(6–8)

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА $Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}$ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ СВИНЦОМ

Шепелевич В. Г.

Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

Бинарная эвтектика системы висмут-олово, а также сплавы, близкие по составу к ней, находят широкое применение в различных отраслях промышленности, например, в качестве припоев [1, 2]. Для улучшения эксплуатационных характеристик эвтектики проводят дополнительное легирование разными элементами. В последние десятилетия получило развитие высокоскоростное затвердевание, при котором скорость охлаждения жидкой фазы выше 10^5 К/с . Высокоскоростное затвердевание приводит к формированию структуры, которую невозможно получить с помощью традиционных технологий синтеза и обработки [3]. В связи с этим важное прикладное и научное значение имеют исследования влияния свинца на микроструктуру сплава $Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}$ с целью создания новых легкоплавких сплавов.

Сплавы $(Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}) - x \text{ мас. \% Pb}$ (в дальнейшем $(BiSn)_{100-x}Pb_x$, $x = 2, 4$ и 8) изготовлены из компонентов, чистота которых выше 99,99%. Капля расплава массой $\approx 0,2 \text{ г}$ инжигировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра, где она затвердевала в виде фольги. Толщина исследуемых фольг сплава составляла 40 - 70 мкм. Микроструктура быстрозатвердевших сплавов исследована с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1455VP. Определение параметров микроструктуры осуществлялось методом случайных секущих. Текстура фольг исследована

методом обратных полюсных фигур на дифрактометре ДРОН-3.

Сторона фольги A , находящаяся в контакте с кристаллизатором при затвердевании, имеет зеркальный вид. Противоположная сторона фольги B имеет бугристую структуру, на ней наблюдаются выступы и впадины. На дифрактограмме быстрозатвердевших сплавов $(BiSn)_{100-x}Pb_x$ наблюдаются дифракционные линии висмута, β -олова и ϵ -фазы (Pb_2Bi). Таким образом, исследуемые быстрозатвердевшие сплавы $(BiSn)_{100-x}Pb_x$, ($x = 2, 4$ и 8) являются трехфазными. Изображения микроструктуры быстрозатвердевшей фольги и массивного образца, полученного при скорости охлаждения 10^2 К/с , сплава $(BiSn)_{92}Pb_8$ приведены на рисунке 1. Наблюдаются белые, серые и черные области. Рентгеноспектральный анализ показал, что черные области соответствуют олову, серые – висмуту, белые – ϵ -фазе.

Значения объемной доли олова V_{Sn} и удельной поверхности межфазной границы олова с висмутом и ϵ -фазой S_{Sn} измерены методом случайных секущих. Проведено определение V_{Sn} и S_{Sn} сплава $(BiSn)_{96}Pb_4$ в слоях фольги, параллельных ее поверхности. Толщины и длины слоев равны 3 и 27 мкм соответственно, а само изображение поперечного сечения фольги получено через 1 сутки после ее изготовления. Графики зависимостей $V_{Sn}(x)$ и $S_{Sn}(x)$ от расстояния слоев x до поверхности фольги A представлены на рисунке 2.

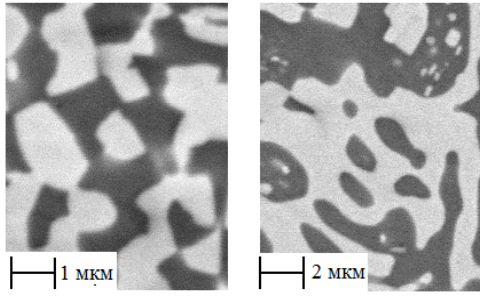


Рисунок 1. Микроструктура быстрозатвердевшей фольги (а) и массивного образца (б) сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$

В пределах погрешностей измерения данные параметры остаются постоянными по мере увеличения x , т.е. по мере перемещения фронта кристаллизации от поверхности A к поверхности B сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$, что указывает на однородное распределение фаз в быстрозатвердевшем сплаве.

Образование такой структуры обусловлено тем, что сверхвысокие скорости охлаждения жидкой фазы приводят к ее значительному переохлаждению. Переохлажденный расплав является пересыщенным жидким раствором [4]. Известно [5], что в расплавах в области температур, близких к эвтектическим, образуются кластеры со структурой, близкой к структуре кристаллических фаз, существующих в данной системе. Кластеры при температурах ниже эвтектической растут со временем, а затем кристаллизуются. Так как процесс образования кластеров происходит случайно во всем объеме переохлажденного и пересыщенного жидкого раствора случайно, это и обуславливает однородность распределения кристаллических фаз в быстрозатвердевшем сплаве. Однородность распределения фаз в фольгах имеет важное практическое значение, например, при изготовлении припоев [1], а также элементов различных технических устройств.

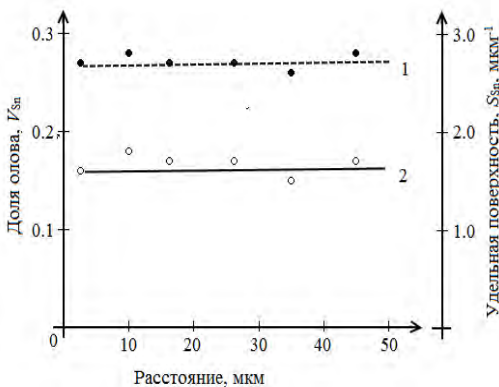


Рисунок 2. Зависимости V_{Sn} (1) и S_{Sn} (2) от расстояния до поверхности A быстрозатвердевшей фольги сплава $(\text{BiSn})_{96}\text{Pb}_4$

Таблица 1. Значения полюсных плотностей дифракционных линий фаз, входящих в состав быстрозатвердевших фольг сплавов $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$

Фаза	Дифракционные линии	Концентрация свинца, мас. %		
		2	4	8
Bi	$10\bar{1}\bar{2}$	4,5	4,9	5,8
	$10\bar{1}\bar{4}$	0,3	0,7	0,3
	$11\bar{2}\bar{2}$	0,1	0,5	0,3
	$20\bar{2}\bar{0}$	0,2	0,3	0,2
	$20\bar{2}\bar{2}$	0,2	0,3	0,5
	$21\bar{3}\bar{0}$	0,4	0,5	0,3
	$21\bar{3}\bar{2}$	0,1	0,2	0,3
Sn	0009	0,1	0,6	0,3
	200	5,3	4,6	5,4
	101	0,3	0,4	0,1
	220	0,2	0,3	0,2
	211	0,1	0,4	0,1
	301	0,1	0,2	0,2
ϵ -фаза	112	0,0	0,1	0,0
	$10\bar{1}\bar{0}$	3,5	3,2	3,7
	0002	1,4	0,8	0,4
	$10\bar{1}\bar{1}$	0,4	0,8	0,4
	$10\bar{1}\bar{2}$	0,2	0,3	0,1
	$11\bar{2}\bar{0}$	0,3	0,1	0,1
	2021	0,3	0,3	0,5

Фазы сплавов $(\text{BiSn})_{100-x}\text{Pb}_x$ обладают анизотропией физических свойств. Поэтому физические свойства фольг исследуемых сплавов зависят от кристаллографической ориентации зерен. Исследование текстуры фольг проведено через 1 сутки после их изготовления. Полюсные плотности дифракционных линий фаз, входящих в состав сплавов, представлены в таблице 1. Максимальными значениями полюсных плотностей принадлежат дифракционным линиям $10\bar{1}\bar{2}$ висмута, 200 олова и $10\bar{1}\bar{0}$ ϵ -фазы. Таким образом, в быстрозатвердевших фольгах сплавов формируются текстуры $(10\bar{1}\bar{2})$ висмута, (100) олова и $(10\bar{1}\bar{0})$ ϵ -фазы. Формирование текстуры $(10\bar{1}\bar{2})$ в висмуте обусловлено ориентацией ковалентных сил связей по отношению направления теплового потока. Формирование текстуры (100) наблюдалось ранее в фольгах чистого олова и его сплавах. Ее образование вызвано преимущественным ростом зерен, у которых наиболее плотноупакованные плоскости располагаются перпендикулярно теплому потоку [3].

Время выдержки при комнатной температуре и концентрация свинца в исследуемых сплавах влияет на параметры микроструктуры фольг. Увеличение времени выдержки вызывает укруп-

нение выделений фаз. Определены зависимости, d_{Sn} и S_{Sn} от концентрации свинца. С увеличением концентрации свинца объемная доля олова V_{Sn} и средняя длина хорд на сечениях олова d_{Sn} возрастают, а удельная поверхности межфазной границы олова с другими фазами S_{Sn} убывает.

1. Петрунин Е.И. Справочник по пайке. М: Машиностроение, 2003. – 480 с.

2. Глазков А.А., Саксаганский Г.А. Вакуум электрофизических установок и комплексов. М: Энергоатомиздат. 1985. –184 с.
3. Шепелевич В.Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы. Минск: БГУ, 2015. – 192 с.
4. Таран Ю.М., Мазур В.Н. Структура эвтектических сплавов. М: Металлургия, 1978. – 216 с.
5. Баум Б.А. Металлические жидкости. М: Наука, 1979. –120с

УДК 621.81

КИНЕМАТИКА ШАРИКА ПРИ КОНТРОЛЕ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Щетникович К.Г., Бодяк Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Контроль геометрических параметров шариков в подшипниковой промышленности осуществляется на приборах с ручным перемещением шарика на измерительной позиции и механическим вращением от приводного устройства [1]. В приборах модели 262М (рисунок 1) контролируемый шарик 1 базируется на трех точечных упорах: нижнем 2, боковом 3 и заднем 4.

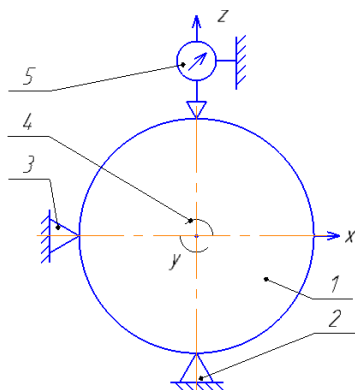


Рисунок 1 – Схема прибора модели 262М

На вертикальной оси нижнего упора расположен микрометр 5, наконечник которого касается шарика. Измерение диаметра производится в разных сечениях шарика при вращении его вручную относительно двух взаимно перпендикулярных осей x и y . Равномерность расположения точек контроля на сферической поверхности и усилие прижима шарика к упорам определяется квалификацией контролера.

В автоматизированных приборах шарик на измерительной позиции вращается вокруг горизонтальной и вертикальной осей под действием

ведущего обрезиненного валика, совершающего вращательное и поступательное движение. Однако, привод вращения шарика не позволяет получить его закономерное движение, которое давало бы возможность ощупывать измерительным наконечником сферическую поверхность с заданным смещением следов контакта. Необходимая кинематика шарика может быть достигнута при управляемом движении ведущего валика, согласованного с диаметром контролируемого шарика.

Наиболее просто равномерное нанесение следов контакта от измерительного наконечника достигается при дискретном вращении шарика вокруг оси x и z (рисунок 2). Вначале контролируемый шарик 1 совершает поворот на 360° вокруг оси x (рисунок 2, а). Приводной валик 2 должен при этом повернуться на угол φ , определяемый соотношением:

$$\varphi = \frac{2\pi D}{d(1 - \varepsilon)},$$

где D – диаметр шарика, d – диаметр валика, ε – коэффициент проскальзывания валика по шарика.

После прекращения вращения шарика вокруг оси x он поворачивается вокруг оси z на заданный центральный угол α (рисунок 2, б). Приводной валик должен при этом переместиться вдоль горизонтальной оси на расстояние l , несколько превышающее длину дуги AB :

$$l = \frac{D\alpha}{2(1 - \varepsilon)}.$$

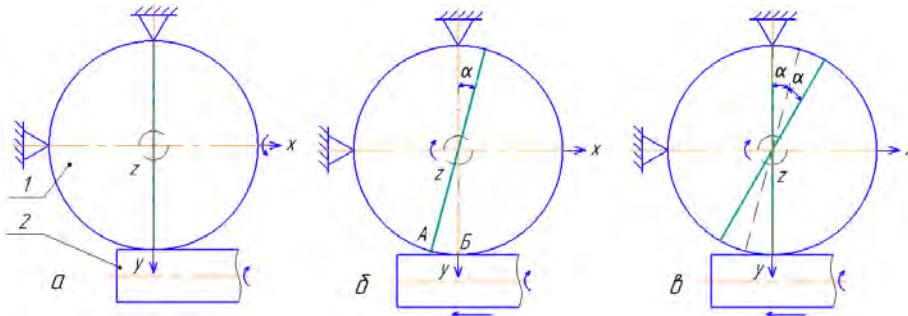


Рисунок 2 – Расположение следов контакта при дискретном вращении шарика

Затем вращательное и поступательное движения приводного валика повторяются и после каждого цикла перемещений на шарике от измерительного наконечника появляется новый меридианный след, смещенный относительно старого на угол α (рисунок 2, в). Общее число циклов n составит:

$$n = \frac{\pi}{\alpha} - 1.$$

Суммарный путь L поступательного перемещения приводного валика, определяющий его минимальную длину составит:

$$L = \frac{D\alpha}{2(1-\varepsilon)} \left(\frac{\pi}{2} - 1 \right) \approx \frac{\pi D}{2(1-\varepsilon)}.$$

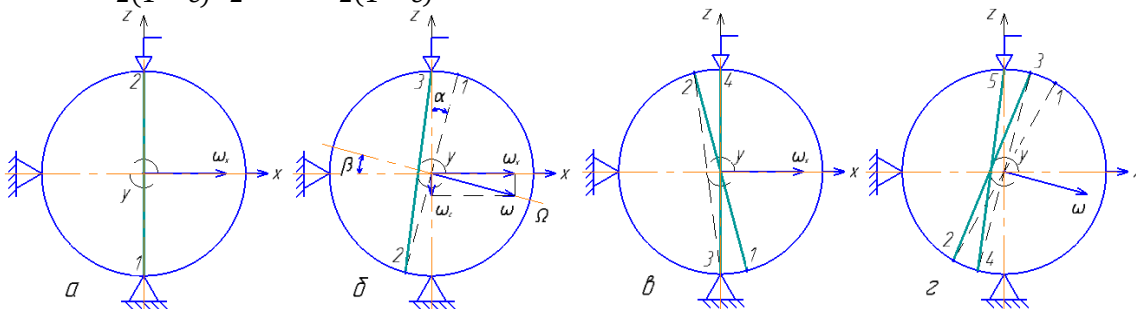


Рисунок 3 – След контакта от измерительного наконечника при непрерывном вращении шарика

Следующую половину оборота шарик совершает вокруг наклонной оси Ω (рисунок 3, б). Точка контакта с измерительным наконечником смещается в положение 2, а точка начального контакта в положение 1, диаметрально противоположное точке 2. Из рисунка 3, б видно, что угловое смещение следа за один цикл непрерывного вращения шарика измеряется центральным углом α , величина которого в два раза больше угла β наклона оси Ω к горизонтальной оси x .

При постоянной угловой скорости вращения шарика вокруг горизонтальной оси ω_x наклонное положение оси Ω обеспечивается дополнительным вращением шарика вокруг вертикальной оси z с угловой скоростью ω_z :

$$\omega_z = \omega_x \cdot \tan \beta = \omega_x \cdot \tan \frac{\alpha}{2}.$$

Модуль вектора результирующей угловой скорости ω определяется из векторного треугольника:

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_z^2} = \frac{\omega_x}{\cos \beta}.$$

Дискретное движение шарика с остановками замедляет измерительный процесс, поэтому в ряде случаев предпочтительнее непрерывное вращение контролируемого шарика. Один из возможных вариантов кинематики шарика в этом случае представлен на рисунке 3 (приводной валик, расположенный перед шариком, не показан). Вначале шарик поворачивается на угол 180° вокруг горизонтальной оси x и точка начального контакта с измерительным наконечником перемещается по меридиану в крайнее нижнее положение 1 (рисунок 3, а).

Время t_1 вращения шарика вокруг горизонтальной оси составит:

$$t_1 = \frac{\pi}{\omega_x},$$

а время t_2 вращения вокруг оси ω будет несколько меньшим:

$$t_2 = \frac{\pi}{\omega}.$$

Суммирование времен t_1 и t_2 определит время T одного цикла движения шарика:

$$T = t_1 + t_2 = \frac{\pi}{\omega_x} \left(1 + \cos \frac{\alpha}{2} \right).$$

Число m циклов, достаточное для покрытия сеткой следов от контакта с измерительным наконечником всей сферической поверхности (рисунки 3, в, г) составит:

$$m = \frac{\pi}{\alpha} - 1.$$

Для реализации указанной кинематики шарика приводной валик должен вращаться с угловой скоростью ω_B определяемой выражением:

$$\omega_{\text{в}} = \omega_x \frac{D}{d(1 - \varepsilon)}.$$

Периодически, через время t_1 , приводной валик в течение времени t_2 совершает поступательное движение вдоль оси с линейной скоростью V , определяемой зависимостью

$$V = \frac{\omega_z D}{2(1 - \varepsilon)}.$$

Перемещение валика за время t_2 составит:

$$l = V \cdot t_2 = \frac{\pi D}{2(1 - \varepsilon)} \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Общее расстояние, на которое переместится валик при малом угле α , будет равно:

$$L = ml \approx \frac{\pi^2 D}{2\alpha(1 - \varepsilon)} \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Дискретное движение шарика может быть использовано при стационарных измерениях геометрических параметров шарика в заранее определенных сечениях. Непрерывное вращение шарика применяется при постоянной регистрации его геометрических характеристик с заданным угловым смещением контролируемых точек. Требуемая кинематика обрезаемого валика обеспечивается регулируемым электроприводом, сопряженным с ЭВМ.

1. Ящерицин, П.И. Современные методы и средства контроля качества деталей / П.И. Ящерицын, Л.А. Олендер, Э.Л. Нехамкин. – Минск: Беларусь, 1975. – 200 с.

**Секция 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ И ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ
ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 006.065:658.62.018.012

**ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ФИЗИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

Хорлоогийн А.С., Серенков П.С.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Сегодня, формирование организационно-технических средств, методов, технологий, среди которых все большее место занимает система «человек-тренажер-среда» происходит без системного подхода в отношении проектирования и организации такого рода систем. Поэтому именно анализ установившейся практики в областях, где ключевое место занимают системы физического совершенствования человека, позволяет выявить закономерности, сформировать определенные знания об исследуемых объектах (системах управления физической подготовкой).

Система управления физической подготовкой является по сути системой поддержки принятия решений (СППР), ориентированной на тренера, педагога и инженера, и призванная помочь им в достижении поставленных целей клиента - требуемого физического состояния с учетом его функциональных показателей. Работа системы рассматривается с позиций СТБ ISO 9000 как проект, т.е. как уникальный процесс, соответствующий требованиям, направленный на достижение конкретных целей клиента, включающий ограничения по срокам, стоимости и ресурсам.

В Республике Беларусь существуют различные организации, где процесс формирования физического совершенствования человека является установившейся практикой, которая функционирует на протяжении десятков лет и которая совершенствовалась под воздействием различных факторов. Явным примером служит организационно-техническая составляющая системы физической и профессионально-прикладной подготовки военнослужащих граждан Вооруженных Сил Республики Беларусь.

В результате анализа системы физической подготовки для прохождения службы в различных военных частях и обучении в учреждениях образования по отдельным военно-учетным специальностям были выявлены основные организационные этапы:

1. Организация отбора и распределения по родам войск.
2. Идентификация соответствующих требований подготовки в зависимости от требований к функциональному и физическому состоянию человека.
3. Организация предварительной физической и профессионально-прикладной подготовки.

Для каждого организационного этапа существует своя структура достижения поставленных целей. На входе каждого этапа формируется человек с набором определенных показателей и в зависимости от этого набора показателей перед ним ставятся цели, которые и определяют организацию его физической и профессионально-прикладной подготовки:

1. Организация отбора и распределения по родам войск:
 - 1.1 Определение кандидатов для прохождения воинской службы (контрактные и неконтрактные условия)
 - 1.2 Определение рода войск в соответствии с требованиями
2. Идентификация соответствующих требований:
 - 2.1 Определение требований в зависимости от поставленных задач
 - 2.2 Определение комплекса средств и методов для достижения поставленных задач
3. Организация предварительной подготовки:
 - 3.1 Планирование
 - 3.2 Обеспечение
 - 3.3 Подготовка
 - 3.4 Контроль и учет

Фактически система организации отбора распределения по родам войск является системой определения состояния человека КАК ЕСТЬ, поступившего на вход этой системы. На выходе получаем оценку его функционального и физического состояния (прошел или не прошел отбор) и предъявляемые требования к его дальнейшей физической и профессионально-прикладной подготовки при прохождении отбора для несения военной службы или обучения по отдельным военно-учетным специальностям.

Таким образом, формируется система сбора и анализа данных, которая идентифицирует «фактические данные» для системы поддержки принятия решений, выстраиваемой по аналогии с системой соответствующей требованиям СТБ ISO 9001.

Однако необходимо отметить, что управление и организация процессом физического совершенствования в рамках данной системы осуществляется в условиях полного (тотального) управления, то есть человек (военнослужащий), не является звеном управления ни на каком-либо

этапе, его влияние на управленческие решения не осуществляется, он не потребитель результата процесса физического совершенствования. Фактически он является материалом для обработки, а результат оценивается по показателям физического совершенствования. С учетом того, что оценка достижения результата физической подготовки осуществляется по комплексу показателей, определение которых возможно не только инструментальными методами, но и экспертными, возникает риск не достижения удовлетворенности результатом подготовки [1].

С другой стороны, существует категория людей где также массового осуществляется физическая подготовка в условиях управления, также достаточно хорошо развита система управления и организации процесса физического совершенствования. Однако, потребителем данной услуги является непосредственно сам человек и его влияние на цели физического совершенствования достаточно сильное.

К этой категории относятся студенты высших учебных заведений, где осуществляется массовая физическая подготовка при чем как с учетом требований учебной программы (учебные группы), так и с учетом требований самих студентов (группы дополнительных секционных занятий).

Нами было проведено исследование с целью повышения эффективности процесса физического совершенствования студентов для выявления основных требований к системе организации и управления процессом физического совершенствования.

Исследование проводилось на базе кафедры физической культуры БНТУ совместно с преподавателями этой кафедры и включало в себя проведение эксперимента.

Основными этапами эксперимента были:

1. Формирование групп студентов в зависимости от программы физического совершенствования.
2. Выделение в группах подгрупп по признаку физического состояния.
3. Организация физической подготовки в каждой группе с учетом целей физического совершенствования и физического состояния студентов.

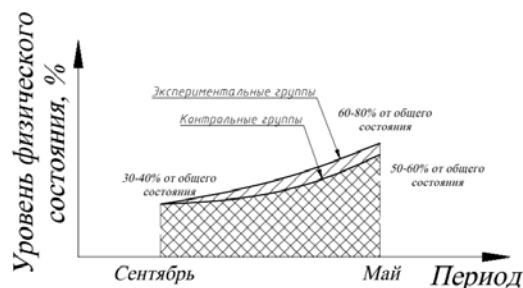
Было сформировано 6 групп обследуемых – 4 экспериментальных: достижение определенных целей совершенствования обеспечивалось корректировкой предложенной методики тренировки организационными средствами (идентификация и анализ целей, разработка типовой программы физической подготовки); и 2 контрольных: повышение уровня физической подготовленности и функционального состояния без влияния предложенных организационно-технических средств и методов.

В эксперименте было проведено два комплексных тестирования, в ходе первого тестирования (сентябрь) был выявлен исходный уровень физического развития, физической и функциональной подготовленности студентов. Второе итоговое тестирование было проведено через год (май), с целью выявления эффективности предложенной программы тренировки средствами тренажерной подготовки.

На заключительном этапе эксперимента был проведен анализ динамики изменений показателей физической подготовленности и функционального состояния участников эксперимента.

В соответствии с целью и задачами в исследовании были использованы экспериментально-эмпирические методы и методы математической статистики [2].

В результате эксперимента было установлено, что экспериментальные группы в среднем достигали поставленных целей быстрее контрольных на 15% (рисунок).



Достижение цели по уровню физического состояния

В первую очередь это обусловлено системным подходом к процессу предоставления услуги, который подразумевал обеспечение требуемых показателей уже на стадии проектирования процесса физического совершенствования за счет:

1. анализа и идентификации целей физического совершенствования,
2. разработки типовой программы физической подготовки, составленной с использованием предложенной нами «механистической» модели тренировочного процесса [3].

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: X 89 Тексты лекций. — Гродно: ГрГУ, 2000. — 80 с.

3. Хорлоогийн, А.С. Факторный анализ «механистической» модели типовой программы физической подготовки клиента тренажерного зала/ А.С. Хорлоогийн, Ю.С. Фисюк. – Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2013». – Минск: БНТУ, 2013.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА В РАМКАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «АКТАМИР»

Купрева Л.В., Яковчик И.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Система управления охраной труда (далее – СУОТ), как любая система менеджмента организации представляет собой комплекс определенных организационно-технических мероприятий и процедур управления, включая управления рисками. Разработка, внедрение и обеспечение функционирования СУОТ в соответствии с требованиями национального стандарта СТБ 18001 регламентируются законодательством Республики Беларусь и являются основой для профилактики производственного травматизма, профессиональных заболеваний сотрудников на отечественных предприятиях, а также для создания безопасных условий труда на каждом рабочем месте и их постоянного улучшения. СУОТ позволяет любой организации обеспечить идентификацию опасностей, провести оценку профессиональных рисков, определить меры управления профессиональными рисками и осуществить анализ их результативности при разработке и реализации мероприятий по улучшению условий и охраны труда.

Требования СТБ 18001 установлены на основе процессного подхода, который заключается в создании и применении системы процессов управления, взаимосвязанных в непрерывный цикл планирования, внедрения, контроля и улучшения СУОТ. Данный подход позволяет комплексно рассматривать вопросы охраны труда в организации.

Руководством ОАО «Актамир», являющегося на сегодняшний день ведущим производителем игрушек на территории Республики Беларусь, было принято решение о разработке и внедрении СУОТ в организации с целью создания безопасных условий труда ее работников путем сведения к минимуму рисков в области охраны труда. Принятое решение основывалось на результатах анализа состояния условий и охраны труда в ОАО «Актамир», проведенного Минским городским управлением Департамента государственной инспекции труда.

В ходе анализа был выявлен ряд замечаний, в том числе отсутствие идентификации опасностей, оценки рисков, мер управления профессиональными рисками, а также необеспечение эффективного контроля соблюдения требований законодательства в области охраны труда на всех уровнях в организации.

Исходя из вышеизложенного, руководством организации перед нами была поставлена задача, требующая комплексного решения, включая идентификацию действующих законодательных

актов и ТНПА в области охраны труда и безопасности, необходимых для реализации организационно-технической СУОТ, а также разработку документации для создания и внедрения данной системы и ее функциональной модели сети процессов. Для решения поставленной задачи в качестве основных видов деятельности в рамках организационной структуры ОАО «Актамир» рассматривались «Управленческая деятельность» и «Аренда помещений». На примере первого вида деятельности разрабатывалась СУОТ организации, а на примере второго – представлен процесс реализации менеджмента рисков.

На первом этапе проводимых исследований нами анализировались замечания, выявленные в результате проверки организации, состояние охраны труда и техники безопасности на соответствие требованиям законодательных актов и ТНПА в области охраны труда. В частности, анализ показал, что в соответствии с требованиями Межотраслевых общих правил по охране труда организация не обеспечивает идентификацию опасностей, оценку рисков, определение мер управления профессиональными рисками. С учетом идентифицированных в ходе проверки замечаний были внесены предложения по их устранению с целью дальнейшей разработки и внедрения СУОТ.

В процессе разработки СУОТ в организации решались задачи:

- непрерывного улучшения условий и охраны труда;
- управления профессиональными рисками, устранения либо снижения их до допустимого уровня.
- вложения средств организации в наиболее важные и проблемные направления деятельности в сфере охраны труда;
- выявления «мест скопления» наибольших рисков.

В соответствии с требованиями СТБ 18001 в организации была определена последовательность этапов разработки системы. На предварительном этапе оценивалась деятельность организации в области охраны труда, и был сформирован перечень необходимых мероприятий для приведения действующей системы в соответствии с требованиями СТБ 18001. Для реализации каждого этапа был разработан комплект соответствующих внутренних документов организации в рамках организационно-составляющей СУОТ, а также разработана документация, необходимая для разработки, внедрения и обеспече-

ния функционирования системы в ОАО «Актамир».

Основным документом разработанной системы является Руководство по СУОТ, элементы которого соответствуют элементам СТБ 18001 и были реализованы в 12 стандартах организации (СТП) и 3 положениях.

Одним из требований разработки СУОТ является предоставление возможности организации управлять своими рисками в области охраны труда. Поэтому в рамках Руководства нами был разработан стандарт организации СТП СУОТ 4.3.1-2016 «Идентификация опасностей, оценка рисков и определение мер управления». Целью разработки данного стандарта является управление целями и программой в области охраны труда.

Порядок идентификации и оценки рисков проводился по методике, установленной в СТП СУОТ 4.3.1. Для выявления всех возможных опасностей, возникающих на рабочих местах, были разработаны карты идентификации опасностей и оценки рисков по профессиям (всего 30 карт), учитывающих требования должностных инструкций идентификации опасностей по профессиям.

Согласно СТБ ISO/IEC 31010, любая организация сталкивается с большим количеством рисков, которые могут влиять на достижение ее целей. В свою очередь цели относятся к различным видам деятельности организации, и неизбежно возникают риски не достижения поставленных целей.

Процесс управления рисками и внедрение СУОТ в организации, как основа для создания безопасных условий труда на каждом рабочем месте включают 4 подпроцесса: планирование и организация работ, идентификация опасностей, оценка риска, разработка мероприятий по устранению риска. Для оценки рисков использовался балльный метод в соответствии с ТКП 057. Необходимым условием реализации подпроцессов «Идентификация опасностей» и «Оценка риска» является заполнение карты идентификации опасностей и оценки рисков, включающие информацию о:

- структурном подразделении, профессии работника;
- виде деятельности, и (или) выполняемой операции;
- описании опасности и существующей меры управления, а также;
- балльной оценке риска и его значении с указанием категории.

После формирования реестра рисков в структурных подразделениях определялась ка-

тегория риска (по методике, описанной в стандарте организации) с целью идентификации существенных рисков организации.

Для определения существующей меры управления опасностями в организации был осуществлен пересмотр уже имеющихся инструкций по охране труда и разработаны новые – по профессиям и для конкретного вида работ. В стандарте организации определен общий порядок разработки инструкции с требованиями, предъявляемыми к определенному виду профессии. В разработанных инструкциях (всего пересмотрено и разработано 11 инструкций) устанавливаются не только общие требования к охране труда работника (при допуске к работе, перед началом, при выполнении и окончании работы), но и в случае возникновения аварийной ситуации.

Обязательным условием разработки системы являлось формирование реестра действующих НПА и ТНПА, устанавливающих требования в области охраны труда и необходимых для дальнейшей деятельности организации. В реестр было включено 154 документа, отнесенных нами к определенным 19 группам, где абсолютное большинство составляют документы группы «Законодательные и иные правовые акты общего регулирования в области охраны труда».

В качестве примера реализации менеджмента рисков рассматривался бизнес-процесс организации «Аренда помещений». Для описания данного процесса была разработана функциональная модель сети процессов СУОТ в состоянии «как надо». Менеджмент рисков в рамках комплексного процесса сводился к оценке влияния каждой функции диаграммы-модуля на не достижение цели. Процесс реализации менеджмента рисков рассматривался на примере тривиальной функции «Заключение договора об аренде», на основании которой была сформирована причинно-следственная диаграмма, где в качестве активов выступают функции. Для оценки рисков нами был использован FMEA анализ (анализ характера и последствий отказов). В отношении данного подпроцесса были идентифицированы активы уязвимости как источники возникновения угроз, оценены риски выявленных угроз и в отношении влияющих рисков и разработаны управленческие решения.

Таким образом, комплексный подход к разработке и внедрению СУОТ на ОАО «Актамир» на основе идентификации, оценки и управления профессиональными рисками позволит улучшить показатели результативности и эффективности организации в области создания безопасных условий труда.

ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Бондарев В.В.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Российская Федерация*

Настоящий доклад в концентрированном виде представляет некоторые итоги работы, которая выполнялась на протяжении ряда лет по важнейшей проблеме создания и совершенствования государственной системы подготовки кадров в области обеспечения информационной безопасности (ИБ). Основную цель работы можно сформулировать следующим образом – обобщение имеющегося опыта теоретических исследований и практического решения задач подготовки кадров в области ИБ, формирование на этой основе научно – методологического базиса и выработка практических рекомендаций по совершенствованию подготовки, в том числе и по новым специальностям (специализациям).

К числу основных проблем, на настоящий момент или не имеющих решения, или решаемых недостаточно эффективно, при организации подготовки специалистов в области информационной безопасности можно отнести:

1. Формальное представление предметной области подготовки специалиста, формализация знаний об этой предметной области и, наконец, формирование, выявление этих знаний.

2. Разработка с максимальной степенью объективности квалификационных требований к специалистам в области ИБ, в частности декомпозиция предметной области подготовки по видам профессиональной деятельности выпускника (проектно – конструкторская, организационно – технологическая, эксплуатационная и организационно – управленческая).

3. Системный подход к разработке методического обеспечения подготовки (отсутствие концептуального подхода введения и использования категорий государственного образовательного стандарта - ГОС).

Нет комплексного научно обоснованного анализа практики введения образовательных стандартов и их влияния на качество образования.

В педагогическом сообществе и органах управления образованием отсутствует согласованное мнение относительно объемов, направленности и характера национально - регионального компонента как органической составной части федерального государственного образовательного стандарта.

Даже в высшей школе поиск путей и форм обновления ГОС, их размерности ведется по преимуществу в форме коллективной рефлексии, т.е. предпроектный этап (системный анализ) не

обретает своего подлинного методологического и организационно - управленческого статуса, и даже не выдвинут в повестку дня как предмет НИР.

4. Системный подход к разработке материально – технического обеспечения подготовки специалиста (обоснование требований к составу и структуре учебно – материальной базы подготовки; разработка информационного обеспечения процесса подготовки; автоматизация, в том числе компьютеризация подготовки и т. д.).

5. Экономические аспекты подготовки специалистов в области ИБ.

6. Методический аппарат оценки степени подготовленности специалиста к решению профессиональных задач.

Вместе с тем, анализируя развитие данных методов, можно выделить ряд причин, сдерживающих более широкое внедрение математического моделирования в практику. Прежде всего, это причины методического, организационного и технологического характера.

К причинам **методического характера** следует отнести:

недостаточную изученность взаимосвязей факторов, характеристик и показателей процессов организационного управления;

слабый опыт проработки облика моделей в контексте целевых задач, предлагаемых к решению, а также в контексте задач более высокого уровня;

отсутствие или невозможность прямого использования имеющихся математических методов, приемлемых по выразительным возможностям и адекватности описания моделируемых процессов;

непонимание того факта, что математическая модель и оперирующий с ней человек являются равноправными звеньями процесса выработки решений, а успех их взаимодействия существенно зависит от ГОС и основной образовательной программы (ООП);

отсутствие научно обоснованных принципов и механизмов разработки и системного использования ГОС и ООП; отсутствие системы показателей и критериальной шкалы, используемых в ходе разработки и системного использования ГОС и ООП и т. д.).

Нет согласованности при разработке государственных образовательных стандартов разных ступеней высшего образования, а также стандартов по разным специальностям одной группы

различными учебно - методическими объединениями.

Не выработаны основные методологические подходы к реализации многоступенчатой системы подготовки по трем ступеням высшего образования.

Все большую озабоченность вызывает ослабление преемственности среднего (полного) общего и высшего профессионального образования. Государственные стандарты высшего образования действуют уже много лет и нередко слабо согласованы с содержанием образования полной средней школы.

Практически не решен вопрос о концептуальных и методологических основаниях образовательных стандартов послевузовского профессионального образования.

Еще более противоречивым является положение в области разработки основных образовательных программ, примерных образовательных программ и образовательных программ, предусмотренных федеральным законом «Об образовании». Среди исследователей и работников центрального аппарата соответствующих структурных подразделений пока отсутствует единство в интерпретации этих и других ведущих

Не менее существенными представляются недостатки **организационного** плана, к которым прежде всего следует отнести отсутствие глубокой, научно обоснованной программы работ, недостаточную их координацию. Наряду с этим представляется весьма важным наличие коллективов, владеющих современными методами моделирования во всем их многообразии и свободно ориентирующихся в предметной области организационной системы.

Недостатки **технологического** плана обусловлены тем, что в настоящее время еще не полностью осознана необходимость промышленного (индустриального) подхода к изучению и созданию взаимосвязанных систем моделирования для организационного управления. Сложилось представление о математической модели как о программном продукте, который, как правило, ни для кого не доступен, кроме автора программы. В результате отсутствует преемственность в разработке моделей, затруднены задачи комплексирования, сопровождения и наращивания. Иначе говоря, отсутствие технологической базы создания моделей, включающей в себя поэтапную схему действий и инструментально-программные средства их поддержки, является существенным фактором, сдерживающим внедрение методов математического моделирования в практику управления организационными системами.

Особенности применения математических моделей в системе подготовки специалистов в области ИБ обусловлено следующими обстоятельствами.

Во – первых, при формировании предметной области подготовки принципиальным моментом является абсолютный характер требования полноты выявленных угроз. При этом формировании полного множества угроз представляет собой ярко выраженную неформализуемую проблему.

Во – вторых, сама проблема – подготовка специалиста – принадлежит к числу, так называемых слабоструктурированных, размытых. По этой причине такого рода проблемы (задачи) отличаются высокой степенью сложности, многопараметральным характером, значительной неопределённостью.

В – третьих, наличие человека – гуманистичность системы подготовки и целенаправленность её поведения.

И, наконец, наличие громадного числа ограничений, порождаемых нормативно – законодательной базой подготовки специалиста в области информационной безопасности (действующие нормативные правовые акты, ведомственные нормативные документы - ограничения, связанные с руководящими документами Минобрнауки и заинтересованных ведомств).

Таким образом, на этапе создания прикладной теории подготовки специалистов в области ИБ необходимо:

1. Расширение (конкретизация) классического системного подхода в форме антропоцентрического его варианта, полагающего человека основным компонентом системы подготовки специалиста, а остальные компоненты (технические, средства ЭВТ и т.д.) - дополняющими и расширяющими его возможности по решению заданных задач.

2. Конкретизация представления системы подготовки классом функциональных систем, где взаимодействие компонентов приобретает характер взаимодействия их достижению заданной цели.

3. Расширение арсенала классической теории систем за счёт использования методов нечётких множеств, лингвистических переменных (нестрогой математики), неформальных методов оценивания, неформального поиска оптимальных решений. Причём, исключительное важное значение приобретают неформально – эвристические методы (экспертное оценивание, эвристическое программирование), методы теории полезности, инженерии знаний, «мозгового штурма» и психоинтеллектуальной генерации.

УДК 51(07.07)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КУРСОВЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНФОРМАТИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПСФ

Кондратьева Н.А., Романчук В.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

На современном рынке труда конкурентоспособным может стать только квалифицированный работник соответствующего уровня и профиля, компетентный, свободно владеющей своей профессией и ориентированный в смежных областях деятельности, способный к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов и готовый к постоянному профессиональному росту. Задача преподавателя высшей школы заключается в организации и направлении познавательной деятельности студентов, эффективность которой во многом зависит от их самостоятельной работы. В свою очередь, самостоятельная работа студентов должна представлять собой не просто самоцель, а средство достижения прочных и глубоких знаний, инструмент формирования активности и самостоятельности студентов. Курсовая работа является эффективной формой углубленного освоения учебной дисциплины «Информатика» только тогда, когда она выполнена студентом творчески, самостоятельно, на основе глубокого изучения научной и методической литературы, обобщения и анализа разностороннего фактического материала.

Курсовая работа предполагает постановку и решение совокупности аналитических, расчетных, исследовательских, оценочных задач, объединенных общностью рассматриваемого объекта. Целью курсового проектирования по дисциплине «Информатика» является формирование у студентов опыта комплексного решения конкретных вычислительных задач. Планирование и контроль преподавателем самостоятельной работы студентов необходим для успешного ее выполнения. Преподаватель должен объяснить смысл и цель самостоятельной работы, дать подробный инструктаж о требованиях, предъявляемых к самостоятельной работе и методах ее выполнения, продемонстрировать образец самостоятельной работы, раскрыть теоретическую и практическую значимость выполнения самостоятельной работы, сформировать познавательную потребность студента и готовность к выполнению самостоятельной работы, мотивировать студента на достижение цели. Преподавателю необходимо выявить начальный уровень готовности студента к выполнению самостоятельной работы, наметить дальнейшие пути выполнения самостоятельной работы, осуществлять управление через воздействие на каждом этапе процесса выполнения самостоятельной работы.

Студент должен владеть оптимальными технологиями выполнения самостоятельной работы по информатике, согласовывать этапы выполнения самостоятельной работы с руководителем. В ходе написания курсовой работы студент должен: продемонстрировать свое умение собирать, анализировать и обобщать материал по рассматриваемой проблеме; изучить и отобразить важнейшие теоретические и практические аспекты изучаемой дисциплины; опираться на действующие нормативные и правовые документы, а также на критически проанализированную научную литературу; показать свою способность анализировать материал самостоятельно и творчески, а также уметь делать правильные теоретические выводы и вносить практические предложения; уметь сформулировать и аргументировать свою позицию по данной проблеме; придерживаться четкой структуры курсовой работы и оформить ее в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Преподаватель обязан давать методические рекомендации по выполнению курсовой работы, выявлять затруднения и типичные ошибки, подчеркивать положительные и отрицательные стороны, определять уровень продвижения студента и тем самым сформировать у него мотивацию достижения успеха в учебной деятельности.

Во время подготовки курсовой работы перед студентом не стоит задача открыть новые научные положения в области информатики. В процессе изложения темы студенту необходимо показать способность научно использовать литературу, понимать методологию изложения материала, уметь систематизировать данные, обрабатывать фактический материал, делать обобщения и выводы, увязывать теорию с практикой и современной действительностью.

В «Методических указаниях к курсовым работам по информатике» для студентов инженерных специальностей приборостроительного факультета БНТУ изложены требования к выполнению и оформлению курсовых работ по дисциплине «Информатика» для студентов инженерных специальностей приборостроительного факультета БНТУ в соответствии с Приказом БНТУ от 10 февраля 2014 года №206 «Инструкция о порядке организации курсового проектирования и защиты курсовых проектов». Методические указания составлены коллективом преподавателей кафедры «Инженерная математика» в виде электронного учебного материала.

Состоят из пяти частей, в которых разъясняется структура курсового проекта, требования к оформлению и защите курсовой работы, представлен список примерных тем курсовых работ для различных специальностей приборостроительного и спортивно-технического факультетов, предложена тематическая литература.

Курсовая работа является одной из важнейших форм учебного процесса, которая выполняется в соответствии с учебным планом специальности и носит учебно-исследовательский характер. Курсовая работа является логически завершенным и оформленным в виде текста изложением студента содержания отдельных проблем, а также задач и методов их решения в изучаемой области науки. Цель курсовой работы заключается в углублении изучения отдельных тем соответствующих учебных дисциплин и овладении исследовательскими навыками. В ходе выполнения курсовой работы студенты получают возможность закрепить знания и навыки по некоторым смежным дисциплинам, таким как физика, линейная алгебра, математический анализ, дифференциальные уравнения, численные методы, поскольку одним из разделов курсовой работы является математическое моделирование предметной области. Важной задачей также является формирование умения грамотно оформлять пояснительную записку, делать презентацию и защищать результаты работы перед аудиторией.

Содержание и сроки выполнения отдельных этапов курсовой работы должны устанавливаться таким образом, чтобы в течение всего периода проектирования обеспечивалась равномерная недельная трудоемкость работ. При сдаче студентом готовых частей курсовой работы на проверку, для отслеживания хода курсового проектирования, предлагается к выполненным разделам прикладывать протокол консультаций, куда будут записываться замечания и рекомендации руководителя работы, что станет стимулом к успешному результату.

Предлагается использовать бланк оценки качества выполнения курсовой работы. В нем должны отражаться:

1). Оценка содержания работы: соответствие темы работы содержанию дисциплины, обоснование актуальности темы, соответствие содержания работы целям и задачам исследований, об-

щая грамотность изложения, использование при оформлении аналитической части работы таблиц и графических редакторов, актуальность и практическая значимость используемых источников.

2). Оценка качества выполненного исследования: соответствие структуры работы целям и задачам исследований, наличие теоретической и практической части, проведение практических исследований по теме и написание программных кодов или использование пакетов для инженерных расчетов, анализ результатов исследований и выявление недостатков, актуальность выводов и предложений, полнота раскрытия заданной темы.

3). Оценка качества оформления: соответствие структуры и объема работы предъявляемым требованиям, форматирование текста, оформление таблиц, графиков, рисунков, наличие и оформление библиографических ссылок, оформление приложений.

Выполнение курсовой работы является заключительным этапом в изучении студентами учебной дисциплины «Информатика» и имеет следующие цели: систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по дисциплине; применение этих знаний при решении конкретных научных, экономических и производственных задач и проблем; развитие навыков выполнения самостоятельной работы студентов; овладение научными методами исследования при решении актуальных проблем с помощью математических методов и моделей.

Инновационные технологии, внедренные в процесс обучения предмету «Информатика» на ПСФ БНТУ, позволяют формировать профессионально-личностные академические компетенции студентов: 1). Владеть и применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач. 2). Владеть системным и сравнительным анализом. 3). Владеть исследовательскими навыками. 4). Уметь работать самостоятельно. 5). Быть способным порождать новые идеи. 6). Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем. 7). Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией, работой с компьютером. 8). Иметь лингвистические навыки. 9). Уметь учиться, повышать свою квалификацию.

СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ КУРСОВ «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА» И «ИНФОРМАТИКА» В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Прихач Н.К., Прусова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Говоря о процессе обучения, стоит рассматривать не воздействие преподавателя на студента, а их взаимодействие, т.к. изучение дисциплины «Высшая математика» невозможно без одновременной деятельности и тех, и других участников процесса обучения. Без самостоятельной работы студентов, без практических часов, где и происходит основное взаимодействие преподавателя со студентами и наоборот, процесс изучения дисциплины почти не протекает или протекает далеко не так успешно, как мог бы.

При рассмотрении структуры процесса обучения необходимо выявить его строение, основные компоненты и связи между ними. Обучение является разновидностью человеческой деятельности, которая носит двусторонний характер. Оно обязательно предполагает взаимодействие преподавателя и обучаемых (одного, группы или потока), протекающее в определённых условиях.

Если преподаватели концентрируют внимание только на управлении, на учебной деятельности, но не обеспечивают при этом правильного стиля общения, то результат такого влияния может оказаться недостаточным. Не менее неэффективными окажутся усилия и тогда, когда обеспечена благоприятная для общения среда, но не организована должным образом учебная деятельность.

Взаимодействие преподавателей и обучаемых происходит как в непосредственной, так и в опосредованной форме. При непосредственном взаимодействии преподаватель и студент совместно реализуют задачи обучения (практические часы, частично – курсовые работы, расчётно-графические работы и т. д.). При опосредованном взаимодействии студенты выполняют задания и инструкции, данные преподавателем ранее (домашняя, самостоятельная, контрольная работы).

Любая деятельность требует видеть в ней цель, содержание, мотивы, способы действий, протекающие при известных напряжениях воли, сопряжённых с обучением, а также интеллектуальных сил, способы регулирования и контроля за их результативностью.

Опираясь на данную характеристику процесса, мы можем относительно целостно представить себе компоненты или элементы учебного процесса: целевой, стимулирующе-мотивационный, содержательный, операционно-деятельностный, контрольно-регулирующий и оценочно-результативный. Другими словами – всё,

начиная с учебного плана по предмету и заканчивая сдачей экзамена студентом. Эти компоненты процесса обучения отражают развитие взаимодействия преподавателя и студентов от постановки целей до их реализации в конкретных учебных результатах. При этом необходимо учитывать, что компоненты процесса обучения характеризуют определённый цикл взаимодействия преподавателя и студентов. К примеру, цикл решения определённой задачи или формирования какого-либо нового понятия (комплексные числа – для первокурсников).

Цикл решения более частных задач сливается в более широком цикле решения задач данного учебного предмета, системы учебных предметов и всего учебного плана. Примером подобного можно назвать учебный план по математическим дисциплинам на специальности «Метрология, стандартизация и сертификация». На первом курсе студенты в рамках семестрового курса «Информатика» обучаются навыкам работы с программой «Statistica» и решения задач, посредством её, что необходимо им для дальнейшего успешного освоения программы некоторых специальных дисциплин на старших курсах.

Целевой компонент процесса обучения представляет собой цель и задачи обучения, которые определяются на основе требований программы с учётом особенностей требований специальности. Таким образом, если на специальности «Микро- и наносистемная техника» требуется уделять большее внимание интегралам, то, к примеру, студентам, обучающимся на специальности «Метрология, стандартизация и сертификация» интегралы не столь важны как теория вероятности и математическая статистика.

Стимулирующе-мотивационный компонент заключается в единстве стимулирования и мотивации студентов преподавателями во время обучения. В качестве примера поощрения углублённого изучения предмета можно привести научно-практическую работу обучающихся под руководством преподавателя.

Содержание предмета «Высшая математика» определяется учебным планом, учебной программой и учебными пособиями. Содержание конкретизируется преподавателем, при необходимости – корректируется с учётом специфики специальности. Таким образом, невозможно вести по одной программе предмет для технических и экономических специальностей, что учи-

тывается при составлении планов учебного процесса.

Операционно-деятельный компонент непосредственно является процессуальной сущностью обучения. Он реализуется посредством определённых методов, средств и форм организации преподавания и обучения, начиная от лекционных часов и заканчивая научно-практической работой.

Контрольно-регулирующий пункт является собой одновременно и самоконтроль студента и контроль со стороны преподавателя за ходом решения поставленных задач, за выполнением учебных операций и точностью получаемых ответов. Текущий контроль осуществляется с помощью устных, письменных, практических работ, путём проведения опросов, контрольных, зачётов и экзаменов. Самоконтроль протекает в виде самопроверок студентами степени усвоения изучаемого материала, правильности выполнения заданий путём обратных действий, например, пара интегрирование – дифференцирование, оценки жизнеспособности ответа (невозможно получить отрицательную дисперсию) и прочее.

Контроль и самоконтроль обеспечивает функционирование обратной связи в учебном процессе – преподаватель получает представление о степени затруднений, о качестве поэтапного решения задач обучения, о типичных недостатках. В свою очередь, это помогает корректировать, регулировать учебный процесс, вносить изменения в методы, формы и акценты обучения, что позволяет приблизить учебный процесс к оптимальному для специальности уровню. Регулирование процесса проводится не только преподавателем, но и самими студентами путем саморегулирования своих действий, работой над ошибками, повторения вопросов, вызывающих затруднения, чтобы впоследствии успешно закрыть сессию, что приводит нас к последнему, но не маловажному компоненту.

Оценочно-результативный компонент обучения предполагает оценку преподавателем достигнутых в процессе изучения предмета результатов и установления соответствия их поставленным задачам.

Поскольку структура любого процесса – это не только входящие в него компоненты, но и взаимосвязи между ними, а также целостные свойства процесса, то все вышеуказанные компоненты стоит рассматривать как закономерный комплекс. К примеру, цель изучения предмета определяет его содержание, они вместе влияют на выбор методов, форм и средств обучения; по ходу образовательного процесса необходим контроль для коррекции и регулирования самого

процесса, чтобы приблизить его к оптимальному варианту, и только совокупность всего комплекса компонентов обеспечивает определённый результат.

Разумеется, указанная последовательность и содержание компонентов является наиболее типичной, но не обязательной. В зависимости от специфики задач обучения, возможностей и уровня отношений студентов к обучению, те или иные компоненты процесса будут применяться в большей или меньшей степени, а порой и вообще отсутствовать в данном цикле.

Раскрывая сущность процесса обучения, мы подчеркнули, что в нём органично сливаются преподавание и учение, то есть деятельность, как преподавателей, так и студентов. Назначение деятельности преподавателя состоит в том, чтобы осуществлять управление активной и сознательной деятельностью студентов по усвоению учебного материала. Поэтому руководящая роль в учебном процессе принадлежит, все же, преподавателю. Но сам учебный процесс невозможен без активной деятельности студентов, как субъектов преподавания. Важно подчеркнуть, что в прошлом при характеристике процесса обучения деятельность преподавателя нередко сводили к передаче учащимся определённой суммы знаний и умений. При таком подходе преподаватель считался активным субъектом обучения, а студент – пассивным объектом. В высших учебных заведениях существует подход, благодаря которому преподаватель призван организовать активную деятельность самих студентов по усвоению новых знаний и умений, хотя это и предполагает наличие объяснения, изложения новой информации и так далее.

К примеру, с этого учебного года на кафедре «Инженерная математика» в рамках Болонского процесса и курса «Информатика» происходит пересмотр способов передачи информации от преподавателя к студенту от классических лекционных часов к консультативным. Таким образом, в рамках курса студент поощряется к самостоятельному изучению программы дисциплины, с контролем в качестве лабораторных работ и экзамена в конце семестра, а также запланированными еженедельными консультациями, которые входят в сетку расписания студентов-первокурсников. Несмотря на чересчур инновационный тип подачи информации студенту на постсоветском пространстве, только время покажет его профпригодность.

Тем не менее, необходимо творчески подходить к осуществлению структурных компонентов процесса обучения и не допускать шаблонного применения этого комплекса.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ КАК ЧАСТЬ ОБЩЕЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ

Ленкевич О.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний момент качество является неотъемлемой характеристикой любого объекта менеджмента. В связи с этим особую актуальность приобрела и способность правильно оценить и управлять затратами организации на качество. По данным различных исследований, затраты на качество достигают до 40 % от объема продаж. В общем смысле «Затраты на качество определяются как затраты, связанные с выполнением функций процесса, с оценкой результата процесса, с устранением выявленных несоответствий, с проведением предупреждающих мероприятий».

Развитие конкурентных преимуществ организации посредством повышения качества и снижения затрат вряд ли будет возможно без внедрения в организации системы управления затратами. Учет и анализ затрат по всем направлениям деятельности организации обеспечит менеджмент необходимой информацией для принятия грамотных управленческих решений и планирования мероприятий по улучшению качества продукции (услуги) и деятельности организации в целом с точки зрения их экономической выгоды и эффективности. Систему управления затратами на качество следует рассматривать как часть общей системы менеджмента организации.

Действующие международные стандарты напрямую говорят о необходимости учета и анализа затрат на качество в рамках системы менеджмента организации. Например, ISO 10014:2006 «Руководящие принципы управления экономикой качества» представляет концепцию и методологию экономики качества, позволяющую поднять уровень удовлетворенности потребителя и одновременно снизить затраты.

Основными предпосылками для внедрения в организации системы управления затратами на качество могут являться:

- требования международных и отраслевых стандартов;
- необходимость определение масштаба проблем через финансовые показатели, которые наиболее понятны высшему руководству;
- выявление областей для снижения затрат на качество и потерь от дефектов;
- поиск возможностей для повышения удовлетворенности потребителей;
- расстановка приоритетов для улучшения деятельности;
- обоснование стратегии и планирование целей организации, в том числе в области качества.

Главная идея анализа затрат на качество заключается в том, что относительно небольшие вложения в деятельность по предупреждению производства некачественной продукции и услуг приводят к значительным сокращениям потерь от брака как внутренних, так и внешних. Затраты на оценку качества также существенно сокращаются по мере того, как инвестиции в качество улучшают потребительские свойства продукции и услуг.

База данных по затратам на качество должна не только регулярно обновляться, но и постоянно развиваться и совершенствоваться. Некоторые организации внедряют у себя документированную систему качества, тесно связанную с системой бухгалтерского учета, представляющую собой ежемесячные или ежеквартальные данные по затратам на качество. Если данные по затратам на качество носят недостаточно детальный характер, то на их основе трудно выработать конкретные меры, направленные на непрерывное совершенствование деятельности организации.

Оценку затрат на обеспечение качества отдельного бизнес-процесса можно выполнить путем последовательного анализа каждого из составляющих его подпроцессов, учитывая стоимость каждого подпроцесса в категориях предупреждения, оценки качества и несоответствий. Некоторые из выявленных в результате такого анализа подпроцессов могут вообще не создавать прибавленной стоимости и представлять собой чистые издержки. Исключение или комбинирование отдельных подпроцессов, как правило, дает возможность значительно сократить затраты на обеспечение качества. Иногда очень полезными оказываются и другие неформальные методы учета затрат на качество. Например, учет влияния степени удовлетворенности потребителя на уровень потенциальных потерь, несмотря на явно оценочный характер, позволяет более тесно связать меры по улучшению качества с потребительскими ожиданиями.

Но каким бы методом ни пользовался специалист в области качества, он обязан искать скрытые издержки, представляющие собой потенциальные ресурсы для экономии. В действительности большая часть издержек, связанных с качеством оказывается спрятанной внутри стандартных статей расходов предприятия. К числу таких издержек следует отнести задержки в принятии управленческих решений, простои, неиспользуемые мощности, неоправданно большие

складские запасы, отложенную доставку, упущенные заказы и потерянные потребители.

Первым шагом в исследовании затрат на качество является оценка доли таких затрат в структуре расходов организации. В качестве базы для первоначальной оценки можно взять общий объем продаж или суммарные затраты на производство или обслуживание. Когда организация впервые обращается к вопросам качества, величина издержек, так или иначе связанных с качеством, зачастую оказывается значительно выше объема продаж. В результате проведения целенаправленной политики уровень потерь из-за качества, как правило, удается снизить.

Относительную величину затрат несоответствия (потерь от брака) можно оценить с помощью анализа Парето. Обычно они соответствуют правилу 80:20, согласно которому относительно небольшое число причин порождает большую часть затрат. Необходимо также постоянно анализировать соотношение полученных результатов в области качества и затрат на их достижение.

Тем не менее основным инструментом оценки затрат на качество, особенно затрат несоответствия, остается построение причинно-следственной диаграммы. Каждая категория затрат классифицируется по составляющим ее элементам и рассматривается как следствие воздействия некоторого фактора (скрытой причины), имеющего более глубокий, фундаментальный характер. Далее каждый элемент разбивается на отдельные компоненты, и каждая причина оказывается следствием действия фактора следующего уровня и т. д. Анализ затрат по видам деятельности (ABC-анализ) значительно упрощает такую работу, так как затраты на процессы учитываются в рамках конкретных функций. После того как выгоды от устранения наиболее существенных потерь организации подсчитаны, можно оценить стоимость проведения работ по улучшению деятельности, а также норму прибыли по инвестициям на качество и время возвращения этой прибыли. Учитывая известные к настоящему моменту оценки будущих поступлений, можно определить общую стоимость инвестиционного проекта, сравнить ее со стоимостью других проектов по совершенствованию деятельности предприятия и представить рекомендации высшему руководству.

Безусловно, главной целью любого проекта по измерению и анализу затрат на качество явля-

ется выработка рекомендаций для высшего руководства организации. Основной задачей должен стать выбор таких мер по улучшению деятельности, которые в максимальной степени соответствовали бы стратегическим целям организации.

Для того чтобы соотнести деятельность по улучшению качества с целями организации, можно использовать базу данных по затратам на качество. Затраты несоответствия можно непосредственно связать с отдельной статьей в списке стратегических целей. Тогда проекты по совершенствованию деятельности будут оказывать прямое влияние на цель. Например, если стратегическая цель организации - расширение рынка продукции и анализ данных по затратам на качество указывает на то, что внешние потери из-за недопустимо высокой доли возвращаемой продукции очень значительны, то снижение доли возвращаемой продукции как раз и будет тем видом деятельности по улучшению качества, который связан с целью экспансии на рынке. Если затраты на качество обусловлены потерей существующих клиентов и отсутствием новых, необходимо укрепить доверие к стратегическим целям. Между ними и базой данных по затратам существует взаимодействие. После того как оптимальный проект улучшения деятельности определен, за ним должны последовать конкретные корректирующие меры, предусмотренные процессом улучшения качества.

База данных по затратам, в свою очередь, влияет на процесс планирования и выбор новых целей по улучшению качества, соответствующих стратегическим целям организации, тем самым обеспечивая непрерывность процесса улучшения. Программа улучшения качества, основанная на анализе затрат не будет успешной, если она не была инициирована руководством организации. Именно высшее руководство должно показать приверженность к идеям качества и способствовать распространению идеологии качества на всех уровнях организации.

1. On Leadership // Quality Progress. – 2002. – № 8.
2. Atkinson H., Hamburg J., Ittner C. Linking Quality to Profits // ASQ Quality Press, 1994.
3. Campanella J. Principles of Quality Costs, 3rd Edition // ASQ Quality Press, 1999.
4. ANSI/ISO/ASQ 9001:2000 Quality Management Systems - Requirements // ASQ Quality Press, 2000.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

Ляхевич А.Г., Мойсейчик Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В последнее время в практике ведущих мировых финансовых учреждений всё более широкое распространения получает технология блокчейн. Толчок развитию технологии дало её использование в популярной криптовалюте «биткоин», однако, с течением времени, блокчейн эволюционировал и в настоящее время не ограничивается только рамками «биткоин».

Блокчейн - это распределенная база данных, которая содержит информацию о всех транзакциях, проведенных участниками системы. Информация хранится в виде «цепочки блоков». Блок состоит из заголовка и списка транзакций. В заголовок блока включён результат расчёта хеш-функции. Два блока отличающиеся друг от друга хотя бы на один бит будут иметь непредсказуемо разные хеши. Заголовок блока включает в себя свой хеш, хеш предыдущего блока, хеши транзакций и дополнительную служебную информацию. Благодаря хешам информацию в блоках можно быстро перепроверить. Каждый блок всегда содержит информацию о предыдущем блоке. Все блоки можно выстроить в одну цепочку, которая содержит информацию о всех совершённых когда-либо операциях в этой базе. Копия базы или её части одновременно хранится на множестве компьютеров (у всех участников системы). Все копии синхронизируются. Информация в блоках не зашифрована и доступна в открытом виде, но защищена от изменений криптографически через хеш-цепочки. Поскольку блоки в цепочке содержат хеши предыдущих блоков, то для того, чтобы «задним числом» внести исправления хотя бы в один блок, придётся модифицировать всю цепочку, начиная с изменённого блока. При этом изменения придётся вносить не на одном компьютере, а на всех компьютерах участников системы, хранящих копии этой цепочки. Это трудно решаемая задача, как в организационном плане, так и с точки зрения необходимых для такой операции вычислительных ресурсов. Кроме того, информация о транзакциях может быть дополнительно подписана при помощи асимметричного шифрования с использованием специальной метки времени.

Схему работы блокчейн проще всего пояснить на примере криптовалюты. В случае криптовалюты транзакциями являются денежные переводы между кошельками пользователей. Предположим А хочет перевести деньги Б. Транзакции по переводу денежных средств передаются в сеть и собираются в блоки. Блоки расы-

лаются всем участникам системы для «проверки». Если ошибок нет, то каждый участник записывает блок в свой экземпляр базы данных. Теперь блок может быть добавлен к цепочке блоков, которая содержит информацию о всех предыдущих транзакциях. В результате деньги переведены от А к Б [1]. Своего рода «свидетелями» этого перевода стали все участники системы, т.е. блокчейн исключает необходимость подтверждать сделку при помощи нотариусов или иных «доверенных посредников» и следовательно исключает возможность злоупотребления своими полномочиями со стороны этих авторитетных посредников.

Описанная технология также позволяет создавать систему так называемых «умных контрактов», т.е. контрактов самостоятельно следящих за своим выполнением. Первые идеи «умных контрактов» были предложены в 1994 году Ником Сабо. На практике «умные контракты» впервые начали применяться в 2013 году в рамках проекта Ethereum. Проще всего пояснить идею «умного контракта» на примерах [2]: вы и ваш приятель играете в тотализатор на исход спортивного матча. Ваши ставки сохраняются в блокчейне в виде транзакций. После окончания матча «умный контракт» автоматически проверяет его исход на каком-нибудь спортивном сайте и переводит всю сумму победителю. В случае использования «умных контрактов» при доставке покупок оплата за товар фиксируется в блокчейне, но только когда приходит автоматическое подтверждение от курьерской службы, деньги поступают продавцу. Уже сейчас в автомобили планируется встраивать возможность дистанционного отключения двигателя правоохранительными органами. С учётом этого становится возможным сделать «умным» кредитный договор (не внёс платеж — машина не заводится).

Выгоды применения технологии блокчейн очевидны: она позволяет существенно снизить транзакционные издержки за счёт исключения из операций «доверенных посредников» (и их комиссионного вознаграждения), она также позволяет существенно повысить скорость осуществления операций, что очень важно в современном мире. Система умных контрактов позволяет сторонам заключать контракты без необходимости избыточно доверять друг другу (контракт сам оплатит работы по факту их выполнения, без задержек «по объективным причинам»), что в

свою очередь способствует росту деловой активности. Испанский банк Santander (10-е место по активам в мире) утверждает, что сможет использовать блокчейн в двух десятках рабочих процессов внутри банка. Применение технологии, по подсчетам аналитиков Santander, может к 2022 году сократить издержки финансовых организаций на \$15–20 млрд, в первую очередь за счет экономии на трансграничных платежах и торговле ценными бумагами [1].

В настоящее время вопрос широкого применения технологии блокчейн активно исследуется крупнейшими мировыми банками. Так в сентябре 2016 года Barclays и израильский стартап Wave осуществили первую в мире торговую сделку с использованием технологии блокчейн, благодаря чему весь процесс, обычно занимающий от 7 до 10 дней, завершился за четыре часа. Сделка касалась экспорта сыра и сливочного масла ирландского сельскохозяйственного кооператива Ornua на сумму \$100 000 компании Seychelles Trading Company (STC) [3]. Активными исследованиями применения технологии блокчейн занимается швейцарский банк UBS Group AG в сотрудничестве с Deutsche Bank AG, Banco Santander SA, брокер ICAP Plc и Bank of New York Mellon Corp. Группа банков планирует внедрить эту технологию на базе одного из банков в Цюрихе и уже обратилась за одобрением этого проекта в регулирующие органы [4]. Прочие мировые финансовые гиганты - Goldman Sachs, JP Morgan и Credit Suisse и еще шесть транснациональных банков - в рамках стартапа R3CEV планируют разработать общие стандарты для технологии блокчейна и найти возможности для применения в секторе финансовых услуг [1]. Компания IBM создаёт специальное подразделение Watson Financial Services, призванное использовать суперкомпьютер IBM Watson для работ в области интеграции облачных технологий и блокчейн. Уже этой осенью компания IBM может запустить блокчейн-решение, ориентированное на удовлетворение финансовых потребностей своих клиентов. В Российской Федерации технологию блокчейн активно пропагандирует председатель правления Сбербанка России Герман Греф. Центральный банк РФ предложил создание консорциума по исследованию и применению блокчейн. По мнению зампреда Банка России Ольги Скоробогатовой финансовые системы на основе блокчейна могут появиться через 3–4 года.

Применение технологии блокчейн не ограничивается только банковским сектором. Стартап BitNation предлагает любому жителю планеты стать гражданином виртуального государства и получить доступ к виртуальным государственным услугам, основанным на технологии блокчейн, например услугу электронной нотариации

документов. В ноябре 2015 года BitNation заключил партнерское соглашение с правительством Эстонии, и теперь граждане Bitnation могут идентифицировать свою реальную личность через систему электронного резидентства Эстонии [2].

Несмотря на все преимущества, технология блокчейн имеет и ряд недостатков. Так совершившиеся транзакции в блокчейн достаточно трудно отменить, даже если эти транзакции стали следствием мошеннических действий. Единственный выход в таком случае – это принудить злоумышленника осуществить ещё одну транзакцию, вернув деньги жертве. Возможна также эксплуатация уязвимостей в программах, реализующих исполнение условий «умного контракта», что было продемонстрировано на примере венчурного фонда The DAO, потерявшего на ошибке в ПО 50 млн. долларов США [5].

Тем не менее, большинство экспертов отмечают, что система блокчейн отличается открытостью и одновременной надежностью. Ее внедрение позволит изменить жизнь к лучшему и исключить многие мошеннические схемы - аферы, «пробелы» в балансах банков и так далее. Благодаря работе новой системы, многие люди смогут избежать финансовых потерь и научиться проверять все проводимые операции. Блокчейн - это универсальная платформа, на которую будут опираться новые стандарты современности. Она изменит действующие экономические и финансовые стандарты в лучшую сторону.

1. Сирануш Шароян. Блокчейн: внезапно нужен всем // Портал РБК, 16.12.2015 [Электрон. ресурс]. – 2015.- Режим доступа: <http://www.rbc.ru/magazine/2016/01/56ba1b779a79477d693621e7>
2. Сергей Добрынин. Революция доверия // Радио Свобода, 28.02.2016 [Электрон. ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.svoboda.org/a/27575751.html>
3. Barclays провел первую в мире торговую сделку с использованием технологии блокчейн // Портал 3D News, 10.09.2016 [Электрон. ресурс].-2016.- Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/939153>
4. UBS And Other Banks Are Not Creating A New Digital Currency - It's Blockchain Settlement Not Money // Forbes, 24.08.2016 [Электрон. ресурс].-2016.- Режим доступа: <http://www.forbes.com/sites/timworstall/2016/08/24/ubs-and-other-banks-are-not-creating-a-new-digital-currency-its-blockchain-settlement-not-money/#2a18d31c2070>
5. Ксения Гейн. Что такое «умные контракты» - или как законно украсть \$50 млн. // Rusbase, 29.07.2016 [Электрон. ресурс].-2016.- Режим доступа: <http://rusbase.com/opinion/clever/>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SCIENCE_SCRUM

Мелюшин П.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Автоматизация и создание информационных систем являются на данный момент одной из самых рентабельных областей деятельности в производстве. Одной из причин активного развития данной области является то, что автоматизация служит основой коренного изменения процессов, играющих важную роль в деятельности человека, и породила надежды на то, что с помощью новых научных дисциплин будут разрешены трудные проблемы и противоречия человеческой жизни. Ведется поиск эффективной индустрии разработки большого количества информационных систем: системы обработки данных, информационные системы управления, маркетинговые системы, системы бухгалтерского учета и тд.

В работе рассмотрены особенности управления процессом проектирования информационных систем и предложен подход по разработке методологических основ для построения информационных систем. Проанализированы существующие концептуальные модели и на их основе предложена технология Science_Scrum.

Современная техника развивается бурными темпами, и для удобства управления устройствами требуется все более совершенное информационное обеспечение. Создание различных информационных систем для персональных компьютеров за десять лет превратилось в важную и прибыльную сферу деятельности. Потребности людей растут, проекты становятся все более масштабными и бюджетными. В таких условиях в компаниях по разработке информационного обеспечения возникает необходимость в совершенствовании методологий для более эффективной отдачи.

В настоящее время существует много различных методологий разработки программных продуктов, рассчитанных на крупные и мелкие проекты, на большие и маленькие команды разработчиков. Для того чтобы выбранная методология приносила максимальную пользу, необходимо правильно оптимизировать и структурировать процесс разработки.

Существует много методологий разработки, однако проанализируем наиболее известные и развитые:

1. Экстремальное программирование (eXtreme Programming XP).
2. Crystal.
3. Методология адаптивных систем (ASD).
4. Функционально-ориентированная разработка (Feature Driven Development или FDD).

5. Метод разработки динамических систем (Dynamic System Development Method DSDM).

Важным критерием проекта является легкость внедрения методологии в процесс разработки. Для XP характерны жесткие правила выполнения проекта. Основными принципами методологии являются: простота решений, интенсивная разработка малыми группами, общение в группе и между группами, заказчик включен в процесс разработки, достаточная смелость и желание идти на риск.

Для семейства методологий Crystal характерна общность методик и абстрактные схемы. В ней не предусмотрены конкретные меры по организации работы в коллективе или планированию. По эффективности она проигрывает остальным методологиям, а по своей жесткости очень далеко отстоит от XP. Методология ASD построена на концептуальной базе теории сложных адаптивных систем. Она рассчитана на использование в экстремальных проектах, в которых преобладают быстрый темп разработок.

В технологии FDD ключевую роль играет понятие функции системы. Функция реализовываться не более чем за две недели и если сценарий использования достаточно мал, его можно считать функцией.

Для технологии DSDM характерно разработка проекта в короткие сроки с использованием ограниченного количества ресурсов, предусмотренного бюджетом. DSDM стремится сократить связующие звенья между заказчиком и разработчиком, аналитиком и дизайнером. Анализ легкости внедрения методик в процесс разработки требует поиска приемов упрощающих работу заказчика и исполнителя.

Важными критериями проектируемой системы являются надежность и жизненный цикл проекта (ориентировочно 10-30 лет).

При использовании eXtreme Programming тщательное предварительное проектирование заменяется постоянным присутствием в команде заказчика, готового ответить на любой вопрос и оценить любой прототип.

Семейство методологий Crystal рассматривает процесс создания системы как конечную целенаправленную игру и утверждает, что у этой игры есть всего две цели: главная и вспомогательная. Главная цель заключается в том, чтобы успешно закончить проект. Второстепенная цель - подготовиться к следующей игре.

Технология ASD базируется на принципе непрерывной адаптации, благодаря которой возни-

кает другой жизненный цикл проекта. Изменения в проекте становятся нормой.

Технология DSDM основана на непрерывном вовлечении пользователя в итерационный процесс разработки для которого не страшны изменения требований, но в то же время достаточно приспособлен к использованию с формальной системой управления проектом.

Для анализируемых технологий есть один существенный недостаток, из-за которого большинство заказчиков от них отказываются. Чтобы сделать процесс разработки предсказуемым, необходимо наладить дисциплину внутри коллектива, а для этого нужно точно следовать предписаниям методологии.

Альтернатива - использовать методологию разработки, которая превращает создание информационных систем в упорядоченный процесс, с помощью которого можно сделать разработку информационных систем более прогнозируемой и эффективной [1].

Автором предлагается подход на основе технологии Science_Scrum, основанный на принципе восходящей прогнозной разработки [2], когда система строится вокруг ключевых моделей, которые создаются на ранних стадиях разработки. Результаты предъявляются заказчику, который может оценить будущие и текущие тенденции. В проекте выделяется некоторый набор задач, которые должны быть реализованы для успешного его завершения. Для сложных проектов этот набор будет иметь достаточно большой вес. Декомпозиция концептуальных требований может быть глубокой и нужна система, структурирующая требования.

В начале проектирования владелец продукта и заказчик формируют концепцию информационной системы, которая показывает, для кого предназначен продукт, какие преимущества получают пользователи и какие существуют конкуренты. Результатом является схема, обладающая только частью необходимых функций. Анализ моделей разворачивается у заинтересованных лиц для предварительного анализа соответствия ожиданиям заказчика.

Помимо конечного продукта, всегда создаются вспомогательные промежуточные продукты: модели, схемы, описания. Их должно быть ровно столько, сколько необходимо для достижения конечной цели. Проблема состоит в том, что очень сложно заранее предсказать, какие промежуточные продукты нужны, а какие – нет.

Не стоит забывать и о том, что чем больше система, тем больше в ней со временем появляется ошибок, которые все сложнее и сложнее исправлять. А это означает, что большинство крупных создаваемых систем имеют долгий тестовый период. Редко какие компании закладывают в план проекта этот отрезок времени, а потому очень часто происходит срыв сроков сдачи проекта. Для достижения этой цели создается детальное описание процесса, важное место в котором занимает прогнозирование.

Предлагаемый подход оказывается эффективнее по нескольким показателям. Он приспособлен к меняющимся требованиям. Изменение требований и добавление новых свойств, определяемых заказчиком или нуждами технологии, оценивается на ранней стадии проекта. Интеграция будущих требований в начале проекта исключаются переработки и потери времени – иногда до 40% всего объема проекта [1]. Риски обнаруживаются и устраняются на ранних итерациях. Итеративный подход минимизирует риски на ранних стадиях, когда тестируются все компоненты. Дефекты можно найти и исправить за несколько итераций, что обеспечивает создание четкой архитектуры и высококачественного приложения. Узкие места обнаруживаются еще на ранних итерациях, а не в конце проекта при глобальном тестировании.

Лучшее использование персонала в проекте. Совмещается использование каскадного подхода с организацией по типу конвейера. Прогнозисты аналитики посылают будущие требования проектировщикам, которые отсылают свой продукт программистам, которые посылают компоненты специалистам по интеграции, которые отсылают систему тестировщикам. Такие переходы исключают ошибки и недопонимание разработчиков.

1. Мелюшин П.В., Хмель С.А., Казачинская Е.А. Оптимальный алгоритм проектирования устойчивых к сбоям информационных систем обработки электронных медицинских записей. НАУКА И ТЕХНИКА Мн. N 3. 2014.
2. Мелюшин П.В., Якубчик Е.О. Моделирование надежных информационных систем обработки электронных медицинских записей, Материалы 8-ой международной конференции «Приборостроение -2015».

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Серченя Т.И.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В качестве основной цели Программы развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года определено формирование конкурентоспособного инновационного сектора экономики, ориентированного на создание высокопроизводительных рабочих мест. Согласно Программе достижение поставленной цели возможно при реализации трех направлений, одним из которых является модернизация традиционных секторов промышленности. Результатом проводимых мероприятий должен стать рост производительности труда по добавленной стоимости, выпуск соответствующей мировым стандартам продукции и наращивание экспортного потенциала продукции [1]. Однако в этом случае модернизация не должна сводиться лишь к технологическому обновлению.

В переводе с французского модернизация (от франц. *moderne*) – это «изменение, совершенствование, отвечающее новейшим, современным требованиям». В этом смысле наиболее емкое определение модернизации, на наш взгляд, содержится в трудах ИМЭМО РАН, где под модернизацией понимается «непрерывный процесс совершенствования институциональной, технологической, трудовой, организационно-управленческой, территориальной, финансовой структуры хозяйства в стационарном режиме воспроизводства вещного и человеческого капитала» [2, с.9]. Однако данное определение сущности модернизации не лишено недостатков. Так, выделенные элементы модернизации входят в модель «догоняющей» модернизации, которая рекомендована для стран с переходной экономикой. Модель «догоняющей» модернизации нивелирует внутренние источники и механизмы экономического роста страны, предполагает гонку за лидером по давно отлаженной траектории без учета национальных особенностей конкретных стран [3, с.22]. Реализация же модели «обгоняющей» модернизации предполагает инновационно-технологические прорывы по приоритетным направлениям развития.

Особенность современного этапа социально-экономического развития Беларуси состоит в том, что одновременно приходится решать задачи эффективности текущего функционирования, и опережающего развития. Для обеспечения опережающего развития важно обеспечить реализацию национальных конкурентных преимуществ. В концепции новой экономической географии Пола Кругмана конкурентоспособность

национальной экономики (отдельного региона, отрасли) определяется конкурентными преимуществами «первой» и «второй» природы. К конкурентным преимуществам «первой природы» относят изначально данные факторы (ресурсы), которые определяют ценовые преимущества определенных отраслей преимущественно в кратко- или среднесрочном периоде. Долгосрочное же развитие отраслей, регионов, всей национальной экономики обеспечивают преимущества «второй природы» – созданные факторы (ресурсы), такие как человеческий капитал, экономические институты, агломерационный эффект [4]. Агломерационный эффект, состоящий из эффекта масштаба и эффекта охвата, особенно важен для отраслей и производств с высокой добавленной стоимостью, связанных с производством нового знания. Эффективность пространственной агломерации знаний повышается при создании особых структур – кластеров. Кластер как устойчивое партнерство взаимосвязанных организаций и отдельных лиц может иметь потенциал, который превышает простую сумму потенциалов отдельных составляющих. Это приращение возникает как результат сотрудничества и эффективного использования возможностей партнеров в длительном периоде, сочетания кооперации и конкуренции, близости потребителя и производителя, сетевых эффектов и диффузии знаний и умений за счет миграции персонала и выделения бизнеса.

В Республике Беларусь Концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров была принята 16 января 2014г. соответствие с Концепцией инновационно-промышленный кластер определяется как кластер, участники которого обеспечивают и осуществляют на систематической и регулярной основе инновационную деятельность, направленную на разработку и производство инновационной и высокотехнологичной (наукоемкой) продукции. В качестве приоритетных областей создания инновационно-промышленных кластеров определены: 1) биотехнологии и биоматериалы; 2) фармацевтическая промышленность; 3) нанотехнологии и наноматериалы; 4) медицинская техника; 5) приборостроение, оптика, электроника, робототехника; 6) информационные технологии; 7) ресурсо- и энергосбережение.

По состоянию на 2016 год реально созданы и функционируют: 1) IT-кластер на базе Парка

высоких технологий. Компании из 61 страны мира являются заказчиками Парка высоких технологий; 91,5 % производимого в Парке программного обеспечения идет на экспорт. 40,2 % поставляется в США и Канаду, 46,7 % – в страны Европы, 10,7 % – в Россию и СНГ. Также 09.06.2016 г. на территории Парка высоких технологий научно-производственный кластер официально открыла компания ИВА; 2) светотехнический кластер, созданный с целью координации деятельности его участников в области разработки, внедрения, производства и эксплуатации энергоэффективного осветительного оборудования с использованием лучших мировых достижений в этой области. В состав кластера вошли два предприятия от холдинга "Горизонт" (Брестский электроламповый завод и Институт цифрового телевидения), а также Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси; 3) первый медико-фармацевтический кластер «Союз медицинских, фармацевтических и научно-образовательных организаций», основной целью создания которого явилось развитие научного, технологического и производственного потенциала Витебской области в фармацевтической сфере, формирование современной инфраструктуры для разработки импортозамещающих и инновационных лекарственных средств. Участниками кластера являются УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», ООО «ВитВар», ООО «АконитФарма», ООО «НАТИВИТА», ООО «МЕДЕЛКОМБЕЛ», ООО «Фарммаркетинг Групп», ООО «Рубикон», КУПП «Витебский Областной Центр Маркетинга», ОАО «БелВитунифарм». При этом участниками кластера налажено сотрудничество с Союзом фармацевтических кластеров России, в структуру которого входят 145 компаний; 4) Республиканский научно-практический биотехнологический кластер, созданный на базе Национальной академии наук для целей научного обеспечения развития биотехнологической отрасли страны. Объединяет ведущие профильные научно-исследовательские институты (Институт микробиологии НАН, Институт генетики и цитологии НАН, Институт мясо-молочной промышленности) и промышленные предприятия (ОАО "Бобруйский завод биотехнологий", ООО "Франдеса", ООО "Биоком").

В мае 2016 года компания Apply Logistic Group заявила о создании приборостроительного

кластера. Предполагается, что ядром кластера выступит научно-производственное предприятие «АДАНИ», основными направлениями деятельности которого является разработка и производство рентгеновских систем досмотра, медицинского рентгенодиагностического оборудования, систем промышленного неразрушающего контроля. Более 70% продукции предприятия является инновационной продукцией. По расчетам специалистов Apply Logistic Group суммарный годовой оборот кластера к 2020 году может составить 450 млн.долл. США, а годовой объем экспорта – 230 млн.долл. США.

Каждый из создаваемых кластеров является либо должен стать инновационным по своей сути, включать в себя всю инновационную цепочку от генерации научных знаний, формирования бизнес-идей до реализации новой продукции на новых или традиционных рынках сбыта. Именно инновационность позволяет избежать «подводных камней», присущих отраслевой структуре, таких как: внешняя уязвимость; негибкость организационных структур; уменьшение конкурентных сил вследствие наличия кооперационных связей между участниками кластера; эффект замкнутости, обусловленный устоявшимися связями как между производствами одной отрасли, так и межотраслевыми производствами.

1. Программа развития промышленного комплекса Республики Беларусь на период до 2020 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 05 июля 2012 г., №622 // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2012.

2. Современные процессы модернизации экономики зарубежных стран / Отв. ред. В.Б. Кондратьев. – М.: ИМЭМО, 2012. – с.364.

3. Шимов, В. Модернизация национальной экономики – императив времени / В. Шимов, Л. Крюков // Белорус. экон. журнал. – 2013. – №2. – С.18 – 42.

4. Белова, Л. Зарубежный опыт формирования региональных кластеров как конкурентного преимущества «второй природы» / Л.Белова [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.ukros.ru/wp-content/uploads/2012/08/Белова2.doc>. -- Дата доступа: 27.08.2016.

УДК 658.5(075.8)

ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И РОСТА ПРИБЫЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

Аносов В.М., Бондарюк А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Поиск путей и резервов повышения эффективности производства, которыми, среди прочего, являются прибыль и рентабельность, представляется в современных условиях весьма актуальными. Свертывание традиционных внешних рынков, сокращение платежеспособного спроса на внутреннем рынке привело не только к замедлению темпов роста производства, но и к сокращению объемов производства в такой ключевой сфере как промышленность. Это потребовало пересмотра сложившихся ранее механизмов роста прибыли и рентабельности, опирающихся исключительно на объемные показатели, и перехода к альтернативным источникам ее увеличения, в частности, экономии используемых в производстве ресурсов, включая финансовых. При этом, если в части управления основными средствами и текущими активами имеются определенные отечественные наработки, значительный зарубежный опыт, то в части управления финансовыми ресурсами в условиях посткризисного состояния подобные наработки отсутствуют. Это сказывается на финансовом состоянии, возможностях дальнейшего развития бизнеса промышленных предприятий.

Прибыль предприятий является источником сохранения и развития бизнеса, обеспечивает бюджетные поступления. Между тем в условиях кризиса прибыль организаций снизилась и имеет тенденцию дальнейшего уменьшения.

Все это делает поиск путей стабилизации и роста прибыли актуальным, имеет практическую ценность для предприятий и организаций.

По современным научным представлениям получение прибыли является целью развития бизнеса, она создает предпосылки поддержания и развития производства. Отражая результаты хозяйственной деятельности, ее эффективность, прибыль становится объективной основой материального поощрения работников.

Основными факторами стабилизации и роста прибыли от реализации принято считать увеличение объемов выпускаемой продукции против базисного уровня, повышение цен на нее в том числе за счет изменения ассортимента выпускаемой продукции, экономия затрат на производство.

Изменения объемов производства сказывается двояко, очевидно, при прочих равных условиях увеличение объемов производства и реализации продукции приводит к увеличению массы прибыли.

Влияние уровня цен является одним из решающих факторов стабилизации и роста прибыли. Очевидно, повышение цен на производимую продукцию при неизменном уровне затрат является предпосылкой увеличения прибыли. Не требуется сверхпланового наращивания объемов производства, ни экономии затрат. Считается, что одним из условий позволяющих добиться увеличения прибыли за счет роста цен является монопольное положение на рынке. Разумеется, подобную деятельность нельзя признать правомерной и для минимизации ее негативных последствий применяется антимонопольное законодательство.

Отметим, что в условиях рынка эти меры дополняются механизмами конкуренции и соревновательности. Произвольное повышение цен, автоматически приводит к потере конкурентоспособности.

Начавшаяся в 2011г. либерализация цен формально создает условия для повышения роли цен в формировании прибыли. Субъектам хозяйствования предоставлено право самим устанавливать цены на производимую продукцию при наличии необходимых обоснований, например, увеличении стоимости материальных, энергетических ресурсов, заработной платы.

По нашему мнению, учитывая изложенное, в условиях кризиса основанием для пересмотра цен могло бы стать обеспечение минимальной прибыли по аналогии со строительством, где в сметную стоимость строящегося объекта закладывается минимальная прибыль в форме плановых накоплений или сметной прибыли.

Экономия затрат во многом определяется состоянием инвестиционной деятельности.

Важным фактором экономии затрат и увеличения прибыли является повышение производительности труда.

Формально производительность труда и себестоимость, прибыль напрямую не взаимодействуют. Между тем влияние производительности труда на себестоимость и прибыль проявляется в удельном весе этих расходов в структуре затрат – и в РБ и в странах с развитой рыночной экономикой этот показатель находится на одинаковом уровне – около 20% расходов. Но у конкурентов средняя заработная плата на порядок выше, чем в отечественной промышленности.

Влияние производительности труда на себестоимость и прибыль проявляется в том, что, там, где у конкурентов работает 1 человек, на

отечественных предприятиях – 8-10. Фактор дешевизны рабочей силы в этих условиях не срабатывает, не обеспечивает дополнительную прибыль и конкурентные преимущества отечественных товаропроизводителей.

Повышение производительности труда как фактор снижения себестоимости и роста прибыли проявит себя в складывающейся ситуации при условии оптимизации численности персонала предприятий, либерализации формирования заработной платы.

Аналогичное положение складывается в промышленности в части экономии материальных затрат и энергоемкостью производимой продукции.

Представляется актуальным мнение, что на основе анализа взаимосвязи уровня изношенности основных средств (соответственно, потребности в инвестициях) и уровня применяемых в производстве технических, технологических решений, утверждает, что без форсированного обновления основных фондов невозможно добиться повышения эффективности и конкурентоспособности.

Между тем, инвестиции в основные средства промышленных предприятий сократились.

Так выявилось, что при составлении баланса доходов и расходов - важнейшей формы финансового планирования с принятием Инструкции по бухгалтерскому учету доходов и расходов, было приостановлено создание фонда накопления.

При этом источники финансирования инвестиций и пополнения собственных оборотных средств оказались не структурированными, их движение трудно проконтролировать. Что во многом парализовало работу по составлению обоснованных финансовых планов.

Инновации – одна из предпосылок осуществления инвестиций в основные фонды на новой технической основе. По своей сути инновация (нововведение) – это конечный результат инновационной деятельности, получивший реализацию в виде нового или усовершенствованного продукта, технологического процесса, реализуемого на рынке, используемого в практической деятельности.

В зависимости от условий осуществления и получаемых результатов инновации принято подразделять на несколько классификационных групп. По нашему мнению, эффективность инвестиций во многом определяется объемом и соотношением догоняющих и прорывных.

Между тем, признано, рост конкурентоспособности экономики может быть достигнут за счет внедрения новых высоких технологий V –

VI технологических укладов (информационных, наноэлектронно-оптических, тонкой химии, биологических и др.), обладающих наибольшей добавленной стоимостью и низкой энерго- и материалоёмкостью, и производства новейших экологически безопасных (чистых) материалов и продуктов.

Приоритетным направлением развития должна стать специализация в конкретных сферах технологической компетентности при одновременной кооперации научно-технической деятельности и интеграции с транснациональными корпорациями.

Решение: внедрение современных технологий управления инвестиционной (инновационной) деятельностью, например, управления проектами. Суть управления проектами может быть сформулирована следующим образом. Достижение конечной цели, результата инвестиционной, инновационной деятельности разбивается на несколько этапов во времени и выделяемым финансовым ресурсам, каждый из которых имеет свой бюджет, в который требуется уложиться и призван служить своеобразной «ступенькой» в достижение конечной цели.

Отметим, что основная часть финансирования из-за ограниченности собственных средств, дорогостоящих кредитных осуществляется либо в форме бюджетных ассигнований, либо перечислений из инновационного фонда. Доступ к ним субъектов хозяйствования, решивших реализовать инновационные проекты самостоятельно, практически закрыт.

В США, ФРГ и в успешно развивающихся в инновационном отношении странах Юго-Восточной Азии, как правило, применяется иная структура финансирования. Ее основу составляют банковские кредиты и эмиссия ценных бумаг (в обоих случаях под залог имущества или иных активов и поручительство).

Новые подходы к организации привлечения капитала в создание и развитие инновационных организаций предлагает краудное инвестирование, которое позволяет обеспечить организационно-экономические предпосылки привлечения капитала микроинвесторов в создание и развитие малых и средних инновационных предприятий. Например, краудфандинг позволяет производить на основе использования возможностей новейших информационно-коммуникационных технологий коллективное финансирование небольшими суммами в обмен на будущий продукт, или в другой форме вознаграждения для поддержки развития инициатив для специфичных (конкретных) целей.

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРЯМЫХ ИНОСТРАННЫХ ИНВЕСТИЦИЙ КАК ГЕНЕРАТОРА ЭКСТЕРНАЛИЙ В ЭКОНОМИКЕ

Макарская М.М.¹, Венгурова Е.В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка
Минск, Республика Беларусь

Иностранные инвестиции являются ключевым компонентом государственной политики в отношении открытия сектора услуг внешнему миру. Активное и рациональное использование иностранных инвестиций способствует продолжительному, быстрому и здоровому развитию третичного сектора, играет активную роль во внедрении передовых технологий и управленческого опыта, содействует экономической реструктуризации и модернизации сектора услуг, созданию новых рабочих мест и увеличению доходов государства. Изучение вопросов, связанных с прямыми иностранными инвестициями, является важным и с теоретической, и с практической стороны. Анализом инвестиционного режима занимаются ведущие государственные научные и исследовательские институты.

Прямые иностранные инвестиции являются важным фактором в продвижении реформ и экономического роста. Иностранные инвестиции обеспечивают приток капитала, оборудования и технологий для экономического развития. Заинтересованность страны в иностранном капитале можно объяснить возможностью не только привлекать дополнительные финансовые ресурсы, но и получать доступ к технологиям, заимствовать управленческий опыт, создавать новые рабочие места, развивать экспортноориентированные отрасли, тем самым увеличивать объемы валютных поступлений и стимулировать экономический рост. В свою очередь, иностранная сторона получает возможность выхода на внутренний рынок, пользуется рабочей силой, получает преференции и налоговые льготы.

Важное место в экономической теории занимает понятие экстерналий (внешних эффектов). Под экстерналиями понимаются выгоды или издержки от определенной деятельности, не имеющие отражения в цене и влияющие на благосостояние третьих лиц; ситуация, когда в результате рыночной сделки происходит некомпенсируемое воздействие (положительное или отрицательное) непосредственных сторон сделки на третьих лиц, не участвующих в ней.

Начало развитию теории экстерналий положил Артур Пигу в 1920 году в книге «Экономическая теория благосостояния» [1]. Таким образом, различают положительные и отрицательные экстерналии. К первым относятся внешние эффекты, приносящие выгоду лицам, не являющимся субъектами деятельности. Так, например,

получение образования отдельными лицами положительно влияет на уровень жизни в обществе. Вторые, в свою очередь, наносят ущерб третьим лицам. Наиболее распространенным примером отрицательных экстерналий является загрязнение окружающей среды в процессе производства.

Понятие экстерналий лежит в основе теории эндогенного экономического роста. Странники эндогенной теории роста основывались на предположении о возникающих в процессе обучения работников положительных внешних эффектах. Согласно теории, внешние эффекты, связанные с накоплением и передачей технологических знаний, являются ключевым двигателем экономического роста. Впервые эта концепция была представлена в работе К. Эрроу, где автор ввел идею «обучения в процессе практики» [2].

Приверженцы эндогенной теории выдвинули гипотезу об эндогенном характере технического прогресса, другими словами НТП – внутренний, системный фактор роста. При этом возрастающая отдача от инвестиций в человеческий капитал и технологии полезна не только тем, кто осуществляет вложения, но и всему обществу. В работе П. Ромера отражена связь между уровнем производительности и уровнем знаний, при этом технологические знания получены посредством инвестиций [3].

В свою очередь, Р. Лукас усиливает значение инвестиций в человеческий капитал. В отличие от мнения П. Ромера, Р. Лукас считает, что знания выступают не просто результатом инвестиционных решений, а являются активным процессом в экономике, то есть экономические субъекты постоянно производят выбор между инвестициями в человеческий капитал или вложениями в физический капитал [4].

Среди особенностей прямых иностранных инвестиций (ПИИ) следует выделить то, что они могут иметь как прямые, так и внешние эффекты на отечественные предприятия принимающей страны и экономику реципиента в целом. Появление иностранных компаний создает возможности заимствования технологий и организационного опыта для местных предприятий. Такое воздействие известно как демонстрационный эффект. Наряду с ним ПИИ также способствуют привлечению иностранных специалистов, ранее работавших в иностранных компаниях. Все это вместе с усиливающейся конкуренцией на внут-

реннем рынке можно обозначить как горизонтальные эффекты от ПИИ. К вертикальным эффектам относится создание иностранными компаниями стимулов для отечественных предприятий, желающих стать поставщиками зарубежных компаний, проводить реструктуризацию и модернизацию производства. В развивающейся экономике воздействие прямых иностранных инвестиций является неоднозначным. Примером прямого влияния иностранных инвестиций на экономическое развитие является накопление капитала. С ростом привлекаемых ПИИ усиливается конкуренция на внутреннем рынке, увеличивается число частных компаний, действующих на рыночной основе, что становится причиной улучшения их продуктивности. Например, Китай добился высоких показателей совокупной производительности факторов производства (total factor productivity, СФП). СФП представляет собой объем производства в расчете на единицу затрат факторов производства и часто связывается с последствиями научно-технического прогресса и повышением эффективности. Китай испытывает быстрый рост СФП благодаря возможности получить доступ и использовать существующие зарубежные технологии и ноу-хау [5].

Что касается уровня занятости, то ПИИ создают возможности для трудоустройства непосредственно путем создания компаний с иностранным капиталом. Причем в данном случае происходит мультипликационный эффект – увеличивается оборот на смежных предприятиях, у поставщиков сырья, комплектующих и услуг, соответственно появляется потребность в дополнительной рабочей силе.

Тем не менее, следует отметить и негативные последствия. Иностранный капитал также может отрицательно воздействовать на экономику принимающей страны. Вместе с тем и географическое распределение ПИИ в большинстве своем является неравномерным. ПИИ в основном сконцентрированы в преуспевающих и крупных городах. Такое неравномерное региональное распределение ПИИ является результатом целого ряда факторов, включая политику в области ПИИ и региональные различия в инвестиционной среде. Это говорит о том, что ПИИ способствуют расширению разрыва в доходах между регионами. Возрастающее присутствие ино-

странных компаний усиливает и конкуренцию. Многие предприятия не обладают всеми преимуществами иностранных фирм, такими как наличие передовых технологий, управленческого опыта, быстрого доступа к кредиту, преференций, предоставляемых правительством и т.д. В результате растет конкурентное давление, ведущее к уходу с рынка местных компаний. Предвзятая политика в отношении иностранных фирм порождает ряд социальных и экономических проблем, таких как рыночные искажения, потери благосостояния и региональные несоответствия доходов.

В конечном счете, приток ПИИ порождает зависимость дальнейшего экономического развития от иностранного капитала. В результате кризиса страна может столкнуться со многими проблемами, что говорит о необходимости дальнейших шагов на пути структурных реформ. Тот факт, что одним из основных двигателей роста экономики является инвестиционная привлекательность, ставит страну в зависимое от внешних факторов положение. Таким образом, на структурных изменениях экономики существенным образом может сказаться приверженность государства «открытости внешнему миру», при том, что огромное значение уделяется стимулированию внешнеэкономических операций. Необходимость расширения внешних связей и ориентации национальной экономики на открытость обоснована, прежде всего, стремлением к успехам в поддержании значительного объема ПИИ и постоянном увеличении притока иностранного капитала.

1. Begg D., Fischer and S., Dornbusch R. Economics. Berkshire. 2005. P. 267
2. Begg D., Fischer and S., Dornbusch R. Economics. Berkshire. 2005. P. 267
3. Romer P.M. Increasing returns and long-run growth // J. of polit. economy. – 1986, N 94. – P.1002–1037.
4. Lucas R.E. On the mechanics of economic development // J. of monetary economics. 1990. N 22. P. 3–42.
5. Morrison W.. China's Economic Conditions // Congressional Research Service, 2012 - <http://www.fas.org/sgp/crs/row/RL33534.pdf>

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ В ЦИКЛЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Гурко А.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В основе любой управленческой деятельности лежит цикл управления, для описания и измерения которого используются показатели и количественные модели. В частности, в [1, 2] рассматриваются этапы управленческого цикла СПРУКАР: Сбор информации – Планирование – Реализация – Учет – Контроль – Анализ – Регулирование.

Этапы управленческого цикла часто понимаются и как основные функции системы управления. В реализации этих функций задействованы и субъект и объект управления.

Рассмотрим, в чем заключаются функции (этапы) *учета, контроля и анализа*. Каков ожидаемый результат их выполнения?

Очевидно, что общая цель их выполнения – подготовка информации для реализации этапа *регулирования*, иными словами, подготовка информации для принятия управленческих решений. Как раз ответы на вопросы: какие данные следует *учитывать*, каким образом организовать *контроль* полученных данных, как *анализировать* полученные данные, и какие выводы при этом делать, дает экономическая диагностика.

Замена этапов *учет, контроль и анализ* в цикле управления на этап *диагностирование*, применение терминов технического диагностирования, позволяет привлечь мощный формальный аппарат диагностирования, разработанный для технических, человеко-машинных и других систем, особенно при выполнении автоматизированных рутинных управленческих операций, естественно с учетом сложности экономических объектов.

Рассмотрим специфику терминов технического диагностирования [3] применительно к диагностированию экономических объектов.

Экономическая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения состояния экономических объектов.

Объект диагностирования – экономический объект [4], подлежащий диагностированию.

Диагностирование – процесс определения состояния экономического объекта с требуемой глубиной и точностью.

Состояние экономического объекта – состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров (показателей, качественных параметров), установленных регламентом (регламентирующими документами) экономического объекта.

Проблема экономического объекта – несоответствия желаемых (целевых) и фактических результатов функционирования экономического объекта, требующие их изучения и устранения (разрешения).

Причина проблемы – фактор или совокупность факторов, изменение которых приводит к разрешению (устранению) проблемы.

Устойчивость проблемы:

– сбой в работе (однократное возникновение проблемы, устраняемое путем повторения выполнения требуемых функций объекта);

– неустойчивая проблема (произвольным образом (или периодически) повторяющаяся проблема);

– устойчивая проблема (не устраняется путем повторения выполнения требуемых функций объекта).

Виды состояния экономического объекта:

– объект не имеет проблем (параметры (показатели) полностью соответствуют установленным регламентам объекта);

– объект имеет проблемы (некоторые параметры имеют отклонения от установленных регламентов объекта);

– объект работоспособен (существующие проблемы позволяют объекту выполнять его функции);

– объект неработоспособен (существующие проблемы не позволяют объекту выполнять его функции в полном объеме);

– объект функционирует удовлетворительно (существующие проблемы позволяют объекту выполнять требуемые (в данный момент) функции);

– объект функционирует неудовлетворительно (существующие проблемы не позволяют объекту выполнять требуемые функции).

Цель диагностирования экономического объекта – установление наличия в нем проблем.

Задачи диагностирования:

– задача контроля (установление проблем при работе экономического объекта);

– задача классификации (определение характера обнаруженной проблемы, степени ее влияния (устойчивость) на деятельность объекта);

– задача локализации (поиск причины возникновения проблемы, установление диагноза);

– задача восстановления (поиск возможностей оперативного восстановления эффективной деятельности экономического объекта).

Контроль состояния - проверка соответствия значений параметров объекта требованиям регламентов и определение на этой основе одного из заданных видов состояния в данный момент времени. Задача контроля первична по отношению к задачам классификации и локализации, т.е. прежде чем классифицировать и локализовать проблему, ее необходимо обнаружить. Задача контроля сводится к задаче распознавания состояния объекта диагностирования.

Субъект диагностирования – персонал, осуществляющий диагностирование объекта.

Диагностическое обеспечение - комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта

Система диагностирования экономического объекта – совокупность диагностического обеспечения, объекта и исполнителей (субъекта диагностирования), необходимая для проведения диагностирования (подготовленная к диагностированию и осуществляющая его) по правилам, установленным соответствующим регламентом объекта.

Диагноз – результат диагностирования, заключение о состоянии экономического объекта и его причинах.

Прогнозирование состояния экономического объекта – определение состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящем интервале времени.

Диагностическая модель – формализованное описание экономического объекта, необходимое для решения задач диагностирования.

Диагностический (контролируемый) параметр – параметр (показатель) объекта, используемый при его диагностировании (контроле).

Диагностический признак – наблюдаемый в процессе диагностирования субъектом параметр объекта, используемый при установлении диагноза.

Алгоритм диагностирования (контроля состояния) - совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования (контроля).

Диагностирование делает возможным оценку принимаемым решениям, опираясь на понятия используемая система диагностирования, показатели и характеристики диагностирования [3]:

– продолжительность диагностирования (интервал времени, необходимый для проведения диагностирования экономического объекта);

– достоверность диагностирования (степень соответствия результатов диагностирования действительному состоянию объекта);

– полнота диагностирования (характеристика определяющая возможность выявления причин проблем в экономическом объекте при выбранном методе его диагностирования)

– глубина поиска причин проблем (характеристика, задаваемая указанием составной части объекта или процесса с точностью, до которой определяется причина проблемы)

– условная вероятность необнаруженной проблемы при диагностировании (вероятность того, что неработоспособный экономический объект в результате диагностирования признается бесперебойным (работоспособным)

– условная вероятность ложной проблемы в данном элементе (процессе) объекта (вероятность того, что при отсутствии проблем, в результате диагностирования принимается решение о наличии проблем в данном элементе (процессе))

Все это делает выполнение функции *регулирование* более обоснованным и эффективным.

Замена этапов управленческого цикла может быть эффективной в случае функционирования системы диагностирования, созданной в рамках системы регулярного менеджмента [2]. При этом, система диагностирования должна пронизывать все компоненты менеджмента от маркетинга до управления персоналом.

1. МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ: Учебное пособие / Под ред. Д. А. Новикова. – М.: УРСС (Editorial URSS), 2011. (Умное управление).
2. 7 нот менеджмента. Настольная книга руководителя / под ред. В.В.Кондратьева. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Эксмо, 2008. – 976 с.- (7 нот менеджмента).
3. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика Термины и определения
4. Гурко А.И. Экономический объект диагностирования, его свойства и особенности. Приборостроение-2014. Материалы 7-й Международной научно-технической конференции, Минск, БНТУ, 2014. – С. 416-418.

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ В СПЕЦПРАКТИКУМЕ ПО ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Людчик О.Р., Зайков В.А., Михей В.Н., Вишневская Е.В.

Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь

Введение

Лазерный отжиг, нанесение покрытий с уникальными свойствами, лазерная маркировка, формирование объемных изображений внутри прозрачных материалов – вот далеко не полный перечень задач, успешно решаемых с помощью автоматизированного лазерно-технологического оборудования [1–3]. В последнее время применение лазеров в технологии микро- и нанoeлектроники расширяет возможности получения принципиально новых приборных структур с уникальными свойствами.

Для полупроводников основными видами поглощения лазерного излучения являются [4]:

- фундаментальное поглощение, которое приводит к переходу электрона из валентной зоны в зону проводимости при условии $h\nu \geq E_g$, где E_g - ширина запрещенной зоны, а ν - частота лазерного излучения;

- примесное поглощение, вызванное переходом электронов от атома примеси в зону проводимости, или из валентной зоны на уровни примеси;

- поглощение свободными носителями заряда, обусловленное движением под действием электрических полей световой волны;

- поглощение фононами, когда волна вступает во взаимодействие с колебаниями решетки, изменяя при этом число фотонов;

- экситонное поглощение, которое происходит с образованием связанной пары электрон-дырка.

Для достижения максимально положительного результата лазерной обработки необходимо учитывать нелинейные параметры коэффициентов поглощения, отражения и пропускания излучения полупроводниковым материалом, которые нелинейно изменяются с увеличением мощности излучения лазера [5].

В настоящее время на кафедре физической электроники и нанотехнологий БГУ в специальном практикуме по лазерной обработке материалов апробируется лабораторный лазерный комплекс на основе импульсно-периодического твердотельного АИГ Nd³⁺ лазера с диодной накачкой, разработанный белорусской фирмой “Lotis II”. В настоящей работе представлен анализ учебных заданий практикума по теме: “Изучение взаимодействия импульсного лазерного излучения с полупроводниковыми материалами и структурами”, предлагаемых для студентов старших курсов и магистрантов факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ. В

учебных заданиях рассмотрены технологические процессы лазерной обработки полупроводниковых структур, включая операции лазерного отжига легированных Si подложек, процессы рекристаллизации аморфных и поликристаллических кремниевых слоев, а также лазерную обработку окисленных кремниевых структур (SiO₂/Si).

Описание лазерного комплекса

Научно-учебный лазерный комплекс 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. 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; энергия импульса излучения до 25 мДж; минимальный диаметр области фокусировки 50 мкм; размер области обработки: 150×150×100 мм. 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, частота импульсов, установка скорости перемещения координатного стола; загрузка изображения площадки облучения поверхности подложки; задание режима сканирования лазерного пучка; отображения на экране текущего цикла обработки.

В процессе отработки базовых режимов облучения нами был выбран метод облучения в сходящихся лучах (дефокусировка). При этом обеспечивались и более равномерное распределение и более плавная регулировка плотности

энергии в зоне облучения. При выполнении учебных задач используются пластины n-типа КЭФ 4.5, с ориентацией (100), пластины p-типа КДБ-10 с ориентацией (111), а также пластины с термически выращенным окислом толщиной 150 нм. Для анализа результатов облучения применяют следующие приборы: оптический микроскоп, четырехзондовую установку для измерения удельных сопротивлений ИУС-3 и систему спектрофотометрического контроля, с помощью которой получают спектры отражения образцов до и после лазерной обработки.

Обзор учебных заданий по изучению взаимодействия лазерного излучения с полупроводниковыми материалами

По теме “Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниковыми материала-ми” для студентов и магистрантов предлагаются следующие задания:

– Изучение работы лазерного комплекса и определение пороговой энергии плавления кремния для длин волн 1,064 мкм и 0,532 мкм.

– Изучение технологического процесса отжига легированных полупроводниковых структур на кремнии.

– Изучение процесса рекристаллизации поликристаллических (ПКК) или аморфных слоев кремния на пластинах кремния с ориентацией (100) при энергиях лазерных импульсов выше пороговых.

– Изучение технологического процесса отжига окисленных кремниевых структур (SiO_2/Si) в режимах без разрушения окисленного слоя.

– Изучение влияния режимов отжига и режимов лазерной рекристаллизации на электрофизические свойства кремниевых структур.

– Изучение с помощью оптического микроскопа микрорельефа поверхности облученных образцов.

Лазер относится к 4 классу опасности в соответствии с ГОСТ Р 50723-94, СанНиП 5804-91, поэтому основные операции на установке выполняются преподавателем или инженером, прошедшим спецподготовку и допущенным к работе с лазерным оборудованием 4 класса опасности.

В результате предварительных исследований установлены рабочие параметры лазерной обработки. Так плотность энергии при отжиге легированных полупроводниковых структур на кремнии, слоев ПКК и аморфного кремния, а также SiO_2/Si структур находилась в диапазоне

от 0,3 до 2,2 Дж/см². Длительность импульсов изменялась от 30 до 150 нс, а частота следования от 20 до 50 Гц. Диаметр дефокусированного лазерного пучка варьировался от 0,8 до 2,0 мм.

Обнаружено, что лазерная обработка на длине волны 1,064 мкм с плотностью энергии до 0,5 Дж/см² не приводит к видимому разрушению кремния, слоев ПКК и аморфного кремния. При плотности энергии 1,0 Дж/см² для аморфного кремния в оптическом микроскопе наблюдаются следы оплавления, а для ПКК и кремния при 1,2 Дж/см².

Электрофизические измерения слоевого сопротивления легированных полупроводниковых структур до и после лазерного отжига показывают, что отжиг приводит к резкому уменьшению слоевого сопротивления вследствие упорядочения структуры и перераспределения легирующей примеси.

Лазерная обработка структуры ПКК толщиной 350 нм, нанесенной на SiO_2 и легированной фосфором, приводит к уменьшению слоевого сопротивления с 40 Ом/□ до 20 Ом/□, т.е. на 50% от первоначальной величины.

Заключение

Введение в учебный процесс лазерного комплекса на основе импульсного лазера с диодной накачкой в практикуме по лазерной обработке материалов на факультете радиофизики и компьютерных технологий БГУ позволяет готовить научные и инженерные кадры для отечественной науки и промышленности по новому направлению, связанному с импульсной лазерной обработкой в технологии микро- и нанoeлектроники.

1. Григорьянц, А.Г. Технологические режимы лазерной обработки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
2. Альтудов, Ю.К. Лазерные микротехнологии и их применение в электронике. – М.: Радио и связь, 2001. – 632 с.
3. Двуреченский, А.В. Лазерный отжиг Импульсная ориентированная кристаллизация твердых тел // Соросовский образовательный журнал.: 2004. – Т. 8, № 1, – 108 с.
4. Шалимова, К.В. Физика полупроводников. – СПб.: Лань, 2010. – 400 с.
5. Борисенко, В.Е. Твердофазные процессы в полупроводниках при импульсном нагреве / Под ред. В.А. Лабунова. – Мн.: Наука і тэхніка, 1992. – 248 с.

УДК 378

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТА ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Бондарев В.В.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Москва, Россия*

Качество учебно-методической работы вуза определяется способностью его выпускников решать свои профессиональные задачи.

Исходя из этого, целью создания УМБ является формирование модели профессиональной среды, в рамках которой выпускник будет выполнять должностные обязанности в течение ближайших 2-3 лет. Развитие УМБ предполагает систему постоянно действующих организационно-технических мероприятий, обеспечивающих адекватность элементов УМБ различного уровня (вузовского, факультетского, кафедрального) объектам будущей деятельности выпускников с учетом изменений, происходящих в области технической защиты информации.

УМБ должна также обеспечивать проведение научных исследований и подготовку научно-педагогических и научных кадров.

Учитывая значимость УМБ в решении задач подготовки специалистов в области разработки и применения технических средств защиты информации (ТСЗИ) и необходимость вложения значительных материальных средств в ее развитие и поддержание, необходим системный подход в определении замысла и формировании решения на ее развитие.

При этом УМБ должна рассматриваться не как самостоятельная система, а как материальная основа учебно-методической среды, в рамках которой осуществляется формирование профессионального облика выпускника вуза, удовлетворяющего квалификационным требованиям. Формирование УМБ должно базироваться на следующих принципиальных положениях:

- наличие разработанной модели объекта будущей профессиональной деятельности выпускника;

- четкое определение для ближайших 2-3 лет работы выпускника основного содержания его деятельности, исходя из должностного предназначения (исходя из его специализации);

- создание на кафедре (в вузе) и в организации (на предприятии) взаимосогласованной учебно-методической среды, обеспечивающей достижение каждым выпускником поставленной цели его подготовки в определенное время с заданным качеством.

Только на основе данных принципиальных положений можно создать УМБ, обеспечивающую условия для самостоятельной реализации выпускниками своих инженерных, научных и

гуманитарных знаний и умений в конкретный результат их профессиональной деятельности.

Таким образом, УМБ подготовки специалиста в области ТСЗИ можно определить как комплекс материальных и технических средств, составляющих основу профессиональной среды будущей служебной деятельности выпускников ВУЗа, и предназначенных для обеспечения подготовки слушателей по специальности (специализации) ТСЗИ в соответствии с государственным образовательным стандартом, квалификационными требованиями, учебными планами и программами, а также для выполнения научных исследований и подготовки научных и научно – педагогических кадров.

Формирование УМБ подготовки специалистов по ИБ, её использование в учебном процессе, обеспечение её коррекции и развития с учётом изменений, происходящих в области ИБ, связано с решением многоплановых проблем. При этом существующий уровень состояния науки и техники, экономики страны, содержание и задачи обучения по данной специальности в ВУЗе, научный, педагогический, методический уровень учебного процесса, его финансирование обуславливают сейчас такое положение, при котором проблемы развития УМБ имеют множество неоднозначных, а зачастую весьма противоречивых решений. В основу формирования УМБ вуза предлагается положить принцип «от общего к частному», который в полной мере соответствует требованиям системного подхода. Суть его состоит в следующем:

- исходя из специализаций, по которым в вузе осуществляется подготовка специалистов по ИБ и исходя из количества выпускаемых ежегодно специалистов, формируется учебный полигон вуза (кафедры), на элементах которого осуществляется заключительный этап подготовки выпускников по должностному предназначению;

- для эффективного использования УМБ разрабатывается система обобщённых, комплексных и частных задач, отражающих квалификационные требования к выпускникам и обеспечивающих корреляцию общепрофессиональных дисциплин.

Основу УМБ, её сердцевину должны составлять объекты, на которых выпускники выполняют свои функциональные задачи.

Для практической подготовки слушателей по конкретной специализации создаются учебно-тренировочные комплексы (УТК).

Квалификационные задачи включают задачи трех типов: обобщенную (ОКЗ), комплексные (ККЗ) и частные (ЧКЗ).

ОКЗ отрабатывается на завершающем этапе обучения перед производственной практикой. Кроме того, ОКЗ составляет основу для формирования задач, решаемых в ходе дипломного проектирования.

ККЗ и ЧКЗ по отношению к ОКЗ являются задачами более низкого уровня конкретизации слушателями в ходе практических занятий.

Таким образом, замысел развития УМБ подготовки специалиста по ИБ должен включать:

- перечень объектов (элементов объектов) будущей профессиональной деятельности выпуск-

ника вуза по специальности (специализации) ИБ;

- структуру данных объектов (или их элементов);

- исходя из имеющихся сил и средств, разработанную схему организационно - технического построения каждого объекта (его элемента);

- сформированную систему задач, отражающих основное содержание профессиональной деятельности выпускника.

Подобная «емкость» УМБ обеспечивает выполнение учебного плана на заключительном учебе в рамках отведенного бюджета времени.

Таким образом, в основу разработки учебно-материальной базы подготовки специалиста по ИБ в первую очередь должна быть положена концепция моделирования профессиональной среды, определяющей деятельность выпускника.

УДК 658

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Акунец В.П.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Экономические методы управления предприятиями – важнейшее направление совершенствования системы управления предприятием в условиях формирования рыночных отношений. Экономические методы управления необходимо постоянно совершенствовать и развивать. Причем совершенствовать не только отдельные, специальные методы и приемы, а применять системный подход к управлению предприятием.

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 неисследованных частей экономики являются экономические методы управления. Экономические методы управления сегодня должны соответствовать новым рыночным условиям. Понимание событий, происходящих в обществе, требует умения оперировать большими объемами статистических данных. Много, 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 и 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, учёт затрат на производство, учёт денежных средств и расчётов.

В результате решения перечисленных задач составляются сметы затрат, на производство продукции, которые показывают 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 производствен-

ного учёта, как в теоретическом, так и в практическом аспекте разработан недостаточно.

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, превышения которых служило бы сигналом включения в действие основных функций управления.

Величина фактических издержек, производимых в отчётном периоде, определяется следующим образом:

$$\text{ИП1} = \text{О} \cdot \text{Ц},$$

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

$$\text{ИП2} = \text{О} \cdot \text{Цр},$$

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.

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.

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. Забродская Н.Г. Круглик В.М. Экономика малого бизнеса и предпринимательство. Учебное пособие. – Минск: Амалфея, 2013 – 288 с.
3. Ивашутин А.Л. Финансовый менеджмент. – Минск: БНТУ, 2008. – 208 с.
4. Предпринимательская деятельность и бизнес-администрирование малых и средних предприятий. Под редакцией А.М.Темичева, А.Л.Ивашутина. Часть 1. – Минск, 2013 – Ч.1 – 426 с.

УДК 658.5(075.8)

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

Аносов В.М., Уляй О.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Достижение одной из целей развития экономики Республики Беларусь в условиях кризиса на современном этапе – стабилизации и увеличения прибыли, во многом определяется организацией финансового планирования. Очевидно, в складывающейся экономической ситуации, не ожидание стихийных внешних перемен, а планирование - это способ поддержания сложившегося экономического положения и дальнейшего развития бизнеса.

Сущность финансового планирования можно определить как процесс обоснования на определенный период движения финансовых ресурсов и капитала, иными словами как процесс формирования, распределения и использования финансовых ресурсов и капитала.

Управление финансовой деятельностью предприятия предполагает решение нескольких взаимосвязанных задач.

На фазе анализа предполагается: оценка ситуации, тенденций и закономерностей, сложившихся в предшествующем периоде.

Далее предполагается попытка переноса выявленных в результате анализа закономерностей, а также учет перспективных целей развития (фаза планирования).

Кроме того, для реализации плановых целей и задач, как правило, требуется распределение намеченных задач во времени, по этапам, оперативное управление и контроль (фаза контроля и оперативного управления).

Финансовое планирование направлено на: определение финансовых ресурсов, требуемых

для выполнения задач по развитию производства (собственные – прибыль, амортизация; заемные; банковские и коммерческие кредиты, внешние инвестиции). При этом достижением целей сохранения и развития бизнеса во многом определяется организацией финансового планирования

Основные цели финансового планирования: обоснование финансовой политики предприятия; обоснование финансовых возможностей обеспечения намечаемых проектов, заданий.

Среди доходов и поступлений можно назвать амортизацию, чистую прибыль, кредиты и тому подобные аккумулированные финансовые ресурсы направляются на инвестиции в основные и оборотные средства и т.п.

Выделяют несколько направлений финансового планирования.

Стратегическое планирование осуществляется на долгосрочную перспективу и подразумевает формулирование целей, задач, масштабов и сферы деятельности предприятия на качественном уровне или в виде весьма общих количественных ориентиров.

Тактическое планирование осуществляется на среднесрочную перспективу (1-5 лет) и определяет ресурсы, необходимые предприятию для вступления на избранный стратегический путь.

Оперативное планирование охватывает текущую деятельность предприятия и имеет горизонт не более одного года. Часто представляется в помесечной, подекадной или понедельной разбивке.

Стратегический финансовый план устанавливает важнейшие показатели, пропорции и темпы расширенного воспроизводства. Он является главной формой реализации целевых установок, стратегии инвестиций и предполагаемых денежных накоплений.

Назовем несколько причин торможения использования перспективного (стратегического) планирования: продолжительные сроки реализации проектов (как правило, они составляют 5-7 лет) в изменяющейся экономической ситуации; существование разрывов между намечаемыми показателями эффективности, окупаемости и их достижением реально; несовершенство форм текущего и оперативного планирования как инструментов реализации задач стратегических планов.

Основным методом планирования прибыли – источника доходной части финансового плана является прямой метод.

При планировании прибыли аналитическим методом – с помощью базовой рентабельности ориентировочно рассчитывается прибыль планируемого года на объем товарной продукции планируемого года по себестоимости базисного.

Важнейшей формой финансового планирования является составление баланса доходов и расходов, собственно финансового плана в структуре бизнес плана. При составлении баланса доходов и расходов используются результаты расчетов выручки от реализации, сметы затрат на производство товарной продукции, расчета прибыли и сметы ее распределения.

Ключевым звеном годового финансового плана, по нашему мнению, является Раздел 2 – Расходы и отчисления. На основании расчетов и обоснований производственного отдела, отдела главного механика, службы материально-технического обеспечения, отдела (управления) капитального строительства предприятием обосновывается потребность в ресурсах (капитальных вложениях, приросте собственных оборотных средств, отчислениях на содержание социальной сферы), необходимых для поддержания и развития бизнеса.

В разделе 1 Доходы и поступления дается характеристика источников финансирования производственных и социальных потребностей коллектива. Например, к числу собственных источников финансирования капитальных вложений относят прибыль после уплаты налогов и амортизацию. На финансирование недостающей части оформляются долгосрочные кредиты, заключаются договора по привлечению средств со стороны, долевом участии других организаций в реализации инвестиционных проектов.

На финансирование прироста собственных оборотных средств может быть направлена прибыль после уплаты налогов, кредиты банков,

источники, возникающие в результате прироста устойчивых пассивов.

При этом основой расчетов потребности в финансовых ресурсах является определение планируемой валовой прибыли, которая после уплаты налога на прибыль может служить в качестве стимула для развития.

Раздел 3 финансового плана – Взаимоотношения с бюджетом, трансформируется в прибыль, остающуюся в распоряжении организации (чистую прибыль).

По нашему мнению, необходимо сохранить при организации финансового планирования деление чистой прибыли на часть, направляемую на накопление, структурирование амортизационных отчислений (капитальные вложения, пополнение собственных оборотных средств) позволит повысить точность разрабатываемых планов.

Согласно приведенной схеме, помимо того, что реализация стратегических проектов, как правило, происходит в условиях неопределенности и высоких рисков, требующих внесения изменений в перечень и содержание поставленных задач и методы их решения, но и отдача затраченных на первых этапах средств происходит только на эксплуатационном этапе, в иной экономической ситуации. Это требует дисконтирования поступающих доходов, корректировки реальных сроков окупаемости.

Тем не менее, возможности и преимущества стратегического (перспективного) планирования, его необходимость «перетягивают» имеющиеся недостатки и противоречия. В пользу такого выбора свидетельствует тот факт, что именно благодаря применению стратегического планирования в 80-е годы компании Microsoft удалось разработать проект Multiplan, который в дальнейшем перерос в Microsoft Excel.

Подобные достижения имеются в авиастроении, космической технике, машино- и приборостроении.

Повышение надежности стратегических финансовых может быть обеспечено за счет применения современных технологий управления, в частности, методов проектирования (управления проектами)

Функции проектирования (управления проектами) могут быть выражены: производственной (поддерживающей); инновационной; обеспечивающей.

Воспроизводственная функция проектирования (управления проектами) заключается в создании условий поддержания исходного состояния системы, например, предприятия, бизнеса в изменяющейся среде,

Инновационная функция состоит в обеспечении организационных, технических, экономических условий перехода системы (предприятия, бизнеса) на новый уровень.

Приведенные данные позволяют прийти к заключению: финансовое планирование, несомненно создает условия для реализации как краткосрочных так и долгосрочных проектов по поддержанию и развитию бизнеса; реализация долгосрочных проектов в изменяющейся экономической среде вызывает необходимость корректировки его оперативной основы - текущего планирования, в частности, планирования прибыли и амортизационных отчислений (применение ABC-XYZ и принципа Парето); препятствуют полной реализации резервов и возможностей финансового планирования противоречия и неувязки в организации бухгалтерского учета и оперативного управления финансовыми ресурсами; применения современных технологий

управления, например, технологий управления проектами, которые позволяют строго следовать избранной цели, решить задачу поэтапного распределения бюджета, выделенного на проект, и соблюдения установленных временных ограничений, позволяя свести к минимуму необходимость корректировки задач и методов их решения, избежать искажений реальной оценки эффективности.

По нашему мнению, изложенные предложения по совершенствованию методов управления финансовыми ресурсами в целом в полной мере могут быть использованы при управлении платежеспособностью. Залогом этого является знание цели развития, применение адекватных мер их достижения.

УДК 339.138 (076.5)

МАРКЕТИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – ОСНОВА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Витушко Е.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Актуальным вопросом для различной деятельности предприятий разных стран является планирование и организация маркетинговой исследований, т.к. одной из причин убыточной деятельности предприятий является недостаточное внимание к маркетинговым исследованиям. Как следствие этого, предприятия действуют в условиях ограниченной информации о рынке и его отдельных сегментах.

Маркетинговое исследование – это систематизированный сбор, накопление и анализ данных о состоянии и тенденциях изменения рынков, сегментов и отдельных их участников и институтов (потребителей, конкурентов, государственных органов), которые могут оказать влияние на положение компании или отдельных ее продуктов на рынке. На основании этой информации принимаются маркетинговые и управленческие решения.

Поэтому руководству необходимы данные маркетинговых исследований для принятия важных управленческих решений. Получаемая в результате маркетингового исследования информация весьма разнообразна – от анализа потенциала и долей рынка до степени удовлетворенности клиентов и их желания приобрести продукт с конкретными качествами. По данным статистических исследований наиболее успешные топ-менеджеры при принятии важных решений руководствуются данными маркетинговых исследований.

Актуальность маркетинговых исследований определяется возрастающей ролью маркетинга

как в самой системе отношений субъектов рынка, так и можно сказать в жизни человека.

В последние годы появился ряд факторов, усиливающих значимость маркетинговой информации:

- маркетинговая среда изменяется очень динамично;
- всё больше компаний работают на дистанционно удалённых рынках;
- стандартные формы рекламы становятся неэффективными;
- потребители становятся всё более разборчивыми и искушёнными;
- конкуренция усиливается, идет процесс укрупнения бизнеса.

Основными целями при проведении маркетинговых исследований являются:

- определение возможностей и проблем маркетинга на предприятии;
- снижение уровня неопределенности при принятии управленческих решений;
- планирование маркетинговых мероприятий;
- разработка, уточнение и оценка контроля исполнения маркетинговых решений.

Маркетинговое исследование - процесс, состоящий из шести этапов. На первом происходит четкое определение проблемы и постановка целей исследования. Второй этап – определение объектов исследования. Третий этап – разработка плана сбора информации с использованием первичных и вторичных данных. Четвёртый этап – сбор информации. Пятый этап – анализ собранной информации для вывода из совокупности

полученных данных показателей среднего уровня, переменных составляющих и выявления разного рода взаимосвязей. Шестой этап – представление основных результатов, которые дадут управляющим по маркетингу возможность принимать более взвешенные решения.

Качество исследования зависит от соблюдения базовых принципов проведения маркетинговых исследований – объективности, точности, тщательности.

Объективность – необходимость учета всех факторов и недопустимость принятия определенной точки зрения до завершения анализа всей собранной информации.

Точность – четкость постановки задач исследования, однозначность их понимания и трактовки, выбор инструментов исследования, обеспечивающих необходимую достоверность результатов.

Тщательность – детальность планирования каждого этапа исследования, качество выполнения всех операций, профессионализм и ответственность исследовательского коллектива.

Направление и характер маркетинговых исследований формируются под влиянием проблем, которые необходимо решить. На наш взгляд маркетинговые исследования должны проводиться последующим направлениям.

Исследование рынка – самое распространенное направление в маркетинговых исследованиях. Объектами рыночного исследования являются тенденции и процессы развития рынка, включая анализ изменения экономических, научно-технических, демографических, экологических, законодательных и других факторов, а также структура и география рынка, его емкость, динамика продаж, барьеры рынка, состояние конкуренции, сложившаяся конъюнктура, возможности и риски.

Анализ макросистемы направлен на изучение условий окружающей среды. Они не имеют прямой связи с рынком фирмы, но воздействуют равным образом на все компании, занятые на данном рынке.

Исследование внутренней среды предприятия ставит целью определение реального уровня конкурентоспособности предприятия в результате сопоставления соответствующих факторов внешней и внутренней среды.

Анализ потенциала предприятия предназначен для проверки ресурсов фирмы и их соответствия направлениям стратегического плана.

Исследование потребителей позволяет определить и исследовать весь комплекс побудительных факторов, которыми руководствуются потребители при выборе товаров (доходы, соци-

альное положение, половозрастные признаки, образование).

Исследование конкурентов – получение необходимых данных для обеспечения конкурентного преимущества на рынке, а также найти пути сотрудничества и кооперации с возможными конкурентами.

Исследование возможных посредников, с помощью которых предприятие будет в состоянии «присутствовать» на выбранных рынках, проводится изучение фирменной структуры рынка.

Исследование товаров – определение соответствия технико-экономических показателей и качества товаров, обращающихся на рынках, запросам и требованиям покупателей, а также анализ их конкурентоспособности.

Исследование цены направлено на определение такого уровня и соотношения цен, который бы позволял получать наибольшую прибыль при наименьших затратах (минимизация затрат и максимизация выгоды).

Исследование товародвижения и продаж преследует цель определить наиболее эффективные пути, способы и средства быстрого доведения товара до потребителя и его реализации.

Анализ шансов – риска объединяет результаты всех видов анализа. Он предназначен для возможно более раннего обнаружения тех изменений в макросистеме и на рынке, которые имеют связь с преимуществами и недостатками собственной фирмы.

Исследование системы стимулирования сбыта и рекламы преследует цель выявить как, когда и с помощью каких средств лучше стимулировать сбыт товаров, повысить авторитет товаропроизводителя на рынке, успешно осуществлять рекламные мероприятия.

Исследование рекламы предполагает апробацию средств рекламы (предварительное испытание), сопоставление фактических и ожидаемых результатов от рекламы, оценку продолжительности воздействия рекламы на потребителей, позволяет принимать решения по активизации рекламных кампаний, вести поиск новых средств воздействия на потребителя, повышения его интереса к продукции предприятия.

Маркетинговое исследование услуги или ее рыночного окружения представляет собой систематические мероприятия по получению оперативной информации в отношении данных, описывающих текущее или перспективное (прогнозное) состояние самой услуги или ее маркетингового окружения, а также анализ и отражение данных в форме, необходимой для решения стратегических и тактических задач, стоящих перед фирмой. Проведенные в плановом порядке маркетинговые исследования

дают возможность получать конкурентные преимущества, снижать финансовые и коммерческие риски предпринимательской деятельности, определять отношение покупателей к оказываемой услуге, давать оценку стратегической и тактической деятельности фирмы, повышать эффективность коммуникационных рыночных мероприятий, определять оптимальные сегменты позиционирования услуг, определять характер жизненного цикла услуг.

Таким образом, маркетинговые исследования и их надлежащая организация становятся инструментом, с помощью которого снижается риск предпринимательства и возрастает качество решения задач потребителя. Управленческое решение принимается на основе всей маркетинговой информации, полученной в результате исследований возможностей предприятия и конкретного рынка. В этом случае достигается цель маркетинговых исследований — снижение неопределенности, мешающей принятию решения.

Проведение маркетинговых исследований отечественными предприятиями в настоящее

время является скорее исключением, чем правилом. Причинами тому являются:

- наличие международным экономическим кризисом, и как следствие этого, нацеленностью большинства предприятий на обеспечение текущей прибыли;
- отсутствие положительного опыта проведения таких исследований;
- недооценка отечественными производителями полезности маркетинговых исследований как основного элемента разработки стратегии развития.

1. Акулич, И.Л. Маркетинг: учебник для студентов высших учебных заведений по экономическим специальностям / И.Л. Акулич. – Минск: Вышэйшая школа, 2011. – 524 с.

2. Алексунин В.А. Маркетинг: учебник / В.А. Алексунин – 6-е из. – М.: издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2014 – 216 с.

3. Зорина, Т.Г. Маркетинговые исследования: учебник для студентов / Т.Г. Зорина, М.А. Слонимская. – Минск: БГЭУ, 2010. – 410 с.

4. Романов А.А. Маркетинг: учебное пособие / А.А. Романов, В.П. Басенко, Б.М. Жуков. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2014 – 440 с.

УДК 658

ПОТЕНЦИАЛ ТОПЛИВНЫХ ЯЧЕЕК В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Лукьяненко А.Ю.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время, когда речь заходит об оптимизации или уменьшении потребления топливно-энергетических ресурсов, чаще всего всплывают: ветряные установки, солнечные электростанции, приливные электростанции и обычные генераторы малых размеров, работающие на возобновляемых видах топлива. Однако, выработка от этих устройств не постоянна, а сами они дороги в такой степени, что зачастую их использование ведет к увеличению стоимости потребляемых ресурсов и энергии. Топливные же элементы не так дороги, как использование солнца и ветра, а также занимают гораздо меньше места. При этом они прочны, долговечны и почти бесшумны, таким образом, они могут быть расположены как внутри, так и снаружи практически любого здания. И при этом в тандеме с технологиями, использующими обычные и возобновляемые виды топлива. Более того — установка может быть портативной в определенной степени, заменяя дорогой аккумулятор.

Топливный элемент — относительно простое устройство. В нем есть два электрода: анод (отрицательный электрод) и катод (положительный

электрод), а также мембрана. Установки могут использовать различные виды топлива, даже возобновляемый биогаз из сточных вод и отходов пищевых продуктов, природный газ или другой газ, сходный по составу. Можно применять даже жидкое углеводородное топливо. Например, этиловый или метиловый спирт. Также ведутся разработки установок, способных использовать даже уголь и торф.

Потенциал топливных элементов кроется в том, что они более эффективны, чем большинство типов генераторов. На них гораздо меньше влияет термодинамическое ограничение коэффициента использования энергии. В отличие, например, от турбин и двигателей внутреннего сгорания, КПД топливных элементов остается высоким и в случае работы не на полной мощности. Кроме этого, мощность топливных элементов может быть увеличена простым добавлением отдельных блоков, при этом КПД не меняется. То есть большие установки столь же эффективны, как и малые. Эти обстоятельства могут позволить гибко подбирать состав оборудования

в соответствии с предъявляемыми требованиями и располагаемыми средствами.

Получающееся на выходе в качестве побочного продукта тепло может быть использовано для отопления (как в комбинированной установке тепловой и электрической энергии, или ТЭЦ), или даже охлаждения, в результате чего эффективность системы получается очень высокой, гораздо выше тех, что используются в Республике Беларусь на данный момент. Такая ТЭЦ на основе топливных элементов позволяет пользователям уменьшить или устранить необходимость в подводе многих коммуникаций, в котлах или водонагревателях и связанных с ними затратах и выбросах.

Что самое важное при правильно подобранных масштабах и видах топлива для конкретных размеров предприятия стоимость электроэнергии получается меньше, чем при закупке оной из электросети. При этом практически без выбросов в атмосферу.

Также, учитывая, что предприятия все больше полагаются на компьютерные системы для общения и решения оперативных задач, обеспечение бесперебойным снабжением электроэнергией в любом случае просто бесценно в высокотехнологичном мире, который надеется стать более устойчивыми.

По итогу, благодаря своей высокой эффективности, топливные элементы могут позволить:

- снизить потребление ресурсов на предприятии;
- снизить стоимость потребляемой электроэнергии, а также производить её;
- стать основой для систем распределенного электроснабжения;
- в полной мере использовать местные и возобновляемые виды топлива, а также отходы
- снизить затраты на создание коммуникаций в сложных условиях и отдаленных районах;
- повысить надежность и бесперебойность снабжения предприятия энергией;
- снизить уровень выбросов в среду;
- в качестве побочного продукта иметь тепловую энергию или холодильную установку.

1. Топливный элемент как альтернатива «альтернативной» энергетики / энека [электронный ресурс] / режим доступа: http://www.eneca.by/ru_toplivniy_element0/.

2. Fuel cell energy brings new life to businesses / TheNewEconomy [Electronic resource] – Mode of access : <http://www.theneweconomy.com/energy/fuel-cell-energy-brings-new-life-to-businesses>.

3. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий. Часть 2 / АВОК [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2404.

УДК 658

ИНЖИНИРИНГОВЫЕ ЦЕНТРЫ – ЧАСТЬ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО СЕКТОРА БЕЛАРУСИ

Пицало Е.О.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Инжиниринг является одной из признанных форм повышения эффективности бизнеса во всем мире. Суть его заключается в предоставлении услуг исследовательского, проектно-конструкторского, расчетно-аналитического, производственного характера, включая подготовку обоснования инвестиций, выработку рекомендаций в области организации производства и управления, а также реализации продукции.

Ведущими странами в сфере высокотехнологичного инжиниринга, компании которых входят в TOP-200 по итогам отчета агентства ENR в 2011 г., являются США, Канада, страны Евросоюза, Китай, Индия, Австралия, страны Ближнего востока. При этом совокупный доход 65 инжиниринговых компаний США превысил 5 млрд. долл. США. Объем рынка промышленного инжиниринга в США в 2011 г. был равен 99,2 млрд. долл., что составляло 0,6 % от ВВП. Мировой рынок инжиниринговых услуг в 2012 г.

составлял 750 млрд. долл. и по прогнозам к 2020 г. его рост достигнет 1,4 трлн. долл. Темп роста рынка инжиниринговых услуг составляет 3,5 – 4 %, что сопоставимо с темпами роста мировой экономики. Рынок зрелый и быстрые изменения связаны с высокой конкуренцией на нем.

Показателен опыт бельгийского центра IMEC. IMEC — независимый (не принадлежащий ни одной глобальной корпорации) Центр прикладных разработок в сфере микро- и нанoeлектроники, расположенный в г. Левен, Бельгия. Совокупный доход IMEC в 2011 году превысил €300 млн. Клиентами центра IMEC являются такие крупнейшие технологические компании мира как Intel, TSMC, Samsung, Qualcomm, Panasonic, Sony, ASML, Phillips и т.п.

В структуру IMEC в Бельгии входят 1500 сотрудников, 600 приглашенных исследователей и стажеров. Всего в кооперацию вовле-

чено 5000 человек по всему миру, партнерская сеть насчитывает более 500 международных компаний. Схема ИМЕС построена просто: промышленные предприятия ставят проблему перед центром ИМЕС и готовы заплатить большие деньги за ее решение. В свою очередь ИМЕС имеет команду разработчиков, значительную долю которых составляют исследователи из университетов по всему миру. ИМЕС формирует интегрированную проектную группу – быструю, динамичную и самое главное обладающую требуемыми знаниями для решения поставленных задач. Таким образом, происходит переход знаний в промышленность, т.е. не что иное как коммерциализация накопленных научных разработок. Принципиальным является то, что ИМЕС – центр прикладных разработок и занимается только тем, что конкретно нужно индустрии [1].

В России с 2013г. реализуется проект по созданию и развитию инжиниринговых центров на базе ведущих технических вузов страны. В настоящее время уже созданы и успешно функционируют 30 инжиниринговых центров при вузах. Суммарный объем контрактов инжиниринговых центров при вузах в 2014 г. составил более 801 млн. руб., что превышает в 1,5 раза объем оказанной им государственной поддержки. Инжиниринговые центры оказывают услуги широкому спектру компаний по различным отраслевым направлениям: машиностроение, материаловедение, фотоника, биотехнологии, компьютерный инжиниринг, технологии работы с трудноизвлекаемыми минеральными ресурсами [2].

В Беларуси не обеспечена системная работа по созданию инжиниринговых структур для сопровождения научных проектов, комплексного внедрения технологий и разработки инновационных проектов. Особенно остро стоит вопрос создания инжиниринговых структур в системах НАН Беларуси и Министерства образования, где создается основная масса научно-технических разработок. Отсутствие таких структур не позволяет эффективно организовать сопровождение процесса коммерциализации перспективных разработок в отраслях реального сектора экономики. При этом уже созданные структуры не могут, в силу своей малочисленности, оказать должного влияния на обеспечение конкурентоспособности национальной экономики и повысить уровень ее инновационности.

По данным Национального статистического комитета в десятку самых основных и значительных факторов, препятствующих инновациям организаций промышленности в 2014г. респонденты относят:

1. недостаток собственных денежных средств;
2. высокая стоимость нововведений;
3. высокий экономический риск;

4. недостаток финансовой поддержки государства;
5. низкий инновационный потенциал организаций;
6. низкий платежеспособный спрос на новые продукты;
7. недостаток квалифицированного персонала;
8. низкий спрос на инновационную продукцию;
9. неразвитость рынка технологий;
10. неразвитость инновационной инфраструктуры и недостаток информации о рынках сбыта.

Чтобы преодолеть эти негативные тенденции, необходимо активизировать сотрудничество фундаментальной науки и промышленности, создать условия для становления полноценной прикладной науки, которая, в свою очередь, обеспечит создание новых технологий производства и конкурентоспособных конечных продуктов потребления [3].

Для развития инжиниринговой деятельности в Республике Беларусь необходимо принять ряд мер законодательного, нормативно-правового, организационно-технического и экономического характера. Прежде всего, следует внести изменения в Указ Президента Республики Беларусь №1 от 03 января 2007г. "Об утверждении положения о порядке создания субъектов инновационной инфраструктуры" дополнив п. 3 Положения "инжиниринговые центры", т.е. отнести их у субъектам инновационной инфраструктуры. В качестве неотложных мероприятий необходима разработка методических материалов по созданию и развитию научной и инженерной инфраструктуры инжиниринговых центров на базе университетов и научных организаций НАН Беларуси, разработка и реализация механизмов государственной поддержки инжиниринга, меры по стимулированию создания и обеспечения деятельности инжиниринговых центров во всех регионах Беларуси. Механизмами государственной поддержки на этапе становления инжиниринговых центров могут быть льготное кредитование разработки и реализации проектов, предоставление государственных субсидий для компенсации части затрат на реализацию пилотных проектов по оценке целесообразности и эффективности инновационного проекта.

1. Инжиниринг как важнейший стимул экономического развития. Стенограмма заседания экспертного семинара РВК, посвященного теме инжиниринга [Электронный ресурс] / Полит.ру – Режим доступа: <http://polit.ru/article/2013/06/07/engineering/> – Дата доступа: 01.08.2016.

2. Гершман, М.А. Идентификация инжиниринговых организаций в Российской Федерации / М.А. Гершман // Вопросы статистики – 2013 – №2.

3. Концепция Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы [Электронный ресурс] / Государственный комитет по науке и

технологиям Республики Беларусь – Режим доступа: <http://www.gknt.gov.by/opencms/opencms/ru/innovation/inn2/> – Дата доступа: 01.08.2016.

УДК 388.46

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМЫ «MARKETING MIX» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Третьякова Е.С.¹, Третьяков-Савич Е.С.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь,

²Каунасский технологический университет
Каунас, Литовская Республика

В современных экономических условиях маркетинг определяет успех деятельности любого предприятия независимо от сферы деятельности, формы собственности, размера и организационной структуры. Маркетинг – это область, имеющая универсальное значение, создание разветвленной системы маркетинга на предприятии позволяет решить множество проблем именно силами предприятия.

Под маркетингом понимается такой вид рыночной деятельности, при которой производителем используется системный подход и программно-целевой метод решения хозяйственных проблем, основной идеей является ориентация на потребителя.

Главной целью маркетинговой деятельности является обеспечение коммерческого успеха предприятия; ее содержание заключается в поиске взаимовыгодного компромисса между потребностями потенциальных потребителей и производственными возможностями компании с учетом действий конкурентов.

В начале 1960-х годов была предложена классификация инструментов маркетинга, получившая название Marketing Mix. Она представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных элементов, набор поддающихся контролю переменных факторов, совокупность которых позволяет решить маркетинговые задачи в отношении целевых рынков.

Marketing Mix — самая известная фраза в маркетинге; элементы, ее составляющие — тактический инструментарий маркетинга. Также они известны под обозначением "4P", причем в настоящее время их расширяют до "5P" или даже до "7P".

Первоначально выделялись четыре группы переменных факторов (базовые элементы "4P"), которые условно обозначаются терминами «товар, продукт» (Product), «цена» (Price), «методы и места продажи товаров» (Place), «методы стимулирования, продвижение» (Promotion).

Следует отметить, что в связи с развитием маркетинга отношений и упрощения взаимодей-

ствия между людьми появилась модель 5P (4P's+People). В настоящее время люди (персонал, клиенты) способны оказывать значимое влияние на процесс совершения покупки, поэтому в маркетинговых стратегиях рекомендуется выделять отдельное место программам, направленным на поддержание «People».

Через некоторое время, в связи с развитием рынка услуг появилась и стала активно использоваться модель 7P (5P's+Process+Physical Evidence). Это связано с тем, что процесс оказания услуг и физическое окружение этого процесса значительно влияют на имиджевые характеристики товара, а, следовательно, для построения сильного бренда необходимы специальные программы, направленные на правильное управление этими составляющими.

В настоящий момент многие крупные компании активно модернизируют модель Marketing Mix под свою специфику, вводя в нее новые «P», которые наиболее соответствуют их задачам. Новые «P», которые также используются в модели в современных условиях:

- позиционирование (Proposition / Positioning) — помогает отслеживать и управлять правильным имиджем, ассоциациями и брендом в сознании целевого потребителя в сравнении с ключевыми конкурентами;

- упаковка (Pack / Packaging) – отдельно выделяется в связи с ростом значимости дизайна и внешнего вида товара. Внешний вид обеспечивает заметность, формирует фирменный стиль, что помогает строить сильный бренд. При выделении упаковки в отдельный «P» в «Product» учитываются только функциональные характеристики и свойства товара;

- прибыль (Profit) – является значимой составляющей для развития и конкурентоспособности компании, поэтому выделяется отдельно. Характеризует целевые показатели рентабельности продукта и ассортиментного ряда, минимальные пределы рентабельности. К данному «P» также можно отнести долгосрочную экономическую бизнес-модель бренда;

- процесс совершения покупки (Purchase) – помогает в маркетинговом плане выделить отдельно программы, направленные на управление процессом совершения покупки — построить модель и разработать мероприятия, привлекающие потребителя к бренду на каждом этапе. Понимание процесса совершения покупки помогает правильно выстроить коммуникацию бренда – быть в правильном месте с правильным предложением.

В современных условиях используются также и концепция "4C", в которой основной упор делается не столько на продукт и его производство, сколько на самого потребителя и получаемые им выгоды:

- потребитель (Consumer);
- удобство (Convenience);
- стоимость (Cost);
- коммуникации (Communications).

Последнее время становится известной и приобретает популярность также и альтернативная концепция "3C":

- компания (Company);
- конкуренты (Competitors);
- клиенты (Clients).

Необходимо отметить - сколько элементов включать в маркетинговый план каждое предприятие решает самостоятельно. Количество зависит от типа бизнеса, условий конкуренции, целей компании. В конечном счете, концепция

Marketing Mix – это просто модель, инструмент, призванный упростить и систематизировать работу, поэтому если нет необходимости в одном из «Р» — его можно просто опустить. По завершении всех вышеупомянутых этапов маркетинговой работы наступает этап исполнения – внедрения в жизнь маркетинговых стратегий фирмы. Решения о мероприятиях Marketing Mix должны приниматься как в отношении каналов распределения, так и в отношении конечных пользователей.

Таким образом, можно сделать вывод, что конкретное содержание Marketing Mix зависит от многих параметров, в первую очередь от особенностей рынка (отрасли) и товара (например, от длительности его жизненного цикла), возможностей самой компании – например, от размеров бюджета, опыта персонала маркетингового подразделения и других факторов, позволяющих или, наоборот, препятствующих разработке и, главное, осуществлению наиболее приемлемого в сложившейся ситуации маркетингового комплекса. Все элементы Marketing Mix должны также содержать стратегический уровень для обеспечения системы долговременного планирования инвестиционных программ.

1. Акулич И.Л. Маркетинг / И.Л. Акулич, Минск: Вышэйшая школа, 2015. - 524с.

УДК 658

ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Филипп К.Д., Соломко М.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

На современном этапе становления рыночных отношений и стремительно развивающихся новых технологий, высокой организованности лидеров рынков различных товаров, а также постоянно растущей конкуренции на мировом рынке рассматривается вопрос о поиске новых путей развития. Стоит отметить, что инновационный путь развития является наиболее перспективным, о чем свидетельствует мировой опыт. Однако существует ряд факторов, которые замедляют развитие данных процессов в Республике Беларусь.

Одним из основных факторов сдерживающим развитие инноваций является низкий уровень инвестирования в инновационные проекты. Любые инновационные проекты не могут существовать без науки в той или иной области. Наука главный ресурс развития инноваций, именно наука является ключевым фактором, но она не

может существовать без достаточного финансирования. Экономика знаний, создаваемая в нынешних условиях, стоит в основе всего производства, основанного на прорыве в области научных знаний. Республика Беларусь обладает достаточно большим научно-техническим потенциалом, который вполне достойно конкурирует на уровне современной мировой науки в различных областях. Показателем, который отражает развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) являющихся совокупностью деятельностей, направленных на получение новых знаний и их практическое применение для решения конкретных задач путем фундаментальных исследований; прикладных исследований; опытно-конструкторских и технологических разработок является уровень расходов на НИОКР и выражается в процентах от валового внутреннего продукта.

Национальные расходы на НИОКР считаются одним из ключевых показателей научно-технического развития страны. В настоящее время данный показатель в Республике Беларусь достигает отметки в 0,3-0,7 процента, в то время, как Япония финансирует науку в размере 3,5-4 процентов, Германия и Соединенные Штаты Америки - 2,8-3 процентов, Израиль занимает первое место по данным Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) в области бюджетного финансирования НИОКР с показателем в 4-5 процентов. [1]

Для преодоления проблемных вопросов стратегический замысел Государственной программы предусматривает концентрацию организационных усилий государственных органов и финансовых ресурсов государства на 3-х ключевых направлениях:

- создание системы технологического прогнозирования и разработка на ее основе перечня инновационных проектов, имеющих государственное значение с соответствующим уровнем государственной поддержки;

- создание необходимой инфраструктуры для ускоренного развития сектора инновационного предпринимательства в высокотехнологичных видах экономической деятельности (фармацевтика, био- и наноиндустрия, приборостроение и электроника, атомная энергетика, ИТ-индустрия) и обеспечение упрощенного доступа к инструментам финансовой и нефинансовой поддержки инновационных предпринимателей. Ключевыми площадками для инновационного предпринимательства в высокотехнологичных секторах являются Парк высоких технологий, Китайско-белорусский индустриальный парк, научно-технологические парки, центры трансфера технологий, что обуславливает необходимость выделения государством значительных инвестиций для развития их инфраструктуры и материально-технической базы;

- формирование институциональной среды, стимулирующей инновационное развитие. Конечным итогом усилий государства должно стать формирование такой инновационно-предпринимательской культуры, которая позволила бы повысить роль и престиж исследователей, разработчиков, рационализаторов и изобретателей, предпринимателей-инноваторов – всех тех, кто составляет «креативный класс» современного белорусского общества, в качестве ключевых субъектов инновационного и социально-экономического развития страны.

Основой успешной реализации данных направлений является развитие НИС, способная обеспечить эффективное взаимодействие науки с реальным сектором экономики и формирование высокотехнологичных секторов. [2]

Для создания более привлекательного инвестиционного климата и для того, чтобы инновации были наиболее востребованными необходимо постоянно вести исследования в области науки и стимулировать перспективные области науки и дополнительно их финансировать. Однако необходимо обеспечить эффективное взаимодействие науки с бизнесом, реальным сектором экономики.

Исходя из вышесказанного можно сделать выводы о том, что увеличение инновационных процессов в Республике Беларусь может привести к увеличению конкурентоспособности, прибыли компаний, что в дальнейшем приведет к росту экспорта и экономическому росту в целом.

1. Рейтинг стран мира по уровню расходов на НИОКР. Гуманитарная энциклопедия [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. — 26.05.2013 (последняя редакция: 07.07.2014).
2. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2016-2020 годы. Распоряжение Премьер-министра Республики Беларусь от 06.11.2015, №375 р.

УДК 53:088+378.662.147

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕРКИ КРИТЕРИЯ НОРМАЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Филипп А.Р., Жолнеревич И.И.

*Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время в условиях массового производства все большую роль играют статистические методы обработки данных. Без них невозможно добиться стабильного качества выпускаемой продукции, оценить надежность сложных технических систем, спрогнозировать

возможные отказы готовых изделий. Как правило, в учебных практикумах вузов, в научных лабораториях для анализа экспериментально измеряемых величин пользуются статистикой нормального, или Гауссова распределения. Однако, без проведения дополнительных исследований

это не всегда правомерно. В России с 2002 года действует специальный стандарт [1], в котором установлены критерии, необходимые для проверки на нормальность распределения измеренных величин. Приведенные в нем критерии удобны для использования в промышленности и в научных исследованиях при проведении измерений, контроля и испытаний. Также в настоящем стандарте рассматриваются способы построения статистик и правила принятия решений для критериев проверки на нормальность. Например, если число наблюдений превышает 50, то предпочтительным является критерий Пирсона, а если число наблюдений меньше 50, то рекомендуют составной критерий.

В соответствии с документом [1], перед применением стандартных формул для оценки случайной погрешности, доверительного интервала и других статистических характеристик необходимо убедиться в Гауссовом характере распределения величин в выборке. Белорусский аналог [2] был введен значительно позже - только в 2012 году и не нашел пока отражения в учебных программах и, в частности, в лабораторных практикумах вузов. По-прежнему для выборок малого объема, с которыми обычно имеют дело в учебных лабораториях, используют критерий Стьюдента для расчета случайной погрешности результата измерений с заданной доверительной вероятностью. Однако при этом зачастую забывают о том, что применять этот критерий можно только в том случае, когда наблюдения принадлежат нормальному распределению. Иными словами, должно быть известно, что при примененном методе измерений распределение результатов наблюдений можно считать нормальным.

Конечно же, в условиях учебной лаборатории, при ограниченном объеме выборки, попытка экстраполировать полученные статистические закономерности на большие совокупности данных носит чисто теоретический характер и, соответственно, ошибки не имеют глобальных последствий [3]. Однако такие же заблуждения могут привести к катастрофическим результатам в условиях современного массового производства.

Игнорирование сложившегося положения вещей в образовании студентов естественнонаучного и технического профиля чревато снижением конкурентоспособности соответствующих специалистов уже в ближайшем будущем.

Для исправления этой ситуации предлагается внедрить в учебный процесс вузов технического профиля учебно-исследовательский лабораторный модульный комплекс для отработки методики измерений и подробного анализа статистических закономерностей распределения различных физических величин (механических, термодинамических, электрических, оптических,

ядерно-физических и др.). Следует подчеркнуть особо, что впервые в учебной практике предполагается проведение обязательной проверки нормальности распределения измеренных величин, в соответствии с [2].

В настоящее время подобных комплексов в учебных целях не изготавливают ни отечественные, ни зарубежные фирмы.

На базе данного комплекса впоследствии может быть создан лабораторный практикум с целью обучения студентов естественнонаучного и технического профиля современным методам статистической обработки данных экспериментальных наблюдений различных физических величин, с обязательной проверкой принадлежности данных к нормальному распределению. Такое нововведение поможет сформировать у будущих специалистов правильное представление о статистических закономерностях, актуальное в условиях современного массового производства. Особенно полезно это будет для студентов метрологических специальностей.

Указанный комплекс включает в себя отдельные установки для измерения механических, термодинамических, электрических, ядерно-физических и других физических величин.

Приборы так подобраны и сконструированы, что за время, отведенное на одно лабораторное занятие, можно набрать необходимый объем данных и изучить их распределение. Так, доска Гальтона служит для проверки нормальности распределения механических величин, электронный частотомер и устройство для регистрации белого шума кремниевого транзистора – для проверки нормальности распределения электрических величин (частота в электрической сети и белый гауссовский шум в транзисторе), установка для изучения Броуновского движения – для исследования распределения пробегов броуновских частиц, счетчик Гейгера – для сравнения характеристик распределений Пуассона и Гаусса в ядерно-физических измерениях. Этот перечень приборов может дополняться и расширяться, в зависимости от специфики учебного учреждения.

Каждое из этих устройств позволяет сравнительно простым образом измерить и обработать большой массив однотипных экспериментальных результатов (экспериментальную выборку), убедиться в нормальности их распределения, с помощью стандартных компьютерных программ оценить статистические характеристики этого распределения. Комплекс позволяет изучить, как влияет объем выборки на получаемые статистические закономерности, в частности, как трансформируются параметры Гауссова распределения, насколько они соответствуют истинным характеристикам распределений.

1. ГОСТ Р ISO 5479-2002 «Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения».

2. СТБ ISO 5479-2012 «Критерии отклонения от нормального распределения».

3. Котов, Ю.Б., Семенова, Т.А. О неправомочности использования нормального распределения для оценки случайной погрешности в экспериментах с малым объемом выборки // Физическое образование в вузах.- 2014. -т.20. -№3. – с.65.

УДК 339

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРАТЕГИЧЕСКИХ АЛЬЯНСОВ

Васичева В.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В условиях современной рыночной конкуренции многие компании объединяют свои силы и средства для достижения определенных целей. Стратегический альянс – это деловое соглашение о взаимовыгодном сотрудничестве между двумя или более организациями. Партнёры по стратегическому альянсу могут договориться, например, об объединении своей деятельности по разработке новых товаров, а также об обмене опытом в сфере маркетинга и управления [1].

Зачастую управление взаимоотношениями между партнёрами является более важным процессом, чем разработка подходящей структуры взаимоотношений на стадии формирования, поскольку менеджмент стратегических альянсов сложно предугадать из-за постоянных изменений внешней и внутренней среды сотрудничества. Трансформация механизма функционирования альянса может быть направлена на повышение эффективности системы управления и контроля качества сотрудничества [2]. Следовательно, регулярный контроль качества взаимоотношений является наиболее экономически эффективным и значимым инструментом для управления этими отношениями. Хорошо разработанная система оценки качества позволяет компаниям выявлять проблемы до того, как они перерастают в конфликты и определять ключевые аспекты успехов альянса.

Стратегический альянс как система межорганизационных отношений может быть изучен с точки зрения широкого ряда теоретических отправных пунктов. Самыми очевидными из них являются стратегическое управление, организационная теория, экономический и промышленный анализ, теория сетей, теория игр, социологические и психологические теории. К исследованию стратегических альянсов также могут быть применены модели двусторонних и многосторонних отношений (например, коалиции, состоящие из нескольких государств). Мей и Тейт [3] обнаружили доказательства того, что стратегический союз определяется экономическими и социопсихологическими переменными.

Отношения между организациями включают в себя не только утилитарные экономические факторы, но также психологические и поведенческие, такие как доверие, приверженность и степень удовлетворенности [4]. Даже теория социального обмена основывается на экономическом и психологическом бихевиоризме, так как создание, разработка и поддержание внутриорганизационных отношений выходит за рамки практической экономики [5]. Значит, результат сотрудничества внутри стратегического альянса обуславливается как экономическими, так и эмоциональными факторами. Таким образом, одним из способов достижения успешного функционирования стратегического альянса является обеспечение тотального качества сотрудничества фирм-партнеров.

Механизмами сотрудничества, такие как стратегические альянсы очень сложно успешно управлять, в основном из-за сложности согласования целей и установок самоуправляемых организаций. Поэтому необходимо разрабатывать системы контроля качества следуя холистическим подходам, которые охватывают все сферы деятельности альянса. Одним из таких подходов является всеобщее управление отношениями (Total relationship management), на основе которой разработана система контроля пяти качеств (5К) [6]. Модель Пяти качеств является более всеобъемлющей и включает в себя основные многоаспектные атрибуты, которые отсутствуют в ряде других моделей:

1) К1: Качество объекта – техническое качество, которая измеряет основания и мотивацию вступления в стратегический альянс. Мотивация может основываться на одном или всех факторах, таких как финансовые, технологические, управленческие или стратегические.

2) К2: Качество процесса – функциональное качество, измеряющее процессы создания и расширения взаимодействий внутри стратегического альянса, а также насколько эффективно реализуется его деятельность. Адаптации также являются важным фактором. Например, один из партнёров готов изменить свой соб-

ственный дизайн продукта, чтобы позволить своему партнёру справиться с производственными сложностями. Адаптация может включать в себя инвестиции материальных и нематериальных ресурсов от обеих сторон.

3) K3: Качество инфраструктуры – оценочный фактор, включающий основные ресурсы, необходимые для выполнения деятельности сотрудничества. Инфраструктура альянса включает в себя такие критические факторы, как технические и кадровые ресурсы, компетенции сотрудников, навыки и знания.

4) K4: Качество взаимодействия – фактор, оценивающий процессы коммуникации и обмена информацией, финансовые и социальные контакты между партнёрами. Оно включает как взаимоотношения между сотрудниками одного предприятия, между организациями-партнёрами, между управляющими и подчиненными. Привязанность и сотрудничество между двумя взаимодействующими сторонами формируются и укрепляются в процессе совместной работы над достижением общих целей союза. Могут быть выделены различные типы привязанности, например социальные, технические, юридические, экономические и другие. Затраты на расторжение альянса зачастую также являются одним из критических факторов продолжения поддержания взаимодействия.

5) K5: Качество атмосферы измеряет процессы взаимодействия между сторонами, которые зависят от конкретных условий окружающей среды. Здесь могут быть включены такие переменные как осознанность совместных интересов, совместных целей, участия сотрудников в процессах принятия решений, чувство ответственности. Доверие, уважение, отзывчивость и приверженность к партнёрам являются также ключевыми переменными качества атмосферы. Предыдущие исследования доказали, что доверие и кооперация являются факторами, которые влияют на успешность и итоги стратегических альянсов. Прейджого и другие обнаружили, что есть положительная взаимосвязь между степенью доверия внутри альянса и операционными показателями, что влияет на стоимость и итоги деятельности [7].

Достижение удовлетворительного качества всех пяти факторов ведёт к высокому тотальному качеству сотрудничества между партнёрами, как показано на рисунке 1. Постоянный контроль и оценка всех вышеприведенных факторов является залогом успешного проведения деятельности стратегического альянса. Для реализации всего потенциала таких отношений организаций необходимо разрабатывать подходящие систематические стратегии достижения эффективной и устойчивой экономики стратегического союза. Оценка качества функционирования стратегиче-

ского альянса важна для прогнозирования дальнейшего взаимодействия фирмы с ее партнерами и полезности существующего сотрудничества.



Рисунок 1. Модель Пяти Качеств

1. Гриффин Р., Пастей М. Международный бизнес. 4-е изд. / Пер. с англ. под ред. А.Г. Медведева. – СПб.: Питер, 2006. – 1088 с.
2. Труфкин А.С. Особенности стратегических альянсов транснациональных корпораций на современном этапе / А.С. Труфкин// – М.:МАКС Пресс, 2010. – 196с
3. May, D. and Tate G. Exploring economic and social-psychological factors in explaining farmers' willingness to participate in cooperative alliances / Daniel E. May; Graham J. Tate // Int. J. of Strategic Business Alliances. – 2011. - Vol. 2, № 4, P. 329 - 346
4. Иншакова Е.И. Стратегические альянсы: потенциал для nanoиндустрии России / Е.И. Иншакова// Вестник Волгоградского государственного университета. Экон. Экол. –2015. – № 1 (30)
5. КИТ П.П. Формы межфирменных стратегических альянсов в автомобильной промышленности /П.П. КИТ// Журнал "Автомобильная промышленность" –2007. – № 2
6. Zineldin, M. Why Do Both Marriages and Strategic Alliances Have Over 50% Failure Rate? A Study of Relationship Quality of Strategic Alliances in China, Japan and Mauritius / M. Zineldin, H. Fujimoto, Y. Li, H. Kassan, V. Vasicheva, W.F.Yu // International Journal of Strategic Business Alliance. – 2015. - Vol. 1. - № 1. – P.1-23
7. Prajogo, D. The relationship between supplier management and firm's operational performance: A multi-dimensional perspective / D. Prajogo, M. Chowdhury, A.C.L. Yeung, T.C.E. Cheng // International Journal Production Economics. – 2012. - № 136, P.123-130.

УДК 379

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА ЧЕРЕЗ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Козлова Е.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Конкуренция как экономическое понятие и социально-экономическое явление становится актуальной в условиях мировой интеграции экономических систем [1, с.9]. Интеграция является неотъемлемой частью модернизации общества. Сегодня неактуально рассматривать «автономную» экономику, «автономное образование», «автономные» процессы бизнеса. Все чаще речь идет о социально-экономических предпосылках интеграции бизнеса и вузов, вузов и рынка труда, вузов и потребностей работодателя, вузов и конкурентоспособности предприятий [2, с.168]. Такие социально-экономические предпосылки выдвигают на новый уровень и роль современного образования. Рынок сферы образовательных услуг представляет собой важнейший компонент и слагаемое модернизируемой экономики, который является, с одной стороны, источником, поставляющим кадры для всей экономики, а с другой стороны, постоянно растущим по своим масштабам самостоятельным рынком образовательных услуг, конкурирующим по мощности и размерам с другими сегментами мирового рынка [3, с.188].

В современном мире все более определяющими факторами при выборе университета становятся престиж и рейтинг. Занятие лидирующих позиций в рейтингах, в свою очередь, возможно только при качественном образовании, активной работе по внедрению инноваций в научно-технической сфере, а также налаживанию взаимоотношений с предприятиями своей области с целью последующего трудоустройства выпускников.

Рыночная система, неизменно повышающая требования к квалификации и профессионализму работников, развивающему предпринимательскую инициативу, выдвинула новые требования к системе высшего образования. Информация о состоянии рынка труда и ее динамика оказались за пределами для анализа ситуации на рынке образовательных услуг в реальном времени. Поэтому университеты оказались без своевременных управляющих воздействий и обратной связи о состоянии рынка труда, требуемого качества и количества специалистов. Наряду с проблемами внутреннего управления, возникли проблемы стратегического планирования и управления. Университеты заинтересованы в разработке и реализации планов, в которых одним из ключевых пунктов является задача подготовки специалистов, востребованных на рынке. Образова-

тельный процесс теперь уже рассматривается как производство, на выходе которого конечным продуктом является специалист.

Существование необходимого спроса на специалистов является одним из основных показателей правильности выбранной стратегии университета. В таких условиях на главный план выступают менеджмент и профессорско-преподавательский состав, через участие в решении задач бизнеса, причем постановка задач должна идти именно от бизнеса, что позволит:

- ускорить получение актуальной информации по обратной связи;
- решить лингвистическую проблему (согласовать язык менеджмента и бизнеса);
- предоставлять студентам актуальное знание;
- участвовать университету в инновационной деятельности, а также в реальном режиме времени реагировать на изменения рынка. [4]

Существующий разрыв между образовательными технологиями университета и современными технологиями бизнеса, демонстрирует, что система менеджмента университета недостаточно чувствительна к изменениям внешней среды. Важно перенимать и воспринимать знания современных технологий, процедур и другой накопленный бизнесом опыт, ведь только введение новых актуальных знаний, технологий, терминов и т.п. позволит сократить такой разрыв.

Достижение необходимого уровня качества образовательной системы, ее устойчивое развитие не возможны без столь же значимых изменений в системе, процессах и механизмах управления развитием. Под «качеством» в обобщенном смысле понимается степень соответствия присущих объекту (продукции или услуге) характеристик установленным требованиям. Особенностью образования является более сложная структура потребления. В качестве потребителей результатов образовательного процесса выступают как сами студенты, так и их семьи, предприятия работодатели, и, наконец, общество и государство в целом, которые будут эффективно использовать потенциал выпускников образовательного учреждения. В связи с этим качество образования можно определить как сбалансированное соответствие совокупности свойств и характеристик образовательного процесса, его результатов, и всей системы образования в целом установленным потребностям, целям, требованиям и нормам (стандартам), которые определяются отдельными гражданами, предприятиями и

организациями, обществом и государством в целом [5, с.4]. Заинтересованные стороны отмечают такие важные составляющие качества подготовки специалистов как:

- хорошая теоретическая база (совокупность теоретических знаний в определенной области, необходимых для применения выпускниками в профессиональной деятельности);

- практические навыки, умения, опыт (умение решать практические задачи, используя теоретическую базу);

- научный потенциал (способность решать научно-практические задачи);

- личностно-психологические характеристики, необходимые для последующей профессиональной деятельности (интеллект, критическое мышление, аналитические способности, организаторские способности, ответственность, инициативность, коммуникабельность, исполнительность и т.п.);

- уровень воспитания (воспитанность, адекватное поведение в обществе);

- общекультурный уровень, образованность (всесторонняя развитость, кругозор и т.д.);

- физическое здоровье.

Все вышеперечисленные составляющие качества подготовки специалистов для разных заинтересованных сторон, целей и ситуаций имеют и разную степень важности. Университету важно обеспечить, по возможности, как можно более высокий уровень всех компонентов качества.

В качестве основной цели, преследуемой университетом рассматривается повышение качества образования, которое должно быть заметным для абитуриентов, академического сообщества, государства, общества и работодателей, рынка труда и образовательных услуг. Достижения поставленной цели, а также удовлетворение требований других заинтересованных в качестве образования сторон предполагает:

- ресурсное обеспечение научно-образовательного процесса, т.е. привлечение талантливых, высококвалифицированных преподавательских кадров; обеспечение университета финансовыми средствами из разных источников, необходимой литературой, доступом к современным информационным ресурсам, современной материально-технической базой, а также осуществление набора абитуриентов с высоким начальным потенциалом;

- создание условий для активного участия студентов в научно-практической, культурной, спортивной деятельности;

- установление связи с предприятиями для практической подготовки студентов и формирования программы практической подготовки в университете. [6, с.33-34]

Современные университеты одновременно работают по нескольким направлениям, в том числе на рынке образовательных услуг и на рынке труда. В основном, их деятельность направлена на студентов и их родителей, с имеющимися у них собственными ожиданиями от системы образования. Принимая во внимание, что оценка качества образования осуществляется с учетом наиболее важных жизненных ценностей студента, можно предположить, что мониторинг их мнения, в совокупности с мнением работодателей, касающийся структуры и качества образования способен обеспечить необходимую для последующих усовершенствований обратную связь.

- 1 Кравцевич С.В. Типологии конкуренции: теоретико-исторический аспект. Вестник ЧитГУ. 2011. №5 (72). – С. 9-13
- 2 Перезовова О.В., Кузнецова Т.С., Возилова Е. В. Роль вузов в укреплении конкурентоспособности предприятий // Вестник ЧГПУ. 2014. №7 С.168-174.
- 3 Андрончев И.К. Формирование и развитие организационно-экономического механизма конкурентоспособности современных вузов // Вестник Самарского государственного университета. 2015. № 5 (127). С. 188–193.
- 4 Гречко М. В. Трансформация механизмов развития системы образования // Современные технологии управления. ISSN 2226-9339. – №3 (15). Электронный ресурс - Режим доступа: <http://sovman.ru/article/1502/>. Дата доступа: 14.03.2016.
- 5 Михайлов М.В. Аккредитация учреждений высшего профессионального образования в условиях ФГОС // Новый университет. 2011. № 5. С. 4-6.
- 6 Гельманова З.С., Осик Ю.И. Деятельность вуза в контексте качества подготовки специалистов // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 1. – С. 31-36.

СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Гурина Е.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

По мнению многих отечественных и зарубежных ученых и практических работников, именно совершенствование управления интеллектуальной собственностью является одним из важнейших факторов повышения экономической безопасности страны. Большое внимание данному вопросу уделяли такие отечественные ученые и практические работники как Никитенко П.Г., Мясникович М.В., Кудашов В.И., Нехорошева Л.Н., Нечепуренко Ю.В., Марков А.В., Береснев А.Н. В Российской Федерации проблемам управления интеллектуальной собственностью много и плодотворно занимается Леонтьев Б.Б..

Как известно под интеллектуальной собственностью принимаются исключительные права на результаты умственной, творческой деятельности человека, которые могут быть получены в любой, практически во всех видах деятельности. Данная трактовка, как подчеркивает Леонтьев Б.Б., основной акцент делает на юридический аспект рассматриваемой категории, который лежит в сфере признания прав собственности, т.е. в сфере правоприменительной практики, исключая экономический.

Право собственности в зависимости от особенностей образования и охраны интеллектуальной собственности выступает в трёх формах: авторском, патентном и смежных правах. Наиболее охраноспособными являются технико-технологические объекты, составляющие основу объектов промышленной собственности и именно они одновременно являются основой модернизации реального сектора экономики и основным конкурентоспособным инновационным товаром как на внутренних, так и на внешних рынках. Это свидетельствует о том, что интеллектуальная составляющая лежит в сфере эксплуатации объекта через его введение в гражданский оборот, в том числе и через коммерциализацию, что позволяет считать стоимость объекта, доходы, убытки, вознаграждение и уровень конкурентоспособности в целом.

В этой связи можно утверждать, что управление интеллектуальной стоимостью не столько юридическая, сколько комплексная и, в конечном итоге, экономическая проблема, которая должна решаться одновременно на всех уровнях Национальной инновационной системы. Неотложная необходимость решения данной проблемы осознается практически во всех постсоциалистических странах. Поэтому всё чаще под-

нимается вопрос о разработке на государственном уровне стратегии и тактики, то есть государственной политики формирования системы управления интеллектуальной собственностью. Обобщая отечественный и зарубежный опыт управления инновационной деятельностью, в рамках которой и создаются объекты интеллектуальной деятельности, обуславливающие повышение уровня экономической эффективности функционирования и развития национальной экономики, можно предложить следующие направления, на которых должно быть сосредоточено внимание разработчиков.

Во-первых, несмотря на непопулярность мер по созданию новых управленческих структур, необходимы:

а) наличие соответствующего управляющего органа (центра);

б) четкая иерархия субъектов системы управления интеллектуальной собственностью на макро-, мезо- и микроэкономическом уровнях. Данный орган и должен быть ответственным за формирование и реализацию государственной политики в сфере здания и эффективного управления интеллектуальной собственностью.

Разработка государственной политики формирования системы управления интеллектуальной собственностью могла бы стать составной частью Государственной программы формирования Национальной инновационной системы, а ответственным органом назначен Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь или одно из его структурных звеньев, например, Центр интеллектуальной собственности.

При этом, его деятельность, базирующаяся на системном подходе, должна основываться на всех системообразующих признаках, таких как:

- целостность, т.е. наличие общей для всех элементов системы цели и их направленность на синергетический эффект функционирования и развития;

- самостоятельность отдельных элементов, что позволяет им в зависимости от цели управления выступать как подсистемы или даже системы более низкого уровня;

- наличие прямых и обратных, вертикальных и горизонтальных, входящих и исходящих, внутренних и внешних связей;

- поддержание оптимального взаимодействия управленческих функций с целью оптимального

регулирования действия центробежных и центростремительных сил.

Другими словами, обеспечение действенной взаимосвязи всех указанных признаков возможна лишь при выполнении системообеспечивающих функций управления социально-экономическими системами, таких как прогнозно-плановая, аналитическая, организационная, учетно-отчетная, координационная, контрольная, стимулирующая.

Во-вторых, определение приоритетов, комплексно учитывающих первоочередные потребности развития общественного производства. Причем данные приоритеты не должны исключать установление более отдаленных, т.е. среднесрочных и долгосрочных мер. Возможно, это повлечет за собой некоторую реструктуризацию общественного воспроизводства в целом и научных исследований в частности с целью поднятия престижности промышленности и аграрно-промышленного комплексов. Именно в этих сферах в основном накапливаются научно-технические знания, превращающиеся в материальные объекты, которые точно воспроизводимы, охраноспособны и конкурентоспособны на рынках.

В-третьих, реализация государственной политики управления интеллектуальной собственностью посредством формирования государственных программ, а также их структуры должна основываться на:

- приоритетных направлениях и в обязательном порядке ориентироваться на междисциплинарный характер, что предусматривает взаимодействие как между соответствующими науками, так и между отдельными видами (сферами) деятельности;

- обеспечении условий для интеграции всех соответствующих субъектов инновационных процессов, сфера деятельности которых находится в рамках отдельных этапов данного процесса: научных исследований – опытно-конструкторских разработок – подготовки производства – непосредственно производства – вывода на рынки – допродажного, продажного и послепродажного обслуживания – эксплуатации – утилизации;

- объемной и достоверной информации, что предопределяет необходимость формирования сети бенчмаркетинговых структур, содержанием деятельности которых является постоянный мониторинг полной информации.

Особое место в управлении объектами интеллектуальной собственности занимают патентные

исследования, отчеты по которым должны регистрироваться в специальных структурах. Однако в республике определенная часть отчетов не регистрируется. А снижение активности регистрации свидетельствует о том, что организации Республики Беларусь не стремятся получить информацию, полученную в ходе патентных исследований, их потенциальными партнерами и/или конкурентами.

Учитывая актуальность проведения патентных исследований для конкретного субъекта хозяйствования, отрасли и национальной экономики в целом, стимулирование проведения патентных исследований надо рассматривать как ряд мер, реализация которых должна осуществляться на следующих уровнях: субъектов хозяйствования, отраслевом и межотраслевом, государственном.

Как отмечалось выше, для стимулирования проведения патентных исследований на государственном и отраслевом уровнях важнейшее значение имеют соответствующие подходы к реализации государственных и отраслевых программ и проектов, в том числе научно-технических. Необходимо не только декларативное требование о соответствии создаваемого продукта мировым и национальным тенденциям, которое можно установить путем проведения патентных исследований, но и готовность выделять финансовые ресурсы для проведения таких работ и оценки их результатов. Это делает необходимым выделение финансирования на проведения патентных исследований при проведении НИОКР на их начальных стадиях, что позволит выступить определенным гарантом государственных инвестиций в новые разработки на основе их соответствия мировым тенденциям, наличию более высокого технического уровня по сравнению с аналогами, а также наличием патентной чистоты в отношении целевых рынков.

Данный подход должен предполагать дифференцированный аспект в зависимости от конкретного объекта разработки и его текущей стадии (жизненного цикла). Так, например, в соответствии со сложившейся практикой проведения патентных исследований существует выработанный подход к вопросам (задачам), которые должны быть решены при проведении патентных исследований на различных стадиях жизненного цикла продукции.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНОК

Гурина Е.В., Пронин П.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Процесс развития рыночных отношений в Республике Беларусь свидетельствует о том, что необходимо производить смену направлений при организации реализации товаров, работ и услуг, при этом активно используя элементы стратегий продвижения, которые определяют необходимость удовлетворения нужд и запросов конечных потребителей.

Проведя анализ эффективности использования стратегии продвижения продукции предприятий на рынок, можно выделить следующие направления совершенствования их коммуникационной деятельности:

- совершенствование политики разработки бюджета рекламной кампании;
- разработка брифа на проведение рекламной кампании в сети Интернет;
- разработка промо-сайта предприятия.

Разработка эффективного рекламного бюджета требует, прежде всего, точного учета специфики деятельности предприятия, всех его центров прибыли, а также тенденций развития.

Для формирования бюджета рекламной кампании предлагается использовать метод «цели и задачи».

Данный метод поможет избежать необоснованных затрат (т.е. увеличения себестоимости предоставляемых услуг) наиболее оптимальным способом, так как включает в себя определение плановых показателей объема продаж, прибыли и разработку целей коммуникационной политики и рекламной кампании, необходимых для достижения намеченного уровня сбыта.

После постановки целей определяется охват и частота рекламных обращений. Определяется стоимость рекламной кампании с данным охватом и частотой трансляций.

Основная цель бюджета рекламы: разработка рекламной кампании с наибольшим охватом рынка при оптимальном расходовании средств.

В целях повышения эффективности рекламной деятельности компании необходимо выполнить следующие задачи по политике бюджета рекламной кампании:

- наличие детально разработанного маркетингово-рекламного плана (проведение маркетинговых исследований) и его реальное финансирование;
- активизировать работу по размещению в СМИ имиджевой рекламы;
- организовать ежемесячный выпуск пресс-релизов и их адресную рассылку;

- разработать электронные версии продвижения товаров предприятия;
- увеличить расходы на полиграфическую и сувенирную продукцию;
- разработать программы нетрадиционных форм рекламы.

Подобное введение обеспечит укрепление компании на рынке полиграфических услуг. Потребители товара или услуги, как правило, ассоциируют торговую марку с качеством товаров, а также воспринимают любимую торговую марку как знак лучшего качества данного товара (услуг) по сравнению со всеми существующими для него альтернативами.

Эффективность данной программы ожидается как минимум через год, так как повысится популярность компании, прирост выручки от реализации, увеличится прибыль, а соответственно рентабельность. При этом рекламную политику целесообразно строить на основе адресно-комплексного принципа, сочетая:

- осведомление потенциальных клиентов о существовании тех или иных видов полиграфических услуг;
- распространение информации о высоком качестве предоставляемых видов полиграфических услуг в компании;
- формирование потребительского спроса на полиграфические услуги;
- создание «репутационной основы» для последующего ввода на рынок новых видов полиграфических услуг;
- устранение ложных представлений и пробелов в информации и других препятствий на пути к продаже.

Одним из важных направлений рекламной деятельности является активизация работы по размещению в СМИ имиджевой рекламы, т.е. создание полиграфической продукции (престижные проспекты, буклеты, листовки, открытки и т. д.).

Относительно сувенирной продукции компании следует постоянно следить за обновлением ассортимента предлагаемых полиграфических услуг. Отбор и производство сувенирной продукции должны производиться в строгом соответствии с концепцией рекламной стратегии общества, а именно при выборе и производстве сувениров следует придерживаться принципа формирования 3-х пакетов: для высокого, среднего и рядового уровня партнеров. Особая статья бюджета - новогодняя сувенирная продукция.

На сегодняшний день набор сувенирной продукции для постоянных клиентов унифицирован, меняется лишь цвет обложек. Это в основном календари с логотипами предприятия. Работа с постоянными клиентами, почетными клиентами должна стать отдельным направлением рекламной деятельности, подкрепленным специальной статьей бюджета (престижная сувенирная продукция, деловые подарки, поздравления и т.д.).

Статус благополучной и процветающей компании обязывает иметь в приемной офиса «гостевую» (рекламную) папку, содержимому которой следует уделять особое внимание. Папка должна быть наполнена информацией по всем видам полиграфических услуг, а также набором ручек, календарей и т.д. с логотипом.

В рекламной стратегии важное место должны занимать акции паблик рилейшнз (ПР). Создание и укрепление положительного имиджа через мероприятия, акции, встречи должно стать основной задачей ПР.

Общим назначением внешних коммуникаций компании является установление контакта с потенциальными клиентами и обществом в целом. Это своего рода информационный мостик, интегрирующий в социальную систему, служащий для «очеловечивания» компании, придания ее образу эмоционального характера, введения компании в круг постоянного общения с клиентом. Только в этом случае удастся наладить долгосрочный контакт с клиентом и устойчивые продажи своей продукции.

Значение коммуникаций предприятия с его внешним окружением очень велико. Общество - это своего рода символическая система, сумма ценностей и распределение ролей, существующих в информационном, знаковом пространстве. Если предприятие хочет добиться коммерческого успеха, оно должно интегрироваться в эту систему, принять правила игры, существующие в обществе. Этого можно добиться за счет эффективных внешних коммуникаций, направленных на социальное позиционирование компании, т.е. выполнить определенную социальную роль и при этом отвечать требованиям, предъявляемым к бизнесу со стороны общества.

Целью здесь является достижение высокой общественной оценки. Точно так же, как социальный статус человека определяется уважением к нему со стороны окружающих, место компании на рынке зависит от общественной оценки, репутации её марки. На данный момент основным направлением совершенствования рекламной

деятельности предприятия является совершенствование использования Интернет-рекламы. Так как было выявлено, что именно данному виду рекламы не уделялось должного внимания. Для совершенствования рекламной деятельности в области информационных технологий можно предложить создать промо-сайт предприятия с помощью которого можно проводить продвижение продукции предприятия и сайта в сети Интернет.

Промо-сайт – это интернет-проект, направленный на продвижение определенного продукта, линии товаров, услуги, бренда, события или акции. В отличие от корпоративного сайта, дающего общее представление о компании, ее товарах и услугах, промо-сайт акцентирует внимание на конкретном продукте (услуге, событии). Промо-сайт является хорошим дополнением основного корпоративного сайта компании. Благодаря своей узкой направленности промо-сайт изначально ориентирован на эффективное продвижение в поисковых системах по ключевым запросам и приток целевой аудитории.

Главная цель промо-сайта – раскрыть, показать все преимущества определенного товара или продукта. Промо-сайт может понадобиться организации для того чтобы:

- создать положительный имидж продукта или компании;
 - прорекламировать продукт или услугу;
 - предоставить детальное описание компании и продвигаемого продукта;
 - получить общую характеристику потребителя определенного продукта;
- С помощью промо-сайта можно добиться следующих результатов:
- получить новых клиентов;
 - увеличить объемы продаж;
 - закрепить за и рекламируемым продуктом положительную репутацию.

Несмотря на компактные размеры, промо-сайт всегда отлично срабатывает и замечательно справляется со своим предназначением. В среднем на создание промо-сайта уходит 2 недели (в зависимости от сложности его разработки). Промо-сайт может быть центральным элементом рекламной компании, поэтому следует максимально использовать его возможности. Создание промо-сайта обходится гораздо дешевле, чем другие методы рекламы, но является более эффективным.

ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Минько М.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Инновационное развитие можно определить как экономический рост хозяйствующего субъекта на основе разработки и реализации новых или улучшающих технологий. Уровень инновационного развития определяется как ресурсной составляющей инновационного процесса (инновационным потенциалом), так и эффективностью трансфера инновационных технологий. Для эффективного продвижения по инновационному пути развития недостаточно только понимания необходимости ускорения развития инновационных тенденций в экономике и стремления создавать и поддерживать в обществе атмосферу, способствующую появлению и коммерциализации новейших разработок, в том числе, а может быть, в первую очередь, содержащих объекты интеллектуальной собственности (ОИС).

Использование интеллектуальной собственности (ИС) в инновационной сфере должно учитывать ее особенности, вызывающие необходимость государственного регулирования:

1. многие предприятия не могут осуществлять дорогостоящие проекты, например, проводить фундаментальные научно-исследовательские работы, которые не обеспечивают возможности получения экономического эффекта или рассчитываемой экономической оценки социальных или экономических последствий использования ИС;

2. достаточно длительный срок окупаемости и высокая степень риска отдельных инновационных проектов;

3. наличие инноваций, не имеющих коммерческого измерения;

4. существование ситуаций, когда научные достижения могут оказаться эффективными лишь в случае крупномасштабного внедрения, т.к. у отдельного хозяйствующего субъекта ограничены производственная база и рынки сбыта и у такого предприятия-«одиночки» инвестиции в инновации могут оказаться недостаточно прибыльными;

5. экономический эффект от инноваций нельзя измерить одной прибылью, т.к. он определяется результатами деятельности, выходящими за рамки отдельных предприятий, а значительная доля эффектов от инвестиций в инновации проявляется вне сферы приложения средств первоначального инвестора;

6. государственное регулирование использования ИС должно ограничивать стремление предприятий-инноваторов монополизировать

эффект от таких ОИС, защищая права как инновационного предприятия, так и общества в целом.

Успешность функционирования предприятия и уровень его инновационного развития во многом зависят от коммерческого потенциала разработок, принимаемых для внедрения в производство. Оценка коммерческого потенциала ОИС представляет собой выявление его потенциальной способности приносить в будущем прибыль при условии должной организации производства и адекватной маркетинговой политики хозяйствующего субъекта. Показатели оценки коммерческого потенциала носят исключительно прогнозный характер.

Условия коммерческой реализации ОИС основаны на принципах патентного права:

– свободы творчества как конституционный принцип;

– исключительности прав патентообладателя;

– соблюдения интересов, как патентообладателя, так и общества;

– инициативы и доверительного сотрудничества субъектов патентного права;

– обязательной новизны объектов охраны;

– охраны результатов только творческой деятельности;

– обязательного государственного признания объектов охраны;

– морального и материального стимулирования авторов.

Оценка потенциала коммерциализации ОИС строится на следующем принципе:

– ИС создает целый ряд затрат, которые должны быть противопоставлены ряду возможностей по генерированию дохода для тех, кто эксплуатирует эту ИС.

– целесообразность патентования определяется целями использования ИС. Можно выделить две основные цели использования ОИС

– продажа (экспорт) продукции собственного производства;

– продажа (экспорт) технологии как цели патентования.

Критерии целесообразности патентования включают в себя следующие:

– технический уровень объекта;

– экономическая эффективность;

– значимость конкретного изобретения в объеме техники;

– наличие ноу-хау;

- возможность доказательства нарушения патента;
- наличие рынка;
- наличие интереса конкурентов и т.п.

Определение коммерческого потенциала ОИС производится в следующей последовательности:

1. производится идентификация формальных признаков ОИС с целью определения объема прав;

2. анализируется конкурентная среда, в которую попадает данный ОИС. Этот анализ должен дать ответ на важнейший вопрос о том, насколько агрессивна рыночная среда, где продаются аналогичные товары и, соответственно, насколько жизнеспособен данный ОИС и на какой срок его полезного использования его владельцы могут рассчитывать, чтобы получать с его помощью доходы на разных рынках.

3. осуществляется сегментирование рынка с целью выявления различий в потребительских предпочтениях, выходящих за рамки удовлетворения базовых потребностей для заданного товарного рынка и, соответственно, разделения на группы потребителей.

4. оцениваются потенциальные возможности расширения рынков сбыта продукции, содержащей ОИС, с учетом сложившихся конкурентных отношений.

5. производится прогнозная оценка совокупного дохода (прибыли) от реализации продукции, содержащей объекты интеллектуальной собственности, по отдельным рынкам и территориям: объема производства и продаж на прогнозируемый период; себестоимости одного изделия (услуги) с учетом затрат на рекламу; цены реализации одного изделия (услуги); оценки риска реализации товаров, содержащего объекты интеллектуальной собственности на разных рынках на период действия прав; годовых доходов от реализации товаров, содержащих объектов интеллектуальной собственности; совокупных доходов за весь прогнозируемый период.

Оценка коммерческого потенциала ОИС может проводиться по следующим блокам показателей:

1. Правовой блок: наличие и способ правовой охраны (патент, заявка); действенность правовой охраны (охраноспособность в Республике Беларусь и странах экспорта); срок действия исключительных прав; объем исключительных прав; территория действия исключительных прав; наличие аналогов ОИС по результатам патентных исследований;

2. Научно-технический блок: уровень новизны (изобретательский уровень); степень морального устаревания; степень готовности ОИС к практическому использованию; возможные направления использования разработки; наличие аналогов продукта по результатам патентных исследований; технологические риски;

3. Экономический блок: потребность – потенциально востребованный рынком объем продукции, созданной на основе ОИС: ценность для потребителя; формы коммерческой реализации; стоимость ОИС и созданного на его основе продукта с учетом временного и ресурсного аспекта реализуемости; уровень коммерческого риска.

Успешность коммерциализации ОИС для инновационного развития предприятия может быть оценена с помощью следующих показателей:

– рентабельность ОИС (прибыль от использования ОИС / затраты на ОИС, используемые в производственном процессе);

– доля выручки от реализации продукции на основе ОИС в общей выручке от реализации инновационной продукции;

– коэффициент внедрения разработок (доля новых внедренных разработок в общем числе разработок);

– коэффициент технологической новизны (доля созданных принципиально новых разработок в общем числе (внедренных) разработок).

1. Валдайцев, С.В. Оценка интеллектуальной собственности: учебник // СПбГУ, экон. факультет; С.В.Валдайцев. – М.: ЗАО «Издательство «Экономика»», 2010. – 471 с.
2. Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями: коллективная монография / Под ред. Б.З. Мильнера. – М.: Инфра – М, 2010., с. 340 – 347.
3. Конов Ю.П. Экономика интеллектуальной собственности: учебник для вузов / Ю.П. Конов, Л.П. Гончаренко. – Москва: Экономика, 2011. – 503 с.
4. Мухин, А.П. Коммерциализация научно-технических разработок / Учебно-практическое пособие / А.П. Мухин, Н.В. Арзамасцев, В.П. Ващенко, И.Д. Вершинин и др. — М.: АМиР, 2001. – 192 с.
5. Антонец В.Л., Нечаева Н.В., Хомкин К.А., Шведова В.В. Инновационный бизнес: формирование моделей коммерциализации перспективных разработок: учеб. пособие / под ред. К.А. Хомкина. – М.: Издательство «Дело» АНХ, 2009. – 320 с.

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИЗМЕРЕНИЙ КАК ЧАСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ

Павлов К.А., Бояровская К.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

В современном мире для устойчивого успеха организации необходимо найти баланс между потребностями и ожиданиями потребителей и других заинтересованных сторон в течение длительного времени. Между тем устойчивый успех достигается за счет результативного менеджмента организации, путем познания среды организации, а также обучения и соответствующего применения улучшений и/или инноваций. [1]

Идеология построения системы менеджмента устойчивого развития позволяет разрабатывать единую систему управления предприятием, которая не должна «привязываться» к требованиям определенных стандартов.

Принципы работы системы менеджмента устойчивого развития позволяет учесть различные аспекты рынка, опираясь на культуру предприятия, капитал знаний его работников и другие ресурсы предприятия. [2]

Одной из частей системы менеджмента организации является система менеджмента измерений (далее – СМИ), направленная на обеспечение выполнения метрологических требований при контроле показателей качества выпускаемой продукции. На территории Республики Беларусь действует гармонизированный государственный стандарт, содержащий требования к процессам измерений и измерительному оборудованию в рамках СМИ – СТБ ИСО 10012-2004 «Системы управления измерениями. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию».

Также согласно плана государственной стандартизации Республики Беларусь был разработан государственный стандарт СТБ 2450-2016 «Система менеджмента. Менеджмент измерений. Анализ измерительных систем». Стандарт будет введен с 01.03.2017 г.

Система менеджмента измерений – набор взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, необходимых для достижения метрологического подтверждения и постоянного управления процессами измерения [3].

Эффективная СМИ обеспечивает пригодность измерительного оборудования и процессов измерений для их предполагаемого использования и имеет большое значение для достижения целей в области качества продукции и благодаря снижению вероятности появления недостоверных результатов измерений. Цель СМИ состоит в управлении измерительным

оборудованием и процессами измерений, позволяющем контролировать достоверность результатов измерений характеристик, влияющих на качество продукции. СМИ предусматривает проверку измерительного оборудования и применение статистических методов управления процессом измерений.

При разработке системы менеджмента качества и ее подсистем руководствуются основными принципами менеджмента качества, одним из которых является процессный подход. Поэтому при разработке и внедрении СМИ как части СМК ее необходимо рассматривать как процесс измерения, направленный на обеспечение требуемого качества продукции, выпускаемой организацией. Модель СМИ, согласно положениям государственного стандарта СТБ ИСО 10012, представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Модель СМИ

СМИ охватывает управление установленными процессами измерений и метрологическим подтверждением пригодности измерительного оборудования, а также процессами необходимого технического обслуживания измерительного оборудования.

Измерительное оборудование и технические процедуры, используемые в СМИ, должны быть четко идентифицированы по отдельности или все вместе. Необходимо также идентифицировать статус метрологического подтверждения пригодности измерительного оборудования. Оборудование, имеющее подтверждение пригодности для использования только в определенном процессе измерений, должно быть четко идентифицировано для предупреждения

его несоответствующего использования. Идентификация измерительного оборудования, используемого в СМИ, должна отличаться от идентификации другого оборудования.

Измерительное оборудование может иметь метрологическое подтверждение пригодности для использования в одних процессах измерений и не иметь такого подтверждения для использования в других процессах измерений из-за разницы в метрологических требованиях. Метрологические требования к измерительному оборудованию вытекают из установленных требований к продукции или оборудованию, которое должно пройти калибровку или поверку и иметь метрологическое подтверждение пригодности [4].

При разработке процесса измерения метрологические требования должны быть установлены на основании требований потребителя, организации, а также законодательных и обязательных требований, метрологических правил и норм. Для каждого процесса измерений должны быть определены соответствующие ему элементы и способы управления.

Усилия, необходимые для управления процессом измерений, должны быть сопоставимы с важностью измерений характеристик качества готовой продукции.

Примерами того, где уместна высокая степень управления процессом измерений, являются измерения, связанные с обеспечением безопасности продукции, или измерения, приводящие к существенному повышению расходов в случае их недостоверности. Данный пример определяет важность разработки и внедрения СМИ на предприятиях, выпускающих продукцию, требования к которой регламентированы техническими регламентами Таможенного союза.

Минимальное управление процессом измерений возможно для простых измерений некритических частей.

Процедуры управления могут иметь общую форму для аналогичных типов измерительного оборудования и его применений, например, использование ручного инструмента для измерения размеров обрабатываемых деталей [4].

Несоответствующее измерительное оборудование и документация должны быть идентифицированы для предупреждения их неумышленного использования.

При решении вопроса об области применения СМИ особое внимание следует уделить рискам,

возникающим при несоответствиях измерительного оборудования и процессов измерений метрологическим требованиям, а также последствия этих несоответствий.

Однако, несмотря на существующую в настоящее время информацию по разработке и внедрению результативной и эффективной СМИ как части СМК организации, в этой информации рассматривает каждую отдельную лабораторию как одно рабочее место, на котором выполняется одна определенная работа. Соответственно в такой СМИ прописываются только общие моменты, которыми и руководствуются лаборатории в своей работе. На самом деле в каждой из них есть своих особенности работы, которые не учитываются в СМИ. Так, например, лаборатории осуществляют калибровку или поверку оборудования, проводят испытания с целью утверждения типа, разрабатывают методики выполнения измерений и другие процессы, которыми необходимо управлять. [4]

Таким образом для корректного формирования эффективной и результативной СМИ как части системы менеджмента и ее внедрения в деятельность лаборатории или организации необходимо руководствоваться не только положениями государственного стандарта СТБ ИСО 10012, но и учитывать требования законодательства Республики Беларусь в области обеспечения единства измерений, а также действующих на территории страны ТНПА, содержащих требования к характеристикам, процедурам метрологического контроля, процессам управления средствами измерений и методиками выполнения измерений или методов контроля.

1. СТБ ISO 9004-2010 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества»
2. Николаев В.Е. «Системы менеджмента устойчивого развития» // Вестник качества.-2008.-№4.
3. СТБ ИСО 10012-2004 «Системы управления измерениями. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию».
4. СТБ 2450-2016 «Система менеджмента. Менеджмент измерений. Анализ измерительных систем».

РОЛЬ ИННОВАЦИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ворошина Е.В.

*УО «Барановичский государственный университет»
Барановичи, Республика Беларусь*

Современная экономика характеризуется резким обострением конкуренции товаропроизводителей, которая вызвана процессами глобализации, свободой перелива капиталов и трудовых ресурсов, ростом диверсификации потребительских запросов, сокращением жизненного цикла товаров, резким усилением роли факторов НТП в обеспечении экономического роста, как отдельных субъектов хозяйственной деятельности, так и национальных экономик в целом.

Деятельность хозяйствующих субъектов определяется преимущественно внешними факторами, прежде всего, факторами микросреды (потребностями и запросами потребителей, действиями конкурентов, условиями взаимодействия с поставщиками, посредниками, кредитно-финансовыми учреждениями, влиянием органов власти и средств массовой информации и т. п.), которые оказывают непосредственное влияние. На них влияют также факторы макросреды (социально-политическая, политико-правовая, экологическая, технологическая и другие ее составляющие), которые определяют общие «правила игры».

В современных условиях инновации являются важнейшим фактором экономического развития. Инновации создают конкурентные преимущества отдельным странам и регионам на мировом рынке. Они представляют собой симбиоз трех основных составляющих устойчивого развития экономики: экономического роста, социального прогресса, охраны окружающей среды.

Инновационное развитие – один из главных приоритетов экономической политики, проводимой в Республике Беларусь. Из госбюджета выделяются значительные ресурсы для финансирования научно-технических программ, поддержки предпринимательства, крупных инновационных проектов, создания элементов инновационной инфраструктуры, подготовки кадров для инновационной деятельности.

Современный научно-производственный потенциал Республики Беларусь в состоянии создавать и реализовывать инновации практически по всей номенклатуре технологий, продукции и услугам, которые востребованы на отечественном и зарубежных рынках.

Затраты на технологические инновации в 2010 году составили 2793,3 млн. руб., 2011

году – 8763,7 млн. руб., 2012 году – 7937,5 млн. руб., 2013 году – 9986 млн. руб., в 2014 году – 10281,9 млн. руб., в 2015 году – 10616,7 млн. руб.

Удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции составил в 2010 году – 14,5 %, в 2011 году – 14,4 %, в 2012 году – 17,8 %, в 2013 году – 17,8 %, в 2014 году – 13,9 %, в 2015 году – 13,1 %.

Внутренние затраты на научные исследования и разработки в 2010 году составили 1140,6 млн. руб., в 2011 году – 2081,9 млн. руб., 2012 году – 3537,8 млн. руб., 2013 году – 4372,3 млн. руб., в 2014 году – 4073,1 млн. руб., в 2015 году – 4495,4 млн. руб. [2].

В сложившихся условиях формирование эффективной системы оперативной адаптации к изменениям ситуации на рынке с целью выявления наиболее перспективных сфер и видов производственно-сбытовой деятельности (с опорой на инновации) является одной из важнейших задач хозяйствующих субъектов.

Проблемы анализа потенциала инновационного развития хозяйствующих субъектов и оценки рыночных возможностей исследовались в работах отечественных и зарубежных ученых, в частности, И. Ансоффа, П. Друкера, М. Портера и многих других.

Однако практически не исследованными остались вопросы согласования взаимодействия инновационного и производственного потенциала предприятий с рыночным в процессе анализа и выбора направлений инновационного развития рыночных возможностей.

Инновационная деятельность имеет шансы на успех лишь при наличии и согласованном взаимодействии:

- рыночного потенциала, как способности рынка воспринимать инновации определенного типа и направленности;

- инновационного потенциала предприятия, как возможности воплощения достижений науки и техники в конкретные товары, способные удовлетворять запросы потребителей;

- производственно-сбытового потенциала, как способности предприятия разработать, произвести и продвигать инновации на рынке.

Необходимость комплексного рассмотрения рыночного, инновационного и производственно-сбытового потенциалов косвенно подтверждается известными иностранными специалистами, например, Робертом Г. Купером, который

отмечает следующие главные неудачи товарных инноваций:

- недостаточная рыночная ориентация;
- несоответствие темпов разработки нового товара темпам изменения потребностей потребителей (вследствие технических проблем, неточного планирования, плохой организации и контроля);
- низкое качество товара (вследствие недостатков, допущенных на этапах разработки товара);
- недостаточная предыдущая подготовка и проработка мероприятий по организации производства нового товара;
- недостаточная дифференциация товаров, стремление следовать за лидерами рынка, отсутствие собственных «изюминок»;
- технические проблемы при разработке и производстве;
- недостаток времени, средств, кадров (разработчиков, производственников, менеджеров) и других ресурсов.

Решения о целесообразности выполнения конкретных управленческих действий должны приниматься на основе анализа и оценки достаточности рыночного, инновационного, производственно-сбытового потенциалов, а также степени их соответствия друг другу.

Возможны следующие варианты, расположенные в порядке снижения шансов на успех [1, с. 114].

1. Имеются все условия для инновационного развития, поскольку рыночный, инновационный и производственно-сбытовой потенциалы являются достаточными.

2. Состояние производственно-сбытового потенциала свидетельствует о неспособности хозяйствующего субъекта разработать, изготовить и продвигать инновации на рынке. Нужно выполнить проверку способности и экономической целесообразности технического переоснащения производства, подготовки и обновления кадров, реформирования сбытовой сети и системы стимулирования сбыта. В случае нецелесообразности анализируемый вариант инновационного развития нужно исключить из рассмотрения.

3. Состояние инновационного потенциала свидетельствует о невозможности воплощения достижений науки и техники в конкретные товары, которые способны удовлетворять запросы потребителей. Необходимо выполнить проверку возможности и экономической целесообразности стимулирования творческой активности работников, финансирования научно-исследовательских работ, привлечения к работе высококвалифицированных специалистов и т. п. В случае нецелесообразности анализируемый

вариант инновационного развития нужно исключить из рассмотрения.

4. Состояние инновационного и производственно-сбытового потенциалов является неудовлетворительным. Однако рынок готов воспринять инновации. Для приведения в соответствие инновационного и производственно-сбытового потенциалов рыночному необходимо привлечь инвестиционные ресурсы, что требует очень убедительных обоснований и является довольно проблематичным.

5. Состояние рыночного потенциала неудовлетворительно, поскольку отсутствует спрос (фактический или потенциальный) на новую продукцию. Необходимо проверить возможность и экономическую целесообразность формирования и стимулирования спроса. Если результаты проверки неудовлетворительные, то анализируемый вариант следует исключить из дальнейшего рассмотрения.

6. Отсутствует спрос на новую продукцию, хозяйствующий субъект неспособен ее разработать, изготовить и продвигать на рынке. Однако инновационный потенциал является достаточным. При данной комбинации факторов вариант инновационного развития можно реализовать только путем привлечения инвестиций, но для этого у инвесторов должны быть очень серьезные стимулы: высокая норма прибыли, завоевание перспективного рынка и т. п. Реализация варианта довольно проблематична.

7. Вариант реализовать практически невозможно, поскольку отсутствует спрос на новую продукцию, а хозяйствующий субъект неспособен воплотить достижения науки и техники в новые товары, которые способны удовлетворить запросы потребителей. Вариант исключить из дальнейшего рассмотрения.

8. Условий для реализации анализируемого варианта инновационного развития нет (как внешних, так и внутренних).

Представленные варианты соответствия потенциалов могут быть использованы как методическая помощь при оценке шансов на успех конкретных вариантов инновационного развития конкретных субъектов хозяйственной деятельности.

1. Научные основы маркетинга инноваций: монография в 3 т. Том 1. / под ред. д-ра экон. наук, профессора С.Н. Ильшенко. – Сумы: ООО «Печатный дом «Папирус», 2013. – 279 с.

2. Государственный комитет по науке и технологиям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gknt.gov.by/opencms/opencms/ru/innovation/> – Дата доступа: 10.09.2016.

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Подобед Н.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Вопрос оценки конкурентоспособности предприятий и организаций обычно рассматривается в контексте успешной реализации продукции. При этом не учитывается аспект совершенствовании бизнес-процессов, способствующий минимизации транзакционных расходов. В оценке конкурентоспособности современного предприятия практически не используется коэффициент инновативности, характеризующий способность осуществлять изменения в своей деятельности на основе внедрения новых элементов.

В практике оценки конкурентоспособности объекта широко используются четыре основные группы методов: матричные, продуктовые, эффективной конкуренции и комплексные.

Матричные методы предполагают анализ матрицы, построенной по принципу системы координат. Главный критерий конкурентоспособности – доля рынка. Преимущества методов данной группы – высокая адекватность оценки. Недостатки – требование наличия большого объема достоверных данных за ряд лет.

Продуктовые методы базируются на равенстве понятий конкурентоспособности товара и предприятия. Как правило, находится соотношение цена — качество. Данная группа методов применима для оценки конкурентоспособности естественных монополий. Главным недостатком является отождествление конкурентоспособности предприятия и товара, что неверно, т.к. понятие конкурентоспособность предприятия значительно шире.

Методы, основанные на теории эффективной конкуренции учитывают разносторонние аспекты деятельности предприятия, делая упор на оптимальной организации бизнес-процессов. Данные методы активно применяются в развитых странах, где присутствует финансовая стабильность. В странах с транзитивной (конвергентной) экономикой использование данных методик затруднено из-за неразвитости отдельных элементов рыночной инфраструктуры. В данных условиях невозможно приравнять показатель конкурентоспособности предприятия к сумме возможностей (способностей) фирмы.

Комплексные методы трактуют конкурентоспособность предприятия как интегральную величину по отношению к текущей конкурентоспособности и конкурентному потенциалу. При этом учитывается не только достигнутый уровень конкурентоспособности фирмы, но и его

возможную динамику в будущем. Дополнительно производится оценка конкурентного климата. Недостатком данных методов является повторение способов и приемов, используемых при оценке текущей и потенциальной конкурентоспособности. Вместе с тем комплексные методы наиболее применимы для оценки конкурентоспособности предприятий в Республике Беларусь, т.к. позволяют адаптировать имеющиеся приемы к особенностям учетной политики в нашей стране.

За основу можно принять расчет комплексного показателя конкурентоспособности по методике В.П. Ефериной. Согласно этому методу комплексный показатель конкурентоспособности K_k определяется по пяти частным показателям:

$$K_k = a_1 OП + a_2 П_{об} + a_3 P_p + a_4 Д_p - a_5 Ч_п ,$$

где ОП – безразмерный показатель «объем продаж», $П_{об}$ – безразмерный показатель «прибыль», P_p – безразмерный показатель «рентабельность реализованной продукции», $Д_p$ – безразмерный показатель «доля рынка», $Ч_п$ – безразмерный показатель «численность персонала», a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – соответствующие коэффициенты значимости частных показателей, определяемые на основе опроса экспертов.

При этом комплексный показатель конкурентоспособности организации может принимать значение от 0 до 1. Чем выше это значение, тем более конкурентоспособной является организация.

Оценка конкурентоспособности современного предприятия на основе комплексных методов может состоять из следующих основных этапов:

-анализ внешней среды. Рассчитываются объемы потребления инновации, емкость рынка, конкурентный климат.

-анализ внутренней среды. Рассчитываются основные экономические и маркетинговые показатели хозяйственной деятельности в динамике на основе годового отчета о прибылях и убытках. Сравняются интегральные показатели конкурентоспособности за несколько лет.

-анализ инновационной продукции. Производится ABC-XYZ анализ, рассчитывается соотношение цена-качество.

-анализируются сильные и слабые стороны предприятия. Рассчитывается коэффициент ин-

новативности. Проводится анализ по основным элементам комплекса маркетинг-микс в форме SWOT-анализа.

-обобщение полученных сведений. Учет влияния внешних факторов в форме PEST анализа.

-разработка мероприятий по укреплению конкурентоспособности объекта в форме бизнес-плана инвестиционного проекта.

-экономическое обоснование предложенных мероприятий с использованием элементов проектного подхода.

-внедрение в производство одобренных руководством усовершенствований. Реализация значительного числа мероприятий по укреплению конкурентной позиции возможна только с учетом ряда соответствующих макроэкономических предпосылок. При возникновении негативных тенденций в развитии национального хозяйства должны приниматься оперативные меры по корректировке решений в области хозяйственной деятельности предприятия.

Реализация данных этапов на практике невозможна без современного программного обеспечения. Несмотря на то, что в последние два десятилетия развитие информационных технологий происходило стремительными темпами, система их внедрения, использования и модернизации на предприятиях Республики Беларусь далека от совершенства, особенно на предприятиях традиционных отраслей экономики.

Основой для внедрения современных программных продуктов и минимизации бумажного документооборота на этапе оценки конкурентоспособности является наличие собственного сайта компании.

Например, современные интегрированные автоматизированные системы управления взаимодействием с клиентами (СРМ – системы) позволяют полностью автоматизировать оценку конкурентоспособности, адаптировав ее под деятельность любого предприятия в условиях работы с конвергентной экономической системой.

В целом, задачи, которые в современных условиях решает Web-сайт, можно условно разделить на два направления:

1. PR-направление (Public Relations): рекламная функция, воздействие на аудиторию для создания положительного образа компании.

2. «Коммерческое» направление, ориентированное на повышение конкурентоспособности

предприятия через сеть Internet. В «коммерческой» части информация должна быть значительно более полной и подробной. Именно в «коммерческое» направление сайта можно внедрить СРМ систему, позволяющую сформировать основные маркетинговые показатели для оценки конкурентоспособности предприятия.

На рынке Республики Беларусь с каждым годом все больше предприятий внедряет СРМ в свою деятельность и эти компании принадлежат разным отраслям экономики, что говорит об эффективности использования данной схемы.

Оценка и повышение уровня конкурентоспособности предприятия имеет ряд теоретико-методологических проблем по причине многообразия способов и отсутствия единого алгоритма действий. К наиболее серьезным недостаткам необходимо отнести учет небольшого количества факторов, отсутствие динамики рассчитываемых значений, высокая степень субъективности, недоступность объективных данных с помощью каких именно показателей был достигнут текущий уровень конкурентоспособности. Данные недостатки можно устранить только многоступенчатым исследованием на всех этапах оценки с использованием современного программного обеспечения.

1. Волков, А.В. Конкурентоспособность и устойчивость развития территории / А.В. Волков, П.П. Чуваткин // Экономика и управление. – 2013. – №3. – С. 67-70
2. Головачев, А.С. Интегральный подход к определению конкурентоспособности организации / А.С. Головачев, О.В. Корсак // Актуальные проблемы науки XXI века: сб. науч. ст. молодых ученых / Минский ун-т управления. – Минск, 2014. – Вып. 3. – С. 20-24.
3. Квасникова В. В. Конкурентоспособность товаров и организаций. Практикум: учеб. пособие / В.В Квасникова, О.Н. Жучкевич. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА – М, 2013, – 184 с.
4. Лазаренко, А.А. Методы оценки конкурентоспособности / А.А. Лазаренко // Молодой ученый. – 2014, №1. – С. 374-377.
5. Пострелова, А.В. Оценка конкурентоспособности предприятия / А.В. Пострелова, М.С. Маркин // Молодой ученый. – 2013. – №6. – С. 398-402.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Леутина Л.И.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Минск, Республика Беларусь

В условиях кризисных явлений в экономике особое значение приобретает совершенствование планирования, в частности бюджетного, финансового, внутрифирменного планирования, как метода противодействия негативным явлениям.

В ходе исследования системы планирования на предприятиях были выявлены следующие ее недостатки:

- существующая система планирования не совершенствуется;
- при существующей системе планирования невозможно определить запас финансовой прочности, достоверно проводить сценарный анализ;
- система планирования на предприятии не в состоянии эффективно реализовывать стратегическую цель предприятия;
- полностью отсутствуют элементы бюджетного планирования;
- управление затратами не обособлено, оно входит в состав общей стратегии управления предприятием;
- отсутствие механизмов контроля управления затратами;
- слабый учет результатов анализа;
- отсутствие своевременной информации;
- полномочия по принятию некоторых решений работникам не делегированы.

В качестве инструментария управления производственным планированием необходимо внедрить систему управленческого учета, который позволит оперативно анализировать непосредственно текущую деятельность, находить «узкие места», рассматривать специфические проблемы и принимать необходимые управленческие решения.

Управленческий учет – это система обеспечения информацией людей, работающих внутри организации, которые направляют и контролируют ее деятельность. Он служит инструментом, обеспечивающим поддержку процессов принятия решений, планирования, организации деятельности, побуждения и мотивации персонала, контроля и оценки текущего состояния.

Управленческий учет существует в любой организации, различаясь лишь глубиной детализации и способом ведения. Он сосредотачивает внимание не столько на организации в целом, сколько на ее видах деятельности или отдельных сегментах.

В управленческом учете готовится широкий круг разнообразных документов, формы и содержание которых определяются руководством и которые ориентированы на конкретные потреб-

ности менеджмента. Некоторые из них должны показывать, насколько хорошо работают подразделения или организация в целом (путем сравнения фактических и плановых данных). Другие содержат периодически получаемые данные о динамике важнейших показателей, таких как выручка, прибыль, использование производственных мощностей, объемы производства. Аналитические документы могут рассматривать специфические проблемы, стоящие перед организацией.

Так как важной частью работы является планирование, управленческий учет имеет четкую ориентацию на будущее. Данные для внутреннего использования могут быть менее точными и не поддающимися проверке, но должны быть релевантными, т.е. соответствующими характеру решаемой проблемы, значимыми, существенными, важными.

Для внешних отчетов необходима точность, требующая много времени и усилий, но большинство организаций предпочитают иметь приблизительные данные сегодня, чем более точные завтра.

Управленческий учет не является обязательным: предприятие вправе вести его в максимально или минимально возможном объеме. В связи с этой главной проблемой становится не предоставление кому-то требуемых им данных, а определение и подготовка полезной для принятия решений информации.

Преимущества системы управленческого учета следующие:

- она написана конкретно "под предприятие";
- система гибкая и при необходимости легко адаптируется к новым процессам, возникающим в рамках осуществления основной деятельности;
- она включает в себя как натуральные, так и финансовые показатели;
- при должном внедрении системы все принципы учета понятны сотрудникам и руководителям структурных подразделений, а промежуточная отчетность используется ими для более эффективного решения повседневных задач.

В управленческом учете формируется информация для выполнения следующих трех основных целей:

1. Составление периодической внутренней отчетности для управленческих решений. Она обеспечивает информацией решения, принимаемые с определенной степенью регулярности.
2. Составление нерегулярных (специальных) отчетов для управленческих решений. В них

формируется информация для обеспечения решений в ситуациях, которые возникают без определенной периодичности или представляют собой прецедент.

3. Составление внешней отчетности, предназначенной для инвесторов, органов государственной власти и других пользователей. В ряде случаев информация, полученная от внешней отчетности, может использоваться сторонними организациями, например, для принятия решения о риске продажи в кредит, а не за наличный расчет.

Важной задачей любого предприятия является управление затратами и себестоимостью, получение наибольшей прибыли. Один из путей для достижения этой цели - постоянно выявлять и сокращать издержки. Однако на основе бухгалтерской информации работать над сокращением издержек практически невозможно. Ведь бухгалтерский учет регистрирует все затраты по факту.

Работа с затратами – одно из основных направлений управленческого учета. Система управления затратами включает в себя следующие элементы:

- классификацию затрат;
- учетную политику;
- правила признания затрат;
- правила распределения затрат по центрам финансовой ответственности;
- распределение полномочий и ответственности за элементы затрат и по уровням принятия решений.

Для эффективного управления затратами необходимо разработать логичную схему расчета себестоимости, в которой учитываются все детали. Затем требуется создать "дерево" затрат. При этом затраты необходимо классифицировать так, чтобы их было удобно сравнивать между собой. Ведь если на одном уровне такого "дерева" типов затрат слишком много и они различаются между собой в десятки раз по абсолютным величинам, то учет будет неэффективным.

Проанализировав, из каких затрат складывается себестоимость товаров, работ, услуг на каждом уровне, можно определить, как сильно снижаются накладные расходы, как изменяется разница между ними и маржинальной прибылью. В итоге с помощью управленческого учета можно сделать вывод об эффективности производства в целом и по отдельным его направлениям.

Взаимосвязь финансового и управленческого учета выражается в управлении затратами на основе синтезированной информации бухгалтерской, финансовой, производственной информации и данных системы управленческого учета. Это вызвано также и тем, что управление затра-

тами, как правило, не обособлено, часто оно входит в состав общей стратегии управления предприятием. Управление затратами имеет широкую сферу действия. К нему относится, например, достижение цели снижения затрат в последующие периоды времени. Следует отметить, что планирование и контроль затрат тесно связаны с планированием объема продаж и прибыли. Например, желая увеличить объем продаж и, следовательно, прибыль организации, предприятие намеренно идет на увеличение затрат на рекламу и модернизацию продукции.

Приступая к внедрению управленческого учета на предприятии, первым делом необходимо определить, кто возглавит эту работу. Необходимо выполнить три задачи:

- разработать динамический метод расчета себестоимости и в дальнейшем применять его на практике;
- разработать систему классификации ассортимента и подсчета затрат. Эта задача потребует провести инспектирование всех производственных подразделений предприятия, чтобы изучить механизмы образования затрат на каждом участке, оценить их целесообразность и обоснованность;
- создать компьютерную систему учета и анализа данных о деятельности предприятия.

При внедрении системы управленческого учета на предприятии следует решить, как будет организовано ведение управленческого учета. Структурное подразделение, ответственное за ведение управленческого учета, должно удовлетворять нескольким требованиям: информационная обеспеченность, методологическая подготовленность, компетентность.

Осуществив этапы внедрения управленческого учета, предприятие получит систему, готовую к эксплуатации. Однако прежде, чем эта система начнет эффективно работать, необходимо опробовать ее на практике и, если нужно, внести определенные корректировки. И лишь после этого руководство предприятия сможет полноценно пользоваться плодами работы по внедрению системы управленческого учета.

Внедрение управленческого учета позволит оперативно анализировать непосредственно текущую деятельность и принимать необходимые управленческие решения. Аналитические данные управленческого учета позволят рассматривать и специфические проблемы, стоящие перед предприятием и вовремя на них реагировать.

Таким образом, совершенствование производственного планирования, позволят определить резервы повышения эффективности деятельности предприятия.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Козленкова О.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

По своему составу информация, аккумулирующаяся на предприятии, весьма разнообразна. Оценка же финансового состояния базируется на определенной информационной системе. По объему она должна содержать только те данные, которые необходимы для формулирования результатов анализа. Необходимость привлечения в организации капитала (включая иностранный капитал) для дальнейшего развития производства, инфраструктуры и т. п. предопределило необходимость сближения отечественного учета и отчетности с международными стандартами.

Естественно, что этот процесс невозможен без государственного участия. Некоторые шаги в этом направлении уже сделаны. С 1 января 2014 года вступил в силу Закон Республики Беларусь от 12 июля 2013 года № 57-3 «О бухгалтерском учете и отчетности».

Закон вводит основополагающие принципы, прописанные в Международных стандартах финансовой отчетности (МСФО), на которых будет базироваться бухгалтерский учет: принцип начисления, непрерывности, преобладания содержания над формой, соответствия доходов и расходов. Закон раскрывает основные качественные характеристики отчетности, подчеркивая важность профессионального суждения, вводит обязательность составления отчетности по МСФО для общественно значимых компаний.

Таким образом, изменения в бухгалтерском балансе (содержание баланса во многом стало соответствовать МСФО), способствует повышению аналитичности баланса.

Однако, в связи с принятием вышеупомянутого Закона, в котором впервые установлены качественные характеристики бухгалтерской (финансовой) отчетности и требования, предъявляемые к ее составлению и представлению, государству и обществу придется пересмотреть свое отношение к бухгалтерской профессии.

Совершенствование оценки финансового состояния предприятия должно идти по пути разработки новых моделей определения вероятности банкротства предприятия.

Вероятность банкротства предприятия — это одна из оценочных характеристик текущего состояния и обстановки на любом предприятии. Проводя анализ вероятности ежемесячно, руководство предприятия может постоянно поддерживать вероятность на низком уровне.

Регулирование системы банкротства на уровне государства играет важнейшую роль в работе аналитической службы, поскольку

именно оно устанавливает «правила игры» в данной области, определяя критерии несостоятельности, критерии определения признаков фиктивного банкротства и проч.

Однако, прежде чем проблема банкротства выйдет за стены предприятия, став публичной, его инсайдеры и потенциальные инвесторы должны оценить вероятность финансового краха и потери капиталов и на этой основе разработать план дальнейших действий.

И здесь заслуживает внимания зарубежный опыт.

Предсказание банкротства как самостоятельная проблема возникла в передовых капиталистических странах (и в первую очередь, в США) сразу после окончания второй мировой войны. Этому способствовал рост числа банкротств в связи с резким сокращением военных заказов, неравномерность развития фирм, процветание одних и разорение других. Естественно, возникла проблема возможности априорного определения условий, ведущих фирму к банкротству. Вначале этот вопрос решался на эмпирическом, чисто качественном уровне и, естественно, приводил к существенным ошибкам. Первые серьезные попытки разработать эффективную методику прогнозирования банкротства относятся к 60-м гг.

Известны два основных подхода к предсказанию банкротства.

1. Первый базируется на финансовых данных и включает оперирование некоторыми коэффициентами: приобретающим все большую известность Z-коэффициентом Альтмана (США), коэффициентом Таффлера, (Великобритания), и другими, а также умение «читать баланс».

2. Второй исходит из данных по обанкротившимся компаниям и сравнивает их с соответствующими данными исследуемой компании.

Кроме «количественных» подходов к предсказанию банкротства в качестве самостоятельного можно выделить «качественный» подход, основанный на изучении отдельных характеристик, присущих бизнесу, развивающемуся по направлению к банкротству. Если для исследуемого предприятия характерно наличие таких характеристик, можно дать экспертное заключение о неблагоприятных тенденциях развития.

Наиболее популярной в зарубежной практике диагностикой банкротства, который, возможно, следует «взять на вооружение» отечественным разработчикам и аналитикам, является много-

мерный анализ американского экономиста Альтмана, разработанный в конце 70-х гг. XX века.

Им были исследованы 22 аналитических коэффициента, которые могли быть полезны для прогнозирования возможного банкротства. Из этих показателей он отобрал пять наиболее значимых:

- ликвидность (X1);
- совокупная прибыльность (X2);
- прибыльность (X3);
- финансовая структура (X4);
- уровень оборачиваемости капитала (X5).

На основе данных коэффициентов и было построено многофакторное регрессионное уравнение. В общем виде индекс кредитоспособности (Z) имеет вид:

$$Z = 1,2 \times X1 + 1,4 \times X2 + 3,3 \times X3 + 0,6 \times X4 + 1,0 \times X5.$$

Результаты многочисленных расчетов по модели Альтмана показали, что обобщающий показатель Z может принимать значения в пределах [-14, +22], при этом предприятия, для которых $Z > 2,99$ попадают в число финансово устойчивых, предприятия, для которых $Z < 1,81$ являются безусловно несостоятельными, а интервал $[1,81 < Z < 2,99]$ составляет зону неопределенности.

По мнению Альтмана, с помощью пятифакторной модели прогноз банкротства на горизонте

в один год можно установить с точностью до 95%. При этом ошибка первого типа возможна в 6%, а ошибка второго типа — в 3% случаев. Спрогнозировать банкротство на горизонте в два года удастся с точностью до 83%, при этом ошибка первого типа имеет место в 28%, а второго — в 6% случаев.

В экономической литературе можно найти Z-схемы и других авторов, например Лиса, Таффлера, четырехфакторную модель R, разработанную учеными Иркутской государственной экономической академии. Эти схемы — с несколько иными по экономическому содержанию показателями X и корректирующими коэффициентами.

Все это свидетельствует о том, что накопленный за рубежом значительный опыт оценки финансового состояния предприятий, позволяет на законодательном уровне разработать свою, отечественную схему оценки финансового состояния предприятия. При этом следует обратить внимание, что нововведения следует применять очень осторожно. Механическое перенесение зарубежных концепций, слепое копирование опыта того или иного государства практически невозможно и зачастую ведет к негативным экономическим и социальным последствиям. В данном случае необходимо учитывать такие факторы, как тип собственности, форма государственного устройства, степень развития рыночных отношений и др.

УДК 339

ВЛИЯНИЕ ТОРГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИЙ

Мацкевич С.А.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Инновации, которая включает в себя как создание и распространение продукции, процессов и методы, является важной частью создания новых источников роста экономики и благосостояния населения, поскольку инновационная деятельность обеспечивает основу для создания и роста новых отраслей промышленности, предприятий, рабочих мест.

Можно выделить следующие четыре типа инноваций:

- инновации продуктов, товаров или услуг, к которым относятся новые или значительно улучшенными по отношению к соответствующим характеристикам или использованию продуктов, товаров или услуги;
- инновации процессов и производства обеспечивают внедрение новых или значительно улучшенных методов и форм производства или логистики;

- маркетинговая инновации, представляющие собой внедрение новых методов маркетинга с значительными изменениями в дизайне продукта или упаковки, размещения продукта, продвижение продукта или ценообразования;

- организационные инновации.

Все нововведения должны содержать определенную степень новизны, которая может быть новой для предприятия, новой для соответствующего рынка или новой в международном масштабе..

Развитие торговой деятельности является одним из основных условий, которые могут интегрировать инновации в сектор бизнеса и государственного управления. Учитывая все более возрастающую роль инновации в решении широкого спектра экономических и социальных вопросов, открытая политика в области торговли, обеспечивающая свободное проникновение инноваций во все сферы деятельности обще-

ства, является первостепенной задачей для государства и бизнеса.

С одной стороны, торговая деятельность может служить платформой распространения знаний непосредственно или знаний воплощенных в товаре. С другой стороны, торговля влияет на стимулирование предприятий по отношению к инновационной деятельности, в том числе на управленческие навыки, качество труда и капитальные вложения, научные исследования, разработки и информационные технологии, структуру организации и другие виды деятельности за счет конкуренции и экспортных возможностей.

Инновации имеет решающее значение для создания новых источников роста. Торговля является одним из основных условий, которое может укрепить инновации в бизнес сектор и сектор государственного управления. В большей степени торговля влияет на рост инноваций тремя векторами:

- приток технологии за счет импорта, прямых иностранных инвестиций и непосредственно покупки технологий;
- конкуренция;
- экспорт.

Импорт и прямые иностранные инвестиции являются наиболее распространенными каналами внедрения технологий, которые применяются повсеместно.

Импорт предоставляет предприятиям и органам государственного управления доступ к иностранным технологиям, может являться основой для инновационной продукции, инновационных процессов, маркетинговых и организационных инноваций. Прямые иностранные инвестиции служат для предприятий непосредственным каналом интеграции передовых технологий как от зарубежных производственных предприятий так и в обратном направлении. Импорт и прямые иностранные инвестиции могут влиять на субъектов, в той же отрасли, предоставляя новые идеи от новых иностранных продуктов и от бизнес-процессов. Кроме того, процесс торговли и прямые иностранные инвестиции, как правило, сопровождаются и нематериальными потоками знаний. Торговля технологиями, является еще одним важным каналом притока инноваций, хотя и со значительными вариациями в различных секторах.

Импорт и прямые иностранные инвестиции, а также лицензирование технологий способствуют усилению конкурентных преимуществ и конкуренции в целом. Влияние инновации на конкуренцию можно рассматривать с двух резко контрастирующих сторон: с одной, конкурентное давление может работать как мотивация для компаний, чтобы повышать эффективность, а с другой стороны, конкуренция уменьшает доходность, с которой производят инвестиции в инно-

вации. Тем не менее они не обязательно противоречат друг другу, а больше зависят от технологических возможностей предприятий. В целом торговля в высококонкурентной среде способствует повышению производительности экономики, в том числе, путем смещения производств в сторону более эффективных, а также за счет улучшения отдельных процессов на предприятии.

В свою очередь экспорт как фактор развития инноваций базируется на том, что экспортеры имеют более высокую производительность, чем не экспортирующие предприятия. А следовательно, позитивная роль экспорта на инновации и производительности, в том, что экспортирующие предприятия поддерживают привлекательность продукции путем модернизации и инновационных инвестиций, которые направлены на повышение производительности, уменьшение издержек фирм, изучения передового опыта.

Таким образом, обращаясь к развитию торговой политики, три группы вопросов требуют пристального изучения и скорейшего внедрения: поглощающая способность, торговля либерализация и защита прав интеллектуальной собственности.

Преимущества технологии применения инноваций зависят не только от каналов распространения, но и на поглощающей способности, как на уровне предприятия, так и на уровне государства. Возможности в данном направлении не ограничивается уровнем квалификации рабочей силы или потенциала исследований и разработок, а в полном смысле, особенно на государственном уровне, охватывают широкую политическую повестку дня, включая политическую и экономическую стабильность, качество управления и развитие инфраструктуры.

Значительный рост производительности в результате односторонней или двусторонней либерализации торговли достижим в последовательности государственной политики на должном уровне и различных векторах. Также либерализация усиливает воздействие на формирование цен на импортные продукты, дает лучшие возможности для экспорта экспортерам, а также обеспечивает эффект развития инноваций под действием конкуренции.

И, наконец, состояние законодательства и государственного регулирования защиты интеллектуальной собственности улучшает проникновение и распространение технологий через различные каналы, в том числе приток прямых иностранных инвестиций и торговли технологиями. Защита интеллектуальной собственности имеет важное значение не только для инноваций, но и для международного распространения знаний, товаров, технологий. Стоит отметить, что в данном вопросе проблемы обеспечение защиты ин-

теллектуальной собственности остается важным вопросом государственной политики для развития экономики страны.

1. Балдин, К.В. Инвестиции в инновации: учебное пособие / К.В. Балдин, И.И. Передеряев, Р.С. Голов. - 2-е изд. - М.: "Дашков и К", 2010. - 238 с.
2. Боргоякова, Н.В. Экономическая оценка инвестиций: метод. указания / Н.В. Боргоякова. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т; ХТИ - филиал СФУ, 2010. - 20 с.
3. Орлова, Е.Р. Иностранные инвестиции в России: учеб. пособие / Е.Р. Орлова, О.М. Зарянкина. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Омега-Л, 2009. - 203 с.
4. Краснов С.А. Особенности международного движения капитала:

прямые иностранные инвестиции // Труд и соц. отношения. - 2010, № 9. - С. 133-141.

5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь и Национального банка Республики Беларусь от 11 декабря 2013 г. № 1061/17. Об утверждении стратегии привлечения прямых иностранных инвестиций в Республику Беларусь на период до 2015 года // Консультант Плюс: Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. - Минск, 2014. - Дата доступа: 06.03.2014.
6. Kiriyaama, N., "Trade and Innovation: Synthesis Report", OECD Trade Policy Papers, No. 135, OECD Publishing. - 2012- <http://dx.doi.org/10.1787/5k9gwprtbtxn-en>.

УДК 658

АНАЛИЗ РОЛИ СУБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПОВЫШЕНИИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СЕКТОРА ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В УНИВЕРСИТЕТАХ

Дудко Н.А., Войтешонок М.А.

*Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»
Минск, Республика Беларусь*

Научные исследования сегодня уже не рассматриваются как нечто внешнее по отношению к процессу материального производства – сегодня они составляют органически необходимый «нулевой цикл» производства, предшествующий непосредственному созданию практически каждого продукта. Анализ структуры и методологии современных научных исследований показывает, что поскольку конечные результаты решения той или иной научной проблемы в целом зависят от множества промежуточных этапов научной деятельности и структуры связей как внутри отрасли науки, так и за ее пределами, то должна иметь место некоторая общая стратегия управления научно-исследовательским процессом, учитывающая не только специфику научной деятельности, но и процессы воплощения результатов исследований на практике.

Вузовский сектор в нашей стране в настоящее время все чаще сталкивается с тем, что зачастую механизмы управления наукой не приводят к получению «конечного» результата в виде широкомасштабного использования научных достижений в экономике и социальной сфере страны. Хотя сложившиеся система и механизмы управления наукой ставят перед исследованиями разных видов — фундаментальными, поисковыми, прикладными — цель получения конкретных результатов и отслеживают ее достижение. При этом нет единого механизма управления последовательным преобразованием результатов фун-

даментальных исследований в результаты поисковых исследований, результатов.

Одной из основных проблем в научно-инновационной деятельности остается именно отсутствие действенных связей между участниками инновационного процесса, информационная непрозрачность, низкая мотивация к разработке, финансированию и непроработанность механизмов коммерциализации инноваций. Принимая во внимание тот факт, что эффективность инновационных процессов зависит не только от деятельности их участников, но и от того, как эти участники взаимодействуют друг с другом, необходимо обеспечить формирование такой инновационной инфраструктуры, которая сможет активизировать рынок исследований и разработок, определить их ориентацию на потребности региона и создать эффективные связи между участниками инновационного процесса, что при своевременном и достаточном финансировании обеспечит создание конкурентоспособной продукции.

В связи с этим наиболее актуальной задачей на ближайшую перспективу является развитие такой инфраструктуры инновационной деятельности в университетах, которая станет не отдельной системой, предназначенной для решения специфических задач университета в области инновационной деятельности, а будет также подсистемой научно-исследовательского сектора университета, обеспечивая взаимодействие с

другими элементами системы (администрацией, факультетами, кафедрами), а также с выделенными системами на уровне государства (промышленность, академическая наука, органы государственного управления).

Осуществление субъектами инновационной инфраструктуры системного сопровождения деятельности сектора исследований и разработок в университетах, позволит решить следующие важные задачи:

- максимальное вовлечение сектора исследований и разработок в решение прикладных задач в соответствии со сформированными приоритетами деятельности университета;

- создание и развитие механизмов и инструментов, предназначенных для повышения эффективности выполнения исследований и разработок и привлечение к решению задач наиболее эффективных научных групп;

- создание и развитие механизмов и инструментов поддержки исследований, направленных

на решение комплексных научно-технологических задач;

- содействие коммерциализации результатов научно-технической деятельности;

- интеграции созданной инфраструктуры в отечественную и международную систему исследований и разработок.

Примечание:

Статья подготовлена по материалам НИР «Разработка и совершенствование организационно-экономических подходов, механизмов и инструментов, обеспечивающих неразрывную связь образовательного процесса с научными исследованиями, научно-технической и инновационной деятельностью и направленных на развитие конкурентоспособного и эффективно функционирующего сектора вузовской науки» (№ г.р 20150586).

УДК681

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ КОРРЕКЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО КОМПЕНСАЦИИ ПРОБЕЛОВ ДОВУЗОВСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ I–II КУРСОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА

Канашевич Т.Н., Шумская М.О.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Для осуществления качественной подготовки специалистов по большинству инженерных специальностей, значимой является математическая подготовка студентов. Условием успешного овладения математическими знаниями в техническом университете и соответственно в дальнейшем специальными дисциплинами является качественная довузовская математическая подготовка. В течение последних нескольких лет актуальной остаётся проблема снижения качества довузовской подготовки по математике. Под «дovuзовской подготовкой» следует понимать совокупность предметных знаний и умений по программе вступительных испытаний в учреждения высшего образования.

Анализ результатов централизованного тестирования (ЦТ) по математике у поступивших на приборостроительный факультет за несколько последних лет свидетельствует о снижении уровня довузовской подготовки по математике (рисунок 1).

Средние показатели ЦТ по математике у будущих специалистов инженерного профиля на протяжении уже нескольких лет остаются в пределах 40 из 100 возможных баллов, а снижение этих показателей по сравнению с 2009 годом составляет более 27%. В связи с этим возникает

необходимость компенсации недостатков довузовской подготовки на этапе обучения в техническом университете.

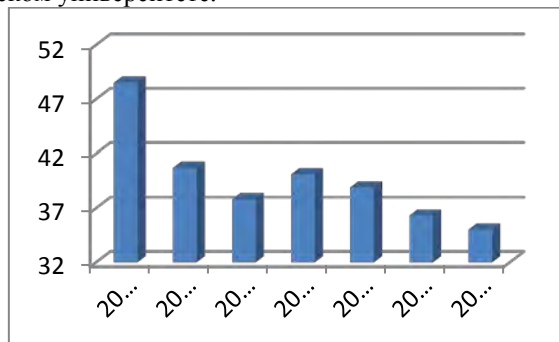


Рисунок 1. – Результаты централизованного тестирования (ЦТ) по математике у поступивших на приборостроительный факультет за несколько последних лет

Сокращение сроков получения высшего образования, а соответственно времени на изучение дисциплин, снижение качества довузовской подготовки приводят к тому, что за первые два года обучения, по причине академической неуспеваемости, в том и числе и по математике, из БНТУ отчисляется около 12 % студентов [1].

Большому риску отчисления подвержены те студенты, которым удалось пройти конкурсный отбор в силу несовершенства системы вступительных испытаний. Они, по причине наличия пробелов в знаниях, объективно неспособны освоить образовательную программу по специальности в установленный срок. В настоящее время актуализируется необходимость раннего предупреждения и предотвращения академической неуспеваемости студентов приборостроительного факультета путём осуществления коррекционной работы по компенсации пробелов довузовской математической подготовки.

Процесс коррекционной работы по компенсации пробелов в довузовской подготовке при изучении математики на приборостроительном факультете носит вспомогательный характер. Данный процесс целесообразно осуществлять параллельно с основным процессом изучения дисциплины. При этом учебную программу и тематический план процесса компенсации недостатков довузовской математической подготовки следует составить таким образом, чтобы обеспечить своевременное качественное изучение содержания учебной дисциплины по программе учреждения высшего образования.

Поскольку выявить пробелы в математической подготовке по документам, предъявляемым при поступлении в учреждение высшего образования, не предоставляется возможным, необходимо осуществить специальную диагностику. Её результаты будут полезны для составления программы и тематического плана коррекционной работы.

Такую диагностику целесообразно организовать, провести и обработать в течение первой учебной недели. Наиболее продуктивным методом в этом случае, с точки зрения демонстрации актуального (существующего на данный момент) уровня подготовки студентов по математике, и информативным, с позиции обработки результатов выполнения, является контрольная работа. Диагностическая контрольная работа должна включать такое количество заданий, которое возможно выполнить за 80 минут и которое позволит выявить существенные недостатки в подготовке к изучению дисциплины на приборостроительном факультете. При проверке данной работы нужно учесть правильность выполнения задания, характер и вид допущенных ошибок, их влияние на изучение математики в I семестре.

Полученные результаты целесообразно дифференцировать по двум уровням:

- ✓ *допустимый*, позволяющий студенту самостоятельно осознать и усвоить предлагаемый для изучения новый материал;
- ✓ *недостаточный*, исключающий понимание и качественное изучение студентом дисциплины

плины без дополнительной помощи преподавателя.

На основании проведённой диагностики студентам, чей уровень подготовки является недостаточным, следует рекомендовать посещение дополнительных занятий.

В ходе анализа результатов выполнения диагностической контрольной работы важно установить, какие из недостаточно сформированных знаний и умений будут необходимы студентам в первую очередь при изучении дисциплины согласно учебной программе по специальности. В соответствии с этой информацией, определить тематику и её последовательность для занятий в рамках процесса компенсации пробелов довузовской математической подготовки. По итогам осуществления коррекционной работы следует снова провести диагностику и установить готовность студента к продолжению изучения дисциплины.

Реализация процесса компенсации недостатков довузовской математической подготовки на приборостроительном факультете предусматривает несколько взаимосвязанных этапов: аналитический, диагностический, коррекционный, контрольный и рефлексивный. Каждый из этих этапов направлен на решение отдельных задач.

Аналитический этап направлен на выявление зависимостей построения учебных программ по математике для III ступени общего среднего образования и в техническом университете, установление взаимосвязи материала, изученного на III ступени общего среднего образования, и математического содержания, подлежащего изучению в техническом университете в течение I семестра.

Диагностический этап предусматривает определение недостатков довузовской математической подготовки. В содержание данного этапа так же входит разработка диагностических материалов для выявления актуального уровня довузовской математической подготовки студентов и собственно осуществление диагностики. Особое значение приобретает выявление «группы риска» среди студентов относительно успеваемости при изучении математики в техническом университете.

Коррекционный этап направлен на компенсацию выявленных недостатков довузовской математической подготовки. На данном этапе осуществляется составление учебной программы, тематического плана, учебно-тематической карты дополнительных занятий, разработка индивидуальных планов-графиков для студентов, входящих в «группу риска»; разрабатываются справочные, дидактические и контрольные материалы для проведения коррекционной ра-

боты по компенсации недостатков довузовской подготовки.

Контрольный этап предполагает выявление качества коррекционной работы, оценку готовности студентов из «группы риска» к изучению математики в техническом университете.

Рефлексивный этап реализуется посредством анализа проведённой коррекционной работы, оценки её качества, определения направлений и возможностей её совершенствования.

Таким образом, раннее выявление и компенсация недостатков довузовской математической подготовки студентов приборостроительного факультета позволит сформировать нужную

основу для изучения ими специальных дисциплин, что благоприятно скажется в перспективе на качестве квалификации специалистов в сфере приборостроения.

1. Канашевич, Т.Н. Прогнозирование академической успеваемости студентов 1–2 курсов как одно из актуальных направлений повышения качества высшего технического образования / Т.Н. Канашевич, М.О. Шумская // Профессиональное образование. – 2016. – № 2. – С. 26-31.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

<i>Шкадаревич А.П., Петрович И.П., Рудиков С.И.</i> ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	5
<i>Гуревич В.Л.</i> РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНОЙ ПРАВОВОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	8
<i>Крень А.П., Рудницкий В.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	11
<i>Жарин А.Л., Петлицкий А.Н., Воробей Р.И., Гусев О.К., Пилипенко В.А., Солодуха В.А., Тявловский А.К.</i> МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОТОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН	12

Секция 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЕЗОПАСНОСТИ

<i>Алексеев В.А., Усольцев В.П., Юран С.И.</i> СИСТЕМА ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СТОЧНЫХ ВОД ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	15
<i>Антошин А.А., Нератова В.В., Есипович Д.Л., Джежора А.А.</i> ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ОБРАБОТАННОЙ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПРОПИТКАМИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЕЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ	17
<i>Баженов В.Г., Глейник К.А.</i> ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗЫ ВНОСИМОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ ВИХРЕТОКОВЫМ ДЕФЕКТОСКОПОМ НА БАЗЕ МИКРОСХЕМЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ	19
<i>Баженов В.Г., Богдан Г.А., Грузин С.В.</i> РЕКОНФИГУРИРУЕМАЯ УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА	21
<i>Баринов А.А., Дмитриев С.М., Хробостов А.Е., Рязанов А.В., Главный В.Г.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ЭЛЕМЕНТАХ ОБОРУДОВАНИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	22
<i>Бобрикович А.А., Гусев О.К.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА АУДИОСИГНАЛОВ В СФЕРЕ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ	24
<i>Бумай Ю.А., Куклицкая А.Г., Бернацкая М.Д., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.</i> МОНИТОРИНГ МЕТОДИК УСКОРЕННОЙ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОДИОДОВ ТЕРМОГРАФАМИ С РАЗНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ	26
<i>Бусько В.Н.</i> ДАТЧИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ	28
<i>Венцурик А.В., Безуглый М.А.</i> УГЛОВАЯ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ФОТОМЕТРИЯ	29
<i>Виленчиц Б.Б., Попов В.К., Шаронов Г.В.</i> ВИХРЕВАЯ ГАЗОВАЯ ЛИНЗА	31
<i>Волосатова Т.М.</i> МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОС РВ	33
<i>Вонсевич К.П., Безуглый М.А.</i> ОСОБЕННОСТИ БИОНИЧЕСКОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ	36

<i>Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И., Костина Г.А., Буйневич М.В.</i> МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	38
<i>Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И., Костина Г.А., Буйневич М.В.</i> ШИРОКОДИАПАЗОННЫЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	40
<i>Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И.</i> МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ.....	42
<i>Гайдук Ю.С., Гуляева Н. М., Савицкий А.А., Соколов А.В.</i> ОДНОЭЛЕКТРОДНЫЕ ГАЗОВЫЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ WO₃-In₂O₃.....	44
<i>Гусев О.К., Жарин А.Л., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Воробей Р.И., Мухуров Н.И.</i> АНАЛИЗ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	46
<i>Джилавадари И.З., Ризноокая Н.Н., Инсарова Н.И.</i> УРАВНЕНИЯ ДИНАМИКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ГРАВИТАЦИОННЫХ МОМЕНТОВ С НЕСИММЕТРИЕЙ.....	48
<i>Дудчик Ю.И., Хилько Г.И., Кучинский П.В., Новик А.Н., Новик М.И., Белый И.В., Крекотень О.В.</i> СКАНЕР ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБРАТНО-РАССЕЯННЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ.....	50
<i>Жарин А.Л., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Воробей Р.И., Гусев О.К., Пилипенко В.А., Петлицкий А.Н.</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС.....	52
<i>Жидкевич В.И., Матъшев С.А.</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ АППАРАТА ИМПУЛЬСНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕРАПИИ СЕТА-Д.....	54
<i>Журавок А.А., Сернов С.П.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИГНАЛЬНЫХ ФОНАРЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	56
<i>Зайцев Е.А., Левицкий А.С., Сидорчук В.Е.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЛЧМ-МОДУЛЯЦИИ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ.....	58
<i>Зайцева Е.Г., Кислюк А.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА РАКУРСОВ ПРИ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИИ ОБЪЕМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.....	60
<i>Здоровцев С.В., Кушнеров Д.П., Паршков А.В., Сушко В. А.</i> АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ.....	62
<i>Ивлев Ю.П., Черневич О.В., Луцик А.П., Штых А.А.</i> СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ.....	64
<i>Исаев А.В., Кривицкий П.Г., Голубев А.А., Безлюдов А.А.</i> ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ».....	66
<i>Исаев А.В., Кривицкий П.Г., Голубев А.А., Безлюдов А.А.</i> 32-РАЗРЯДНЫЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕР STM32 И ARDUINO IDE.....	68
<i>Катковский Л.В., Станчик В.В., Крот Ю.А., Беляев Ю.В., Доморацкий А.В., Силук О.О., Литвинович Г.С.</i> АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «КАЛИБРОВКА» ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	70
<i>Кицак А.И., Луцик А.П., Есипович Д.Л., Волков С.А., Конон В.Н., Кавальчук И.В., Протасевич О.А., Третьяк И.Б.</i> КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ЛАЗЕРНОГО ДЫМОВОГО-ГАЗОВОГО СО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ.....	72

<i>Козлова Т.А., Шелухин К.А., Хатько В.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА.....	74
<i>Кожевников Д.А., Нупрейчик А.О., Фёдорцев Р.В., Старосотников Н.О.</i> МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА.....	76
<i>Кольчевская М.Н., Кольчевская И.Н.</i> ПРОГРАММНО-АПАРАТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС TIME SATCNER.....	78
<i>Кольчевский Н.Н., Петров П.В., Хилько Г.И., Дудчик Ю.И.</i> МИКРОСКОПИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕЛОМЛЯЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛИНЗ.....	80
<i>Кривицкий П.Г., Матюшевский В.М., Оксенчук И.Д.</i> ЦИФРОВОЙ МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ГИРОСКОП.....	82
<i>Ксенофонтов М.А., Поляков А.В.</i> ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТОВОЛОКОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	84
<i>Кухаренко Н.А., Фирман М.Г.</i> НОВЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, СОЗДАНИЕ ОАО «МНИПИ».....	87
<i>Куц Ю.В., Лысенко Ю.Ю., Дугин А.Л.</i> АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ.....	88
<i>Лисенков Б.Н., Грицев Н.В.</i> МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ КОММУТАТОРОМ....	90
<i>Малютин Д.М.</i> ИНФОРМАЦИОННО ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОРСКИХ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С САМОНАСТРОЙКОЙ ПАРАМЕТРОВ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА.....	92
<i>Медведев Н.В., Чичварин Н.В.</i> МЕТОД И СРЕДСТВО ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ И КВАНТОВЫХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ.....	94
<i>Микитевич В.А., Пантелеев К.В., Жарин А.Л.</i> МАЛОГАБАРИТНЫЙ АНАЛОГОВЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ.....	97
<i>Мисюкевич Н.С.</i> ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ.....	99
<i>Мисюкевич Н.С., Мисюченко И.Р.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛЛОННЫХ УСТАНОВОК ГАЗОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	101
<i>Невдах В.В., Антошин А.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА В ПОМЕЩЕНИИ С РАЗНЫМИ УСЛОВИЯМИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	103
<i>Орехов К.А., Кулешов Н.В.</i> ЛАЗЕРНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА ND:YAG С ПОПЕРЕЧНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ И ПАССИВНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ.....	105
<i>Пантелеев К.В., Свистун А.И., Жарин А.Л.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА ОТ ПОТЕНЦИАЛА КОМПЕНСАЦИИ В МЕТОДЕ КЕЛЬВИНА-ЗИСМАНА.....	106
<i>Пантелеев К.В., Тявловский А.К., Жарин А.Л.</i> УПРАВЛЕНИЕ РАССТОЯНИЕМ МЕЖДУ ОБКЛАДКАМИ ДИНАМИЧЕСКОГО КОНДЕНСАТОРА В МЕТОДЕ КЕЛЬВИНА-ЗИСМАНА.....	108
<i>Пантелеев К.В., Дубаневич А.В., Жарин А.Л., Кравцевич А.В., Шашура Л.И.</i> ИЗМЕРЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЦИФРОВЫМ ЗОНДОМ КЕЛЬВИНА.....	110
<i>Плиговка А.Н., Луферов А.Н., Горох Г.Г.</i> ТЕРМОРЕЗИСТИВНАЯ СИСТЕМА СВЧ ВАТТМЕТРА НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ НИОБИЕВЫХ НАНОСТОЛБИКОВ.....	112

<i>Попечиц В.И.</i> СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ЦВЕТОНКОНТРАСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЗУАЛИЗАТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ КИСЛОТНЫЕ ДОБАВКИ.....	115
<i>Распопов В.Я.</i> ИНДИКАТОРНЫЙ ГИРОСТАБИЛИЗАТОР НА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМ ГИРОСКОПЕ.....	117
<i>Савкова Т.Н., Кравченко А.И., Колесник Ю.Н.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ.....	118
<i>Сапегин А.Н., Норенко М.В.</i> БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ ИНЕРЦИАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ.....	120
<i>Сернов С.П., Балохонов Д.В.</i> ДЕТАЛИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ АДАПТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СВЕТОДИОДОВ.....	122
<i>Скурту И.Т., Ерошенко А.С., Брановицкий И.И.</i> КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. ЧАСТЬ 1. МЕТОДИКА.....	124
<i>Скурту И.Т., Ерошенко А.С., Брановицкий И.И.</i> КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ. ЧАСТЬ 2. ПРИБОР.....	126
<i>Смирнов А.Г., Рыжневич А.А., Ясинский В.М., Лепченков К.В.</i> УСТАНОВКА ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И МЕДИЦИНЫ.....	127
<i>Соломатина О.А., Павловский А.М., Лакоза С.Л.</i> БЕСПРОВОДНОЙ ДАТЧИК НА БАЗЕ МОДУЛЯ ESP8266.....	129
<i>Сопряков В.И., Полхутенко С.А.</i> СПЕКТРОСКОПИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДИАГНОСТИКЕ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	131
<i>Старосотников Н.О., Фёдорцев Р.В.</i> МЕТОД СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУМОВ ФОНОВОГО СИГНАЛА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КООРДИНАТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ОЭП.....	133
<i>Стасилович В.А., Фёдорцев Р.В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕСКОПА.....	135
<i>Суслов Е.Ф.</i> СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ИМПЕДАНСНОГО КОНТРОЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	137
<i>Ташматов Х.К., Музафаров А.Р.</i> ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА ТЕПЛООВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УРОВНЯ ВОДЫ.....	139
<i>Усольцев А.В.</i> РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОВЫШЕНИЯ СПОРТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ.....	141
<i>Усольцева А.В.</i> ВИРТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ БИОМАТЕРИАЛОВ.....	143
<i>Чернышев А.В.</i> ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ДВУХСЛОЙНОГО ОБРАЗЦА НА ФАЗУ ВНОСИМОЙ ЭДС НАКЛАДНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.....	145
<i>Шведов А.П., Лихошерст В.В.</i> ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПО КРЕНУ ОБЪЕКТОВ.....	147

**Секция 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ**

<i>Ананьин В.Н., Мирончик А.М., Мохнач М.В.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	150
--	-----

<i>Бем О.Т., Еременко В.С., Суслов Е.Ф.</i> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИНОМИАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ.....	152
<i>Будай А.Г., Гринчук А.П., Громько А.В.</i> АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫХ СИСТЕМ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	154
<i>Бумай Ю.А., Васьков О.С., Кононенко В.К., Нисс В.С., Керенцев А.Ф., Петлицкий А.Н., Рубцевич И.И.</i> МЕТОДИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОФИЛЕЙ РАСТЕКАНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ И СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ.....	155
<i>Виленчик Б.Б., Попов В.К.</i> ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ГАЗОВОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ...	157
<i>Волынец А.С., Галыго А.В.</i> НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НЭ РБ 26-15.....	159
<i>Врублевская Е.А., Спесивцева Ю.Б.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СМК СТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.....	161
<i>Габец В.Л., Зубеня А.А.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ.....	163
<i>Громько А.В., Романов А.Ф., Ходасевич А.И., Чернобай И.А.</i> МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОРАДАРНОАКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	165
<i>Гулис И.М., Купреев А.Г., Демидов И.Д.</i> РАЗРАБОТКА ПРОЦЕДУРЫ СПЕКТРАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ МОНОХРОМАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВЫЧИТАНИЕМ ДИСПЕРСИИ.....	168
<i>Демеш М.П., Гусакова Н.В., Кисель В.Э., Ясюкевич А.С., Кулешов Н.В.</i> Nd ³⁺ :Ca ₁₀ Li(VO ₄) ₇ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ.....	170
<i>Джежора А.А., Рубаник В.В.</i> КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	172
<i>Джежора А.А., Чернов Е.А., Свистунов Б.Л., Царенко Ю.В.</i> ДАТЧИК КОНТРОЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	174
<i>Дмитерчук Е.А., Соколовский С.С.</i> НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ.....	175
<i>Иванова Н.Н.</i> ВОПРОСЫ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ВОСПРИЯТИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЛАСТИ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ.....	178
<i>Иванова Н.Н., Чувашева Е.В., Якушик Е.А.</i> ВОПРОСЫ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА.....	180
<i>Катковский Л.В., Мартинов А.О., Крот Ю.А., Бручковская С. И., Ломако А.А., Силюк О.О., Станчик В.В., Хомицевич А.Д.</i> СОЛНЕЧНЫЙ СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТР ССП-600.....	182
<i>Крышнев М.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.....	184
<i>Матюш И.И., Савкова Е.Н., Гайдаш Е.А.</i> ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ СЛИЧИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ЦЕЛЮ ОЦЕНКИ КВАЛИФИКАЦИИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ.....	186
<i>Миранович-Качур С.А., Пастухова С.А.</i> ПРОВЕРКА КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРОЧНЫХ И КАЛИБРОВОЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	188
<i>Павленко Д.В., Сидоренко М.В., Лятуринский В.А.</i> ТЕХНИЧЕСКОЕ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТЯХ ВЫСОКОГРАДИЕНТНЫХ ПОЛЕЙ.....	190

<i>Павлов К.А., Охрименко Е.О.</i> ОЦЕНКА КОМПЕТЕНТНОСТИ ВНУТРЕННИХ АУДИТОРОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА.....	192
<i>Павлов К.А., Хемракулыев Д.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ ОСНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ТУРКМЕНИСТАНА В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ.....	194
<i>Петрусенко П.А., Шумская А.П.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛЯННЫХ ТРУБОК.....	196
<i>Письменский П.И., Сальников Ю.А., Новосельская О.А.</i> МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ БУМАЖНО-КАРТОННОЙ ПРОДУКЦИИ.....	198
<i>Письменский П.И., Новосельская О.А., Сальников Ю.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ШКАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ В ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ПЕЧАТНЫХ ВИДОВ БУМАГИ.....	200
<i>Проценко С.В., Воропай Е.С., Белкин В.Г.</i> НЕПРЕРЫВНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ И ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ.....	202
<i>Савкова Е.Н., Астанчик О.С., Жиженко Е.О.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРА «ПЕРСОНАЛ» ПРИ ВЕРИФИКАЦИИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ.....	203
<i>Савкова Е.Н., Карпиевич Е.Н.</i> СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ ЭНТРОПИИ.....	205
<i>Савкова Е.Н., Сернов С.П., Клевитская Е.Д.</i> ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВЕТОВОЗВРАЩЕНИЯ.....	207
<i>Савкова Е.Н., Сутковский М., Жиженко Е.О.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОСТРАНСТВА КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВЕННЫХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ.....	209
<i>Сентемова Д. В., Казакова Е.А.</i> КАЛИБРОВКА ВЫСОКОТОЧНЫХ КАЛИБРАТОРОВ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ НАПРЯЖЕНИЯ – ВОЛЬТА № НЭ РБ 10-02.....	211
<i>Серенков П.С., Лесин А.С.</i> СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ НА ОСНОВЕ КЛАССИФИКАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА.....	214
<i>Серенков П.С., Мовламов В.Р.</i> НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	216
<i>Серенков П.С., Гуревич В.Л., Навоев Я.Э.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ РОБАСТНОСТИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ МЕТОДИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА.....	218
<i>Серенков П.С., Иванова Н.Н.</i> АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ ГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КАЧЕСТВА ОБЪЕКТОВ.....	220
<i>Соколовский С.С., Азарёнок Ю.С.</i> СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМИЗИРОВАННЫХ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА КВАЛИМЕТРИИ.....	222
<i>Соколовский С.С., Малиновская С.Л.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ СТБ ISO/TS 16949.....	224
<i>Соломахо В.Л., Цитович Б.В.</i> ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА БАЗЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ.....	226
<i>Спесивцева Ю.Б., Матюш И.И.</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНТРОЛЬНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ.....	227

<i>Хорлоогийн А.С., Астапчик О.С., Дубицкий Д.В.</i> ТОЧНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	229
<i>Янченко В.С., Ярмолович М.А.</i> НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	231
Секция 3. ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ	
<i>Gorbachenya K.N., Kisel V.E., Yasukevich A.S., Tolstik N., Karhu E., Furtula V., Sorokin E., Maltsev V.V., Leonyuk N.I., Gibson U., Sorokina I.T., Kuleshov N.V.</i> DIODE-PUMPED Er,Yb:GdAB LASER PASSIVELY Q-SWITCHED BY MBE-GROWN Cr:ZnS/Cr,Co:ZnS THIN FILMS	234
<i>Kifle E., Mateos X., Loiko P.A., Yumashev K.V., Petrov V., Griebner U., Aguiló M., Díaz F.</i> GRAPHENE Q-SWITCHED WAVEGUIDE LASER AT 1.83 μm	236
<i>Ostasevicius V., Tretyakou-Savich Y., Minchenya V.T.</i> INDIVIDUALIZATION OF HUMAN BLOOD CIRCULATION	238
<i>Rudnikov A., Kisel V., Yasukevich A., Hovhannesian K., Petrosyan A., Kuleshov N.</i> GAIN NARROWING FREE OPERATION OF CHIRPED PULSE REGENERATIVE AMPLIFIER BASED ON YB:LuAlO₃ CRYSTAL	240
<i>Wolkenstein S.S., Kerentsev A.F., Rubtsevitch I.I., Khmyl A.A.</i> LASER PHOTOTHERMOACOUSTIC MICROSCOPY THRESHOLD OF SENSITIVITY TESTING	242
<i>Zimmermann K., Lysenko V., Mintchenia W.</i> PROCEDURE FOR DESIGNING OPTIMIZED ACTUATORS OF THE ROBOTS USING BIOLOGICAL OBJECTS	244
<i>Адашкевич С.В., Бакаев А.Г., Жигулин Д.В., Маркевич М.И., Стельмах В.Ф., Чапланов А.М., Щербакова Е.Н.</i> СВОЙСТВА КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА	246
<i>Алешкевич Н.Н. Будай А.Г., Кныш В.П., Малый С.В., Наумович Н.М. Юбко А.П.</i> ДВУХСЛОЙНЫЙ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ЭКРАН СВЧ ДИАПАЗОНА	248
<i>Ануфрик С.С., Володенков А.П., Зноско К.Ф.</i> САМОСОГЛАСОВАННАЯ МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАХ РТУТИ	250
<i>Артамонов А.М., Хохлов Е.А.</i> АНАЛИЗ И ПОДГОТОВКА К ПРОИЗВОДСТВУ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ФИЛЬТРОВ	252
<i>Артемов В.М., Наумов А.О., Кохан Л.Л.</i> СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО РЕКУРРЕНТНОГО ФИЛЬТРА ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ	254
<i>Артюхина Н.К., Марчик В.А., Самусенко А.А.</i> ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗЕРКАЛ	256
<i>Артюхина Н.К., Лецинская А.В.</i> ОПТИЧЕСКИЕ КЛИНОВЫЕ ИМИТАТОРЫ ДВИЖЕНИЯ ЦЕЛИ	257
<i>Артюхина Н.К., Першин Д.И., Аль-Махмуд Шуаиб Хассан</i> ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОЛЛИМАТОРНОГО ПРИЦЕЛА	259
<i>Артюхина Н.К., Самбрано Л.Ф., Власовец Н.С.</i> ДВУХЗЕРКАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЗАФОКАЛЬНОГО ТИПА	260
<i>Баев А.Р., Левкович Н.В., Коновалов Г.Е., Асадчая М.В., Стойчева И.В.</i> ВОЗБУЖДЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНЫ ПО ОБЪЕКТУ С НЕОДНОРОДНЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ	262
<i>Баев А.Р., Майоров А.Л., Митьковец А.И., Асадчая М.В.</i> МАГНИТНАЯ ЖИДКОСТЬ В КАЧЕСТВЕ ОПТОАКУСТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА В ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКЕ	264

<i>Блинкова Н.Г., Князев М.А.</i> ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ В НЕМОДИФИЦИРОВАННОЙ МОДЕЛИ КАНА–ХИЛЛИАРДА.....	266
<i>Божко А.И., Бордусов С.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАТОДА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТИПА НА УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ЭФФЕКТОМ ПОЛОГО КАТОДА.....	268
<i>Бокуть Л.В., Деев Н.А.</i> СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛА С МЕЖСИМВОЛЬНОЙ ППРЧ.....	270
<i>Борздов А.В., Борздов В.М., Кучинский П.В., Сперанский Д.С.</i> СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ТОКОВЫХ ФЛУКТУАЦИЙ В СУБМИКРОННОМ КРЕМНИЕВОМ ДИОДЕ.....	272
<i>Бумай Ю.А., Бобученко Д.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.</i> ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОМ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАЛОМОЩНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДОВ.....	274
<i>Бумай Ю.А., Бринкевич Д.И., Харченко А.А., Лукашевич М.Г., Просолович В.С., Оджаяев В.Б., Янковский Ю.Н.</i> ТРАНСФОРМАЦИЯ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ ПЛЕНОК ФОТОРЕЗИСТА НА КРЕМНИИ ПРИ γ-ОБЛУЧЕНИИ И ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ.....	276
<i>Бумай Ю.А., Васьков О.С., Кононенко В.К., Нисс В.С., Керенцев А.Ф., Петлицкий А.Н., Соловьев Я.А.</i> СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСАДКИ КРИСТАЛЛОВ НА ПРИПОЙ И ЭВТЕКТИКУ В МОЩНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ КП7209 В КОРПУСЕ ТО-254 МЕТОДОМ ТЕПЛОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ.....	278
<i>Буслюк В.В., Оджаяев В.Б., Панфиленко А.К., Петлицкий А.Н., Просолович В.С., Шведов С.В., Филиппеня В.А., Черный В.В., Явид В.Ю., Янковский Ю.Н., Лановский Р.А.</i> АНАЛИЗ ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИОДОВ-ГЕНЕРАТОРОВ ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМА.....	280
<i>Васильев А.С., Ланин В.Л.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ В ЗАЗОРЕ МАГНИТОПРОВОДА.....	282
<i>Вилейшикова Е.В., Лойко П.А., Хайдуков Н.М., Юмашев К.В.</i> СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОГО КРИСТАЛЛА Er:LiKYF_5.....	284
<i>Вилейшикова Е.В., Лойко П.А., Юмашев К.В., Кулешов Н.В., Павлюк А.А.</i> ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ РОМБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ $\text{Eu:Li}_2\text{Mg}_2(\text{MoO}_4)_3$.....	286
<i>Вилейшикова Е.В., Хорт А.А., Подболотов К.Б., Лойко П.А., Шиманский В.И., Юмашев К.В.</i> СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ДЛЯ КРАСНЫХ ЛЮМИНОФОРОВ.....	288
<i>Волкешитейн С. С., Керенцев А.Ф., Рубцевич И.И., Хмыль А.А.</i> НОВАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОАКУСТИЧЕСКОЙ ИНТРОСПЕКЦИИ.....	290
<i>Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И.</i> ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР С ГЛУБОКИМИ МНОГОЗАРЯДНЫМИ ПРИМЕСЯМИ.....	292
<i>Гайдук Ю.С., Реутская О.Г., Савицкий А.А., Таратын И.А.</i> ДАТЧИКИ ДИОКСИДА АЗОТА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ $\text{WO}_3\text{-In}_2\text{O}_3$.....	294
<i>Гацкевич Е.И., Ивлев Г.Д., Людчик О.Р.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПЛЕНКАХ TiAlN ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ.....	296
<i>Горох Г.Г., Захлебаева А.И., Ткач А.Н., Реутская О.Г., Хатько В.В., Таратын И.А.</i> ГАЗОВЫЙ СЕНСОР С НИЗКИМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МЕМБРАНЕ.....	298
<i>Гундина М.А.</i> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ТРЕЩИНЫ ОБЩЕГО ВИДА.....	300

<i>Гусакова Н.В., Демеш М.П., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Курильчик С.В., Ивашко А.М.</i> НЕПРЕРЫВНЫЙ ТУЛИЕВЫЙ МИКРОЧИП ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ, ИЗЛУЧАЮЩИЙ В ОБЛАСТИ 1,95 МКМ.....	302
<i>Гусакова О.В., Шепелевич В.Г., Гусакова С.В.</i> МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ Bi – Sn – Ag.....	304
<i>Гущик Р.Ю., Рыжковская Д.С., Хатько В.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИНКЛИНОМЕТРА ЕМКОСТНОГО ТИПА.....	306
<i>Дернович О.П., Курильчик С.В., Кисель В.Э., Кулешов Н.В., Гурецкий С.А., Колесова И.М.</i> ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СЛОЯ Er:KGd_xYb_yY_(1-x-y)(WO₄)₂ ДЛЯ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ЛАЗЕРОВ.....	308
<i>Дудяк А.И., Хвасько В.М.</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ СОСТАВНЫХ ЦИЛИНДРОВ В ЭЛЕМЕНТАХ АППАРАТОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ.....	310
<i>Жарин А.Л., Гусев О.К., Тявловский А.К., Свистун А.И., Качан Р.Ф., Дубаневич А.В., Колтунович Т.</i> О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ.....	312
<i>Жевняк О.Г.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАТВОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ПЕРЕНОС ЭЛЕКТРОНОВ В КОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ.....	314
<i>Иванов В.А., Черный В.В., Гременок В.Ф.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК PbSnS.....	316
<i>Киселев М.Г., Богдан П.С.</i> К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНОГО ДИСКА НЕПОСРЕДСТВЕННО ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИМ ОПЕРАЦИИ РАСПИЛИВАНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ.....	318
<i>Киселев М.Г., Богдан П.С.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНОГО ДИСКА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЕГО РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.....	320
<i>Киселев М.Г., Дроздов А.В., Криничев В.С., Богдан П.С.</i> ПОВЫШЕНИЕ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОВОЛОЧНОЙ ВИТОЙ ПИЛЫ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ.....	322
<i>Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Миранович А.С., Багдюн А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ЕЕ УДЕЛЬНУЮ ЕМКОСТЬ ПЛАЗМОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА.....	324
<i>Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г., Миранович А.С.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО ИМПЛАНТАТА С ЧАСТИЧНЫМ РЕГУЛЯРНЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ ПРИ ЕЕ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКЕ.....	326
<i>Киселев М.Г., Дроздов А.В., Монич С.Г.</i> ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА ЕЕ СМАЧИВАЕМОСТЬ ПЛАЗМОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА.....	328
<i>Климович И.М., Бурмаков А.П., Зайков В.А., Кулешов В.Н., Романов И.А.</i> УПРАВЛЯЕМОЕ РЕАКТИВНОЕ МАГНЕТРОННОЕ НАНЕСЕНИЕ TiAlN ПОКРЫТИЙ.....	330
<i>Кожевников Д.А., Фёдорцев Р.В., Старосотников Н.О.</i> МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ.....	332

<i>Крупенкова Т.Г., Липницкий В.А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВВЕДЕНИЯ БАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ХТР.....	334
<i>Ксенофонтов М.А., Выдумчик С.В., Гавриленко О.О., Павлюкевич Т.Г., Чупрынский С.А.</i> МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ, ГЕРМЕТИЗАЦИИ И СКЛЕИВАНИЯ.....	336
<i>Кузнецова Т.А., Зубарь Т.И., Чижевский С.А., Мясоедов Е.Н., Латицкая В.А., Мицак А., Лабуда В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИЕЙ И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЕМ ТОНКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ.....	338
<i>Курило В.С., Рудницкий А.С.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО МЕТАМАТЕРИАЛА С ВАРАКТОРНЫМИ ДИОДАМИ.....	340
<i>Луговой В.В., Луговой В.П.</i> КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ГЛОБУСНОГО СТОЛА 5-КООРДИНАТНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ЧПУ.....	342
<i>Манего С.А., Терентьев А.И.</i> ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СВЕТОДИОДОВ С МАЛЫМ ТЕЛОМ СВЕЧЕНИЯ.....	344
<i>Мельгуй М.А., Бурак В.А., Осипов А.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИБОРОВ ИМА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТЕЙНОГО ЧУГУНА.....	346
<i>Минченя В.Т., Савченко А.Л., Минченя Н.Т.</i> СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ПРОВОЛОКЕ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА.....	348
<i>Муравьев А.В.</i> ТЕРМОАБЕРРАЦИИ В ИНФРАКРАСНЫХ ДИОПТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВАХ И ИХ КОМПЕНСАЦИЯ.....	350
<i>Новицкий А.А., Шахлевич Г.М., Романов А.В.</i> ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ИЗДЕЛИЙ.....	352
<i>Павленко Д.В.</i> РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ.....	354
<i>Павлюченко В.В., Дорошевич Е.С.</i> МЕТОДЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ КОНТРОЛЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ ИЗ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	356
<i>Павлюченко В.В., Сычик В.А., Дорошевич Е.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ОБЪЕКТОВ.....	358
<i>Плескачевский Ю.М., Горох Г.Г., Казаченко В.П., Плиговка А. Н., Шилько С.В., Таратын И.А., Хатько В.В.</i> ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ МЭМС НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С МАТРИЦАМИ ИЗ ПОРИСТЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАНОСТРУКТУР.....	360
<i>Развин Ю.В., Потапич В.А.</i> ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООПТИКИ МИКРООБЪЕМОВ НЕМАТИЧЕСКИХ ЖК В ПРОСТРАНСТВЕННО ИНТЕГРИРОВАННЫХ МОДУЛИРУЮЩИХ СТРУКТУРАХ.....	362
<i>Романчук В.М., Кондратьева Н.А.</i> АППРОКСИМАЦИЯ СИНГУЛЯРНЫМИ ВЕЙВЛЕТАМИ.....	364
<i>Рыжевич А.А., Балыкин И.В., Мащенко А.Г., Лепарский В.Е., Хило Н.А.</i> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА....	366
<i>Савич В.В.</i> НОВЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ – НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ. ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ.....	368

<i>Савченко А.Л., Минченя Н.Т., Минченя В.Т., Берхин Е.В.</i> ИЗМЕНЕНИЕ УГЛА КОНТАКТА ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЕГО КИНЕМАТИКОЙ ПОСРЕДСТВОМ ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ.....	371
<i>Сандомирский С.Г.</i> АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛЕЙ НА ЧАСТНЫХ ПЕТЛЯХ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА ПРИ РАЗНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ.....	373
<i>Свибович И.В., Курильчик С.В., Горбаченя К.Н., Кисель В.Э., Напрасников Д.А., Мальцев В.В., Леонюк Н.И., Кулешов Н.В.</i> СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ-АЛЮМИНИЕВЫХ БОРАТОВ С ИОНАМИ Yb^{3+} И Er^{3+}	375
<i>Свирина Л.П.</i> ФАЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЬЦЕВОГО ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА В РЕЖИМЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ.....	377
<i>Скопцов Н.А., Глазунов И.В., Лойко П.А., Маляревич А.М., Юмашев К.В., Дымищ О.С., Жилин А.А., Алексеева И.П., Шемчук Д.В., Виткин В.В., Харитонов А.А.</i> СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОКРИСТАЛЛЫ ОКСИДА ГАЛЛИЯ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ КОБАЛЬТА.....	379
<i>Степаненко Д.А.</i> КОНЦЕНТРАТОРЫ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ОСНОВЕ НЕОДНОРОДНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	381
<i>Стрелюхин А.В., Осипов А.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМАГНИЧИВАНИЯ ТОНКОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ.....	383
<i>Счастный А.С., Осипов А.А., Бурак В.А.</i> ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ МЕТОДОМ.....	385
<i>Телеш Е.В., Ващуров А.Ю., Святохо С.В.</i> ФОРМИРОВАНИЕ МЕЖУРОВНЕВОГО ДИЭЛЕКТРИКА ПРЯМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ИЗ ИОННЫХ ПУЧКОВ.....	387
<i>Телеш Е.В., Гуревич О.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ИОННО-ЛУЧЕВОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СТЕХИОМЕТРИЮ ПЛЕНОК ДИОКСИДА КРЕМНИЯ.....	389
<i>Тявловский А.К., Жарин А.Л., Гусев О.К., Воробей Р.И., Тявловский К.Л., Пантелеев К.В., Микитевич В.А., Пилипенко В.А., Петлицкий А.Н.</i> АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ КАРТИРОВАНИИ ДЕФЕКТОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН.....	391
<i>Тявловский А.К., Жарин А.Л., Гусев О.К., Тявловский К.Л., Воробей Р.И., Дубаневич А.В., Жуковский П.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДА С НЕОДНОРОДНО ЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИКА.....	393
<i>Филонова М.И., Кузнечик В.О., Семенкович В.П., Тищенко А.В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУСТОРОННЕГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДВОЯКОВЫПУКЛЫХ ЛИНЗ.....	395
<i>Хмыль А.А., Кушнер Л.К., Кузьмар И.И., Василец В.К., Дежжунов Н.В.</i> ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА СВОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ.....	397
<i>Шепелевич В.Г.</i> ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА $Bi - 38 \text{ мас. \% Sn}$ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЛЕГИРОВАНИЕМ СВИНЦОМ.....	399
<i>Щетникович К.Г., Бодяк Д.А.</i> КИНЕМАТИКА ШАРИКА ПРИ КОНТРОЛЕ ЕГО ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	401

**Секция 4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ И ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ
ДЛЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

<i>Хорлоогийн А.С., Серенков П.С.</i> ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФИЗИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....	404
<i>Купреева Л.В., Яковчик И.Ю.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА В РАМКАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО «АКТАМИР».....	406
<i>Бондарев В.В.</i> ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	408
<i>Кондратьева Н.А., Романчук В.М.</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КУРСОВЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНФОРМАТИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПСФ.....	410
<i>Прихач Н.К., Прусова И.В.</i> СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ КУРСОВ «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА» И «ИНФОРМАТИКА» В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ.....	412
<i>Ленкевич О.А.</i> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ КАК ЧАСТЬ ОБЩЕЙ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ.....	414
<i>Ляхевич А.Г., Мойсейчик Д.А.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН.....	416
<i>Мелюшин П.В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SCIENCE_SCRUM.....	418
<i>Серченя Т.И.</i> ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ КОНКУРЕНТНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....	420
<i>Аносов В.М., Бондаронок А.А.</i> ПРОБЛЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ И РОСТА ПРИБЫЛИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА.....	422
<i>Макарская М.М., Венгурова Е.В.</i> ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРЯМЫХ ИНОСТРАННЫХ ИНВЕСТИЦИЙ КАК ГЕНЕРАТОРА ЭКСТЕРНАЛИЙ В ЭКОНОМИКЕ.....	424
<i>Гурко А.И.</i> ДИАГНОСТИРОВАНИЕ В ЦИКЛЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ.....	426
<i>Людчик О.Р., Зайков В.А., Михей В.Н., Вишневская Е.В.</i> ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СТРУКТУРЫ В СПЕЦПРАКТИКУМЕ ПО ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ.....	428
<i>Бондарев В.В.</i> СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ УЧЕБНО-МАТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТА ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	430
<i>Акунец В.П.</i> ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ.....	431
<i>Аносов В.М., Уляй О.В.</i> ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ФИНАНСОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА.....	433
<i>Витушко Е.А.</i> МАРКЕТИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – ОСНОВА УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ.....	435
<i>Лукьяненко А.Ю.</i> ПОТЕНЦИАЛ ТОПЛИВНЫХ ЯЧЕЕК В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ... ..	437
<i>Пиццало Е.О.</i> ИНЖИНИРИНГОВЫЕ ЦЕНТРЫ – ЧАСТЬ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО СЕКТОРА БЕЛАРУСИ.....	438
<i>Третьякова Е.С., Третьяков-Савич Е.С.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМЫ «MARKETING MIX» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	440

<i>Филипп К.Д., Соломко М.В.</i> ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ.....	441
<i>Филипп А.Р., Жолнеревич И.И.</i> УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕРКИ КРИТЕРИЯ НОРМАЛЬНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.....	442
<i>Васичева В.А.</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТРАТЕГИЧЕСКИХ АЛЬЯНСОВ.....	444
<i>Козлова Е.А.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УНИВЕРСИТЕТА ЧЕРЕЗ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ.....	446
<i>Гурина Е.В.</i> СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТЬЮ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ.....	448
<i>Гурина Е.В., Пронин П.И.</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ПРОДУКЦИИ И УСЛУГ ПРЕДПРИЯТИЯ НА РЫНОК.....	450
<i>Минько М.В.</i> ОСОБЕННОСТИ И УСЛОВИЯ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ.....	452
<i>Павлов К.А., Бояровская К.С.</i> ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ИЗМЕРЕНИЙ КАК ЧАСТИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ.....	454
<i>Ворошина Е.В.</i> РОЛЬ ИННОВАЦИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	456
<i>Подобед Н.А.</i> ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	458
<i>Леутина Л.И.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ.....	460
<i>Козленкова О.В.</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОЦЕНКИ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	462
<i>Мацкевич С.А.</i> ВЛИЯНИЕ ТОРГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИЙ....	463
<i>Дудко Н.А., Войтешинок М.А.</i> АНАЛИЗ РОЛИ СУБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПОВЫШЕНИИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СЕКТОРА ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В УНИВЕРСИТЕТАХ.....	465
<i>Канашевич Т.Н., Шумская М.О.</i> ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ КОРРЕКЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО КОМПЕНСАЦИИ ПРОБЕЛОВ ДОВУЗОВСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ I-II КУРСОВ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ФАКУЛЬТЕТА.....	466

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ-2016

Материалы
9-й Международной научно-технической конференции

23–25 ноября 2016 года
Минск, Республика Беларусь

Ответственный за выпуск *А.К. Тявловский*
Оформление и компьютерная верстка *Г.А. Костина*

Подписано в печать 11.11.2016. Формат 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 56,03. Уч.-изд. л. 21,91. Тираж 140. Заказ 960.

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.