

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ

Материалы 12-й Международной
научно-технической конференции

В 4 томах

Том 1

Минск
БНТУ
2014

УДК 001:[37+658+338](063)

ББК 72я431

Н34

Редакционная коллегия:

Б. М. Хрусталеv – академик НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор;

Ф. А. Романюк – д-р техн. наук, профессор;

А. С. Калиниченко – д-р техн. наук

В сборнике представлены материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», тематика которых посвящена актуальным проблемам современной науки.

ISBN 978-985-550-625-7 (Т. 1)

ISBN 978-985-550-629-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

**Индивидуальная работа со студентами заочного отделения
на практических занятиях по дисциплине
«Электромагнитные переходные процессы»**

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

Затруднения, с которыми сталкиваются студенты-заочники при решении задач по электромагнитным переходным процессам, сводимы к двум группам: 1) слабое владение элементами теоретических основ электротехники и 2) неудовлетворительное усвоение теоретического материала вышеназванной дисциплины. Необходимо учитывать и тот факт, что у заочников крайне ограничено время для самостоятельной работы и изучения основных разделов дисциплины в домашних условиях.

Подбор задач осуществляется таким образом, чтобы в процессе их решения можно было ознакомить студентов с наиболее распространенными методами и приемами. Кроме того, примерно половина задач по сложности были бы доступна самым слабым студентам группы. Поскольку решение задач по различным разделам электромагнитных переходных процессов может вызвать большие или меньшие затруднения, количество таких задач варьируется от 3 до 4. Занятие начинается с решения на доске типовой задачи, в которой обязательно должны найти отражение все основные элементы остальных задач данной темы. Студенту, работающему у доски, оказывается помощь преподавателем, который акцентирует внимание всей группы на основных приемах решения, обращает внимание на различные этапы решения, выделяет единое в методике решения задач данной темы и отмечает особенности решаемой задачи. Когда задача на доске записана полностью, преподаватель отвечает на вопросы студентов и еще раз, кратко, повторяет основные этапы решения. После этого группе предлагается аналогичная задача, которую студенты решают самостоятельно. Если возникает ситуация, когда часть студентов задачу решили, а другие находятся еще в середине стадии решения, то первым предлагается еще одна задача изучаемой темы. Со студентами, не освоившими методику решения, преподаватель продолжает работать индивидуально. Направляя работу более слабых студентов, отвечая на вопросы и исправляя ошибки в тетради, преподаватель активизирует их участие в решении задач.

Применение данной методики дает следующие результаты: 1) обеспечивается активная работа во время занятия всех студентов и одновременно уделяется достаточно внимания каждому студенту; 2)

слабые студенты получают больше помощи со стороны преподавателя на всех стадиях решения задачи.

УДК 621.316.99

Комплексная диагностика состояния заземляющих устройств

Дерюгина Е.А.

Белорусский национальный технический университет

На территории России, Украины и Беларуси наиболее распространенной является методика для комплексной диагностики состояния заземляющих устройств, разработанная Р.К. Борисовым и др. Она основана на экспериментальных и расчетных исследованиях. Сначала экспериментально определяется реальное расположение заземлителей контура и связей с оборудованием. По результатам измерений составляется схема замещения заземляющего устройства и расчетом определяются наиболее опасные режимы работы. На основании этого разрабатываются мероприятия по устранению обнаруженных недостатков, направленные на снижение уровня воздействия опасных режимов на оборудование до безопасных значений.

Для реализации методики разработаны и сертифицированы измерительные комплексы КДЗ-1, ИК-1 и ИКП-1. С помощью КДЗ-1 определяют удельное сопротивление грунта, проверяют качество электрической связи оборудования с заземляющим устройством и измеряют сопротивление растеканию заземляющего устройства. Тестирование систем молниезащиты производят с помощью комплекса ИК-1, моделируя протекание токов молнии по заземлителям молниеотвода. В результате измеряют напряжение на заземлителе молниезащиты, определяют величины импульсного сопротивления заземлителя и наведенного импульсного напряжения в цепях релейной защиты и автоматики. Комплекс ИКП-1 используют для измерения параметров импульсных электромагнитных помех в цепях вторичной коммутации с целью определения качества выполнения заземляющего устройства и мероприятий по электромагнитной совместимости.

Одновременно с совершенствованием методов и средств измерения введены в действия новые нормативные документы. В НИиПИ РУП «Белэнергопроект» разработаны «Методические указания по проектированию заземляющих устройств электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВ», «Методические указания по выполнению заземления на электрических станциях и подстанциях напряжением 35-750 кВ», «Методические указания по проектированию и выполнению заземляющих устройств опор ВЛ напряжением 35-750 кВ» и

«Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВt от электромагнитных влияний и грозových воздействий», которые утверждены в качестве СТП Республики Беларусь.

УДК 621.315

Разработка программного комплекса для исследования режимов коротких замыканий трансформаторной подстанции

Новаш И.В., Румянцев В.Ю., Бобко Н.Н., Устимович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Целью и конечным результатом настоящей работы является разработка комплекса компьютерных программ, позволяющих получать входные сигналы для токовых защит силовых трансформаторов и исследовать функциональные возможности проектируемых для них защит.

В [1] представлены результаты разработки пакета компьютерных программ расчета информационных токовых сигналов для исследования поведения токовых защит линий электропередачи 6-10(35) кВ при удаленных междуфазных и однофазных замыканиях. Опыт создания подобных расчетных программ делает возможным разработать аналогичный пакет компьютерных программ для исследования различных режимов работы трансформаторной подстанции с двухобмоточным силовым трансформатором. Информационные токовые сигналы от измерительных трансформаторов тока, полученные в результате вычислительных экспериментов аварийных режимов (замыканий) в разных местах схемы электропитания трансформаторной подстанции, могут быть использованы в качестве входных сигналов микропроцессорных защит трансформатора для оценки поведения проектируемых защит с новыми функциональными возможностями.

Реализация математической модели трансформаторной подстанции на персональных ЭВМ (ПЭВМ) обеспечивает проведение всесторонних исследований поведения защит в форме вычислительного эксперимента, близкого по результатам к эксперименту на реальном объекте.

Литература:

1. Совершенствование математических моделей элементов распределительных сетей для исследования новых принципов выполнения микропроцессорных защит. Заключительный отчет о НИР. ГБ 11-05 № г.р. 20110998 / БНТУ. – Минск, 2013. – 116 с.

Выбор оптимальной схемы установки междуфазных изолирующих распорок в пролетах распределительных устройств

Пономаренко Е.Г., Петюк С.В.

Белорусский национальный технический университет

Из-за роста уровней токов короткого замыкания в уже спроектированных и эксплуатирующихся распределительных устройствах с гибкими проводниками возможны случаи нарушения электродинамической стойкости. В этой связи актуальным становится вопрос повышения электродинамической стойкости существующих токоведущих конструкций с минимальными затратами средств и времени. Наиболее действенным решением является установка междуфазных распорок. Их можно применять как во вновь сооружаемых, так и в существующих распределительных устройствах (РУ).

Количество и места установки распорок должны определяться расчетом для каждого конкретного пролета. Такую возможность дает компьютерная программа FLEBUS, дополненная подпрограммой динамики междуфазной распорки.

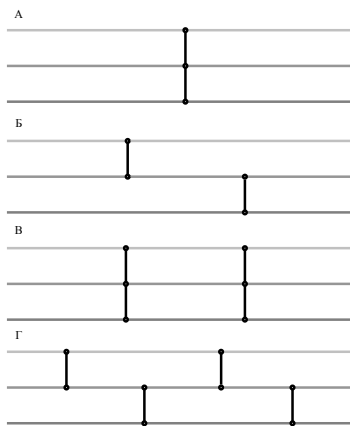


Рис. 1 – Схемы установки распорок

является установка одного комплекта распорок. Однако для создания запаса электродинамической стойкости и для снижения максимальных тяжений следует устанавливать два комплекта распорок в каждой трети пролета. Установка распорок в шахматном порядке менее эффективна, чем установка распорок в одном узле по всем фазам.

В данной работе исследовались различные схемы установки междуфазных изолирующих распорок: в центре пролета; в одной трети пролета в одном узле во всех трех фазах и в шахматном порядке; в одной пятой пролета в шахматном порядке (рис. 1).

Наиболее оптимальным оказался вариант установки междуфазных изолирующих распорок в одном узле. Для большинства пролетов открытых РУ достаточным условием динамической стойкости гибких токопроводов

**Компьютерная программа для расчета
электродинамической стойкости воздушных линий электропередачи**

Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Климкович П.И.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Электрические станции» БНТУ совместно с ООО «Научно-технический центр «Электроинжиниринг. Диагностика и сервис» (г. Москва) выполнялась научно исследовательская работа, посвященная разработке компьютерной программы и оценке с ее помощью электродинамической стойкости воздушных линий одной из сетевых компаний Российской Федерации при росте уровней токов короткого замыкания.

В основе компьютерной программы лежит векторно-параметрический метод расчета электродинамической стойкости гибких проводников, разработанный и успешно эксплуатируемый в течение последних трех десятилетий на кафедре «Электрические станции». Провод при расчете представляется гибкой упругой нитью, масса которой равномерно распределена по ее длине. Под воздействием внешних сил она может принимать любую форму и не сопротивляется изгибу и кручению.

Разработанный метод численного решения уравнений движения проводов реализован в компьютерной программе LINEDYS+, работающей в операционной среде WINDOWS. В программе учитываются основные конструктивные элементы пролетов распределительных устройств и воздушных линий с гибкими проводниками: порталы, опоры, гирлянды изоляторов, электрические аппараты и отпайки к ним (до трех отпаяек), а также различные параметры короткого замыкания и климатические условия, предшествующие и сопутствующие короткому замыканию.

Для оценки достоверности результатов расчета по компьютерным программам проведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных. В качестве экспериментальных данных использованы результаты испытаний на тестовом пролете бельгийской лаборатории LABORELEC, рекомендованные СИГРЭ для сравнительной оценки программных средств.

С использованием компьютерной программы LINEDYS+ выполнена оценка электродинамической стойкости проводов воздушных линий 110 и 220 кВ на типовых опорах длиной от 50 до 400 м по критериям недопустимого сближения проводников соседних фаз и максимального допустимого напряжения в материале проводов.

Программа LINEDYS+ может быть использована при проектировании воздушных линий для проверки их электродинамической стойкости в

предусмотренных Правилами устройства электроустановок климатических режимах.

УДК 621.316.99

Сравнение методов расчета динамики расщепленной фазы при коротком замыкании

Потачиц Я.В.

Белорусский национальный технический университет

В открытых распределительных устройствах (ОРУ) высокого и сверхвысокого напряжения широко применяется гибкая ошиновка с расщепленными фазами (РФ). Особенностью поведения расщепленных фаз при коротком замыкании (КЗ) является слипание составляющих фазу проводов на большей части пролёта, вызванное большими токами короткого замыкания.

Ключевым допущением при оценке динамики РФ является ее представление одиночным эквивалентным проводом. Указанная модель позволяет определить размах колебаний расщепленных фаз при междуфазных КЗ, а также второй и третий максимумы тяжения. Достоверность этого статического метода подтверждена экспериментально. При больших токах КЗ следует учитывать движение проводов расщепленных фаз, которые оказывают динамическое воздействие на распорки. Приложенные к распоркам силы раскладываются на две составляющие. Одна из них вызывает перемещение распорки как твердого тела, другая направлена на ее деформацию.

В БНТУ для математического описания динамики расщепленных проводов используются уравнения движения гибкой упругой нити. Они справедливы для участков проводов между распорками, на которые воздействуют при КЗ только распределенные ЭДУ. Из-за фиксации проводов в зажимах распорок при КЗ на провода в этих точках воздействуют также сосредоточенные силы, величины которых могут быть определены лишь с учетом упругих и инерционных характеристик распорок. При многофазных КЗ из-за разницы в расстояниях между составляющими различных фаз траектории движения проводов становятся несимметричными. Это ведет к повороту распорок и закручиванию фазы. Математическое описание динамики РФ на основе принятой модели включает в себя уравнения поступательных перемещений и закручивания проводов и распорок, которые решаются совместно.

Определение места повреждения на линиях распределительных сетей

Романюк Ф.А., Румянцев В.Ю., Шевалдин М.А.
Белорусский национальный технический университет

Основным повреждением на линиях распределительных сетей 6-35 кВ являются короткие замыкания (КЗ). Если установлено, что КЗ находится на защищаемой линии, то предоставляется возможность для ее отключения без выдержки времени.

Установление места повреждения может быть выполнено по величине относительного значения расстояния от места установки защиты до точки повреждения l_{k^*} . Если $l_{k^*} \leq 1$, то КЗ находится на линии, в противном случае оно расположено за ее пределами.

Алгоритм определения места повреждения реализуется на временном интервале существования КЗ. При этом фиксируются токи фаз линии, из которых выделяются наибольшее и наименьшее значения с последующим установлением по нему вида КЗ. Затем в соответствии с видом КЗ выбираются необходимые расчетные параметры, по которым и определяется место возможного повреждения.

На достоверность определения l_{k^*} наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы: вид короткого замыкания, переходное сопротивление в месте повреждения, погрешности трансформаторов тока, нагрузка линии, мощность и сопротивление питающей системы, погрешности расчета токов короткого замыкания в начале и конце участка.

В качестве оценочных параметров были выбраны относительная погрешность δ и время определения относительного расстояния до места повреждения.

Оценочные параметры описанного выше алгоритма определения места повреждения с учетом обозначенных влияющих факторов получены методом вычислительного эксперимента. Его реализация осуществлялась с использованием компьютерной программы, в основу которой положена математическая модель распределительной сети 6-35 кВ.

В результате исследований установлено, что характер изменения δ при различных видах повреждений примерно одинаковый. При этом уровни погрешностей δ от воздействия всех влияющих факторов могут быть меньше, чем только от одного из них. Это объясняется взаимной компенсацией влияний на значения δ различных факторов

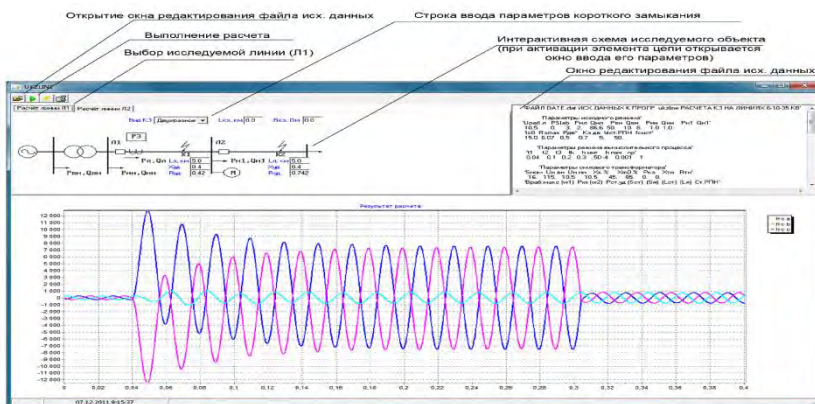
Главными достоинствами предлагаемой токовой защиты линий являются сокращения числа ступеней до двух и повышение быстродействия последней ступени, особенно на головных участках, расположенных вблизи источников питания.

Программный комплекс для исследования аварийных режимов на линиях 6–10(35) кВ с односторонним питанием

Романюк Ф.А., Новаш И.В., Румянцев В.Ю., Бобко Н.Н., Устимович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Программный комплекс [1] для исследования удаленных междуфазных замыканий на линиях 6–10(35) кВ с односторонним питанием разработан с использованием системы объектного программирования DELFI и расчетного модуля на алгоритмическом языке FORTRAN.

Рис. 1. Диалоговое окно программного комплекса



Новый программный комплекс (рис. 1) имеет проверенную практикой достоверность ранее разработанных расчетных программ и может применяться на любых современных ПЭВМ. Сохраняется достоверность результатов за счет использования отработанных алгоритмов и повышается скорость вычислений за счет современных систем объектного программирования.

Литература:

1. Совершенствование математических моделей элементов распределительных сетей для исследования новых принципов выполнения микропроцессорных защит. Заключительный отчет о НИР. ГБ 11-05 № г.р. 20110998 / БНТУ. – Минск, 2013. – 116 с.

**Исследование энергоэффективности потребителей
с кусочно-непрерывными расходными характеристиками**

Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В.

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого»

Анализ структуры и эффективности потребления, позволил установить, что в нестабильных условиях производства, наряду с непрерывными расходными характеристиками электропотребления, выделяются потребители с кусочно-непрерывными расходными характеристиками. Потребители при этом работают в различных режимах из-за меняющейся производственной программы и технологических факторов, что, в свою очередь, приводит к работе оборудования с изменяющейся энергоэффективностью $W_{уд}$. Выявлено, что эффективность потребления электроэнергии может изменяться скачкообразно в точках разрыва первого рода. Причем кусочно-непрерывными расходными характеристиками могут описываться не только режимы отдельных электроприёмников, но и их групп, объединённых технологическим процессом, что ставит важную задачу по оптимизации режима электропотребления.

Для исследований энергоэффективности получены аналитические и графические математические модели электропотребления энергоёмкого оборудования ряда потребителей. Так, были получены кусочно-непрерывные расходные характеристики участков нефтепровода «Дружба», систем выпаривания соли ОАО «Мозырьсоль», индукционных электросталеплавильных печей РУП Гомельского литейного завода (ГЛЗ) «Центролит». Установлено, что такие характеристики целесообразно моделировать дифференцированно по диапазонам объемов производства.

Были получены математические модели электропотребления для участков нефтепровода «Дружба», систем выпаривания соли ОАО «Мозырьсоль» и индукционных электросталеплавильных печей РУП ГЛЗ «Центролит» соответственно.

На основе разработанных кусочно-непрерывных расходных характеристик потребителей, а также математических моделей электропотребления были произведены исследования энергоэффективности участков нефтепровода «Дружба», систем выпаривания соли ОАО «Мозырьсоль», индукционных электросталеплавильных печей РУП ГЛЗ «Центролит». Были определены наиболее эффективные режимы работы технологического оборудования и выявлен потенциал энергосбережения на предприятиях.

Практическая подготовка инженерных кадров для Белорусской АЭС

Силок С.М., Карницкий Н.Б.

Белорусский национальный технический университет

Подготовка специалистов для Белорусской АЭС в соответствии с Государственной программой подготовки, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1329 от 10 сентября 2009 года, осуществляется в пяти вузах страны, среди которых и Белорусский национальный технический университет. В целях закрепления полученных теоретических знаний и изучения опыта эксплуатации, проектирования, вопросов экологической и радиационной безопасности учебными планами предусмотрены производственные практики студентов.

Студенты младших курсов проходят практику на традиционных ТЭС, где знакомятся с основным и вспомогательным тепломеханическим оборудованием, технологическим циклом производства тепловой и электрической энергии. На старших курсах (4-ом и 5-ом) производственная и преддипломная практики для студентов специальности 1-43 01 08 проводятся на филиалах ОАО «Концерн Росэнергоатом», «Калининская атомная станция», «Нововоронежская атомная станция», «Ростовская атомная станция», «Смоленская атомная станция», в «Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева», в «Севастопольском национальном университете ядерной энергии и промышленности Украины», в Санкт-Петербургском научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте, в «Атомэнергопроекте». С 2015 года также планируется практики в НИЯУ «МИФИ» (г.Москва) и на строящейся Белорусской АЭС. В последнем случае студенты смогут «изнутри» изучить конструкции оборудования, приобрести знания по монтажу поступающих узлов и агрегатов АЭС.

Студенты первого выпуска специальности 1-43 01 08 проходили практику в Германии. Программа практики включала вопросы устройства и эксплуатации атомных электростанций и объектов захоронения ядерных отходов. Атомные электростанции – филиалы ОАО «Концерн Росэнергоатом», – являясь современными предприятиями динамично развивающейся ядерной энергетики России, обеспечивают высокое качество проведения практики, что подтверждается многочисленными отзывами студентов и руководителей практик от БНТУ.

Полученные во время практик на АЭС, в университетах, научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтах опыт и знания полезны как студентам-практикантам, так и руководителям практик от БНТУ.

Дуговая защита

Сапожникова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Современное общество все сильнее зависит от качественного и непрерывного электроснабжения. Длительное пропадание электропитания вызывает большие финансовые потери поставщику и потребителю электроэнергии. Независимо от того, как защищена энергосистема, возникновение аварий все же возможно. Электрическое дуговое короткое замыкание – это редко встречающееся короткое замыкание в коммутационной аппаратуре, где эффект взрывного нарастания давления и нагрева может быть причиной громадного ущерба оборудованию и риска для безопасности обслуживающего персонала. При этом время горения дуги позиционируется как основной критерий для оценки вероятности повреждения оборудования и травмирования персонала.

Открытые дуговые замыкания длительностью до 100 мс, в 90% случаев не представляют опасности для оборудования и персонала. При времени горения дуги более 100 мс, но менее 600 мс, в 100% случае происходит повреждение оборудования и травмирование персонала. Дуговые короткие замыкания, длящиеся более 600 мс, характеризуются обширными повреждениями оборудования и тяжелыми травмами персонала.

Температура газа в канале дугового разряда может достигать 10000°C. Металлы, попавшие в зону горения дуги, испаряются, а изоляция сгорает, в некоторых случаях – с выделением токсичных газов. Воспламенение кремнийорганической изоляции опорных и проходных изоляторов происходит ориентировочно через 120 мс после возникновения дугового замыкания. Через 180 мс возможно воспламенение меди, из которой выполнены токоведущие части главной цепи. Через 250 мс воспламеняются стальные конструктивные элементы распределительного устройства, находящиеся в зоне действия дуги.

Наилучший путь ограничить ущерб от дугового короткого замыкания – это ограничить время горения дуги. Время горения дуги может быть ограничено путем отключения выключателя, через который происходит питание дуги. Цель дуговой защиты – определить дуговое замыкание и минимизировать время горения дуги, защищая тем самым людей и оборудование.

Время, за которое происходит отключение замыкания, в общем случае, можно рассчитать по следующей формуле:

$$T_{\text{откл.}} = T_z + T_v;$$

где, T_z - время срабатывания устройства защиты; T_b - собственное времени отключения выключателя. При этом современные дуговые защиты без контроля по току обеспечивают время срабатывания от 7 мс до 15 мс. В случае, если в алгоритме устройства защиты используется контроль тока, время срабатывания увеличивается до 30 мс. С учётом того, что времена отключения современных вакуумных выключателей составляют от 50 до 90 мс, полное время отключения дугового замыкания может составить 110 мс, что может повлечь негативные последствия для оборудования и персонала.

УДК 621.316.99

Численный метод расчета электродинамической стойкости проводов воздушных линий.

Сергей И.И., Потачиц Я.В.

Белорусский национальный технический университет

Электродинамическое действие токов короткого замыкания на элементы конструкций воздушных линий (ВЛ) сопровождаются динамическими нагрузками большой амплитуды и сближением фазных проводников. Критериями электродинамической стойкости ВЛ являются максимальные тяжения проводов и наименьшие расстояния между соседними проводами в момент их наибольшего сближения при и после короткого замыкания. Максимальные тяжения проводов не должны превышать допустимых значений. Допустимые тяжения определяются пределом прочности на растяжение проводов с учетом коэффициента запаса $K_c = 0,5$. Наименьшее расстояние между фазами в момент их наибольшего сближения не должно быть меньше нормированного значения по рабочему напряжению.

Для расчета параметров электродинамической стойкости проводов ВЛ, расположенных по вершинам произвольного треугольника, использованы уравнения динамики провода, представленного гибкой упругой нитью. Численное решение уравнений движения проводов производится по неявной схеме, реализованной в компьютерной программе LINEDYS.

В расчетах использованы типовые опоры ВЛ 110-220 кВ с расположением проводов фаз по вершинам треугольника. В этом случае в траекториях их движения в первом цикле колебаний преобладают вертикальные колебания проводов, которые быстро перестраиваются в горизонтальные движения вследствие влияния инерционных и упругих сил и сил тяжести проводов. Изменение формы траектории движения проводов на стадии их свободного движения повышает риск их опасного сближения и даже схлестывания в цикле неуспешного АПВ. Во всех

случаях рекомендуется к использованию компьютерная программа LINEDYS, достоверность расчетов по которой доказана их сравнением с опытными данными, полученными в Electricity de France.

УДК 621.316

Разработка в среде Simulink-SimPowerSystems учебной модели трехфазной группы трансформаторов тока

Румянцев Ю.В.

РУП «Белэнергосетьпроект»

Основной проблемой при моделировании работы трансформатора тока (ТТ) является отсутствие в общедоступных источниках геометрических размеров его магнитопровода: сечения и средней длины магнитной линии.

Характеристика намагничивания (зависимость напряженности магнитного поля от индукции) электротехнических сталей разных марок в общем случае имеют схожую форму, и для создания учебной (упрощенной) модели ТТ можно принять, что все ТТ имеют одинаковую характеристику. В качестве данной характеристики принята рекомендованная кривая, приведенная в [1].

На основе данного допущения в системе Simulink-SimPowerSystems была разработана учебная модель трехфазной группы ТТ, которая позволяет анализировать поведение ТТ во всех режимах его работы.

Особенностью данной модели является то, что для ее работы не требуется располагать геометрическими параметрами магнитопровода ТТ. Достаточно лишь знать его номинальные параметры: класс точности, коэффициент трансформации, номинальную предельную кратность и допустимую вторичную нагрузку.

В модели доступны различные способы аппроксимации характеристики намагничивания: ручная аппроксимация по 25 точкам, аппроксимация с помощью формулы Оллендорфа (гиперболическая аппроксимация), аппроксимация двумя наклонными или одной наклонной прямой. В модели реализована возможность учета потерь энергии на вихревые токи. Также в модели предусмотрена возможность задания остаточной намагниченности ТТ каждой фазы.

Разработанная модель трехфазной группы трансформаторов тока может успешно использоваться для анализа работы ТТ в следующих режимах: протекание тока КЗ, протекание тока КЗ с аperiodической составляющей, режим успешного/неуспешного автоматического повторного включения.

Литература:

1. Королев, Е. П. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты / Е. П. Королев, Э. М. Либерзон – М.: Энергия, 1980.

Обратная задача механического расчета гибких проводов распределительных устройств

Бладыко Ю.В., Шилак Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Решение обратной задачи – нахождение тяжения по заданной стреле провеса – производится путем численного решения нелинейных дифференциальных уравнений статики гибкой упругой нити [1]. После аппроксимации системы дифференциальных уравнений конечно-разностными уравнениями решение обратной задачи сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений на основе вложенных итераций. Отличие от прямой задачи заключается в другом порядке их следования и в изменении критериев, по которым оценивается достижение заданной точности в определении параметров гибкой ошиновки распределительных устройств и проводов воздушных линий. Ход и построение первой итерации относительно координат практически остаются без изменений. Начальное приближение тяжения рассчитывается по формулам, приведенным в работе [2]. После достижения заданной точности в определении координат вычисляется тяжение в проводе. Контроль достижения заданной точности в вычислении тяжения выполняется по стреле провеса в заданной точке пролета $f_{\text{дан}}^{(P)}$.

Итерационный процесс завершается, если $\Delta f = f_{\text{дан}}^{(P)} - f_0$ станет меньше заданной точности вычислений (f_0 – исходная стрела провеса). Если эта точность не достигнута, то по методу половинного деления определяется новое приближение тяжения

$$T^{(P)} = T^{(P-1)} + \Delta T^{(P)}, \text{ где}$$

$$\Delta T^{(P)} = \pm \Delta T^{(P-1)} / (2 - k).$$

Коэффициент k равен 1 до тех пор, пока разность $\Delta f = f_{\text{дан}}^{(P)} - f_0$ не изменит знака, после чего значение k устанавливается равным нулю. Знак $\Delta T^{(P)}$, зависящий от соотношения $f_{\text{дан}}^{(P)}$ и f_0 , определяется из обратно пропорционального характера изменения тяжения от стрелы провеса.

Литература:

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И., Бладыко Ю.В. Численный метод расчета статики гибкой ошиновки ОРУ в различных режимах климатических воздействий // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).- 1983.- № 8.- С. 8-14.

2. Бошнякович А.Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП. – Л.: Энергия, 1975. – 248 с.

УДК 621.135

Анализ защиты внутренних электрических и электронных систем от вторичных воздействий в результате разряда молнии

Счастливая Е. С.

Белорусский национальный технический университет

Выход из строя технических систем и оборудования от воздействия разрядов молний и импульсных перенапряжений часто приводит к серьезным последствиям. Для обеспечения надежной работы систем электроснабжения и информационной техники применяется описанная в ТКП 336-2011 зонная концепция молниезащиты. При этом здание разделяется на зоны, в каждой из которых допускается определенная степень воздействия импульсных токов молнии, импульсных перенапряжений и энергии электромагнитного поля. Комплексная система молниезащиты согласно зонной концепции включает в себя систему внешней молниезащиты (молниеприемная часть, токоотводы, заземление), уравнивание потенциалов, экранирование помещений и применение устройств защиты от импульсных перенапряжений для питающих сетей и информационной техники (УЗИП).

Устройства защиты от импульсных перенапряжений в зависимости от места установки и предназначения подразделяются на разрядники тока молнии (УЗИП класс I), ограничители перенапряжений (УЗИП класс II и III) и комбинированные УЗИП. Наиболее жесткие требования в отношении пропускной способности предъявляются к УЗИП I класса и комбинированным УЗИП, устанавливаемым на границах зон МЗЗ 0А и 1 и 0А и 2 соответственно.

На границах зон МЗЗ 0В и 1 или 1 и 2, а также последующих зон устанавливаются ограничители перенапряжений (УЗИП класс II или III). Их задача – дальнейшее ослабление энергии электромагнитного поля по сравнению с предыдущими зонами и ограничение возникающих импульсных перенапряжений.

Способы повышения энергетических показателей полупроводниковых преобразователей

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Преобразователи электроэнергии преобразуют переменный ток в постоянный и наоборот, регулируют или стабилизируют выходной ток или напряжение, изменяют частоту переменного тока. В основном применяются два основных типа преобразователей электроэнергии: электромашинные и статические. С точки зрения качества электроэнергии и влияния работы на сеть электромашинные преобразователи имеют преимущества перед статическими, однако их доля использования постоянно уменьшается, так как они громоздки и имеют худший КПД, чем статические преобразователи. Основные недостатки статических преобразователей следующие: низкий КПД и повышенные потери энергии в двигателях из-за наличия высших гармоник в токах, протекающих по обмоткам двигателей.

Рассмотрим средства по повышению энергетических показателей полупроводниковых преобразователей, направленных на устранение либо ослабление этих недостатков.

1. Снижение потерь в обмотках двигателей

Это можно осуществить двумя способами: увеличением индуктивных сопротивлений в цепях обмоток двигателей, что используется лишь в цепях постоянного тока путём включения сглаживающих дросселей на выходах выпрямителей. Вторым способом уменьшения потерь от высших гармоник в обмотках двигателей является формирование на выходах преобразователей кривых токов (в источниках тока) или напряжений (в источниках напряжений) с уменьшенным содержанием высших гармоник.

2. Повышение $\cos \varphi$ электроприводов

Перспективны управляемые тиристорные и транзисторные преобразователи, которые позволяют не только увеличить коэффициент мощности, но и сделать его опережающим. При подключении таких преобразователей на общую шину они обеспечивают частичную компенсацию реактивной мощности.

3. Снижение потерь в реверсивных схемах преобразователей

В преобразователях протекают уравнивающие токи по контурам, к которым не подключены обмотки двигателей. Эти токи увеличивают потери в преобразователях. Если эти контуры отключать, то уравнивающие токи не протекают, и потери энергии уменьшаются.

Компьютерные модели в проведении практических и лабораторных занятий

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Многие программы, позволяющие моделировать работу электронных и электротехнических устройств, требуют знания технического английского языка, имеют сложный интерфейс и требуют предварительного обучения студентов. При этом занятие требуется проводить в компьютерном классе. При недостатке компьютерных классов дополнительные возможности предоставляют личные смартфоны и планшеты студентов. В таких условиях актуальными становятся компьютерные модели, позволяющие студентам приступить к изучению электронных и электротехнических устройств непосредственно после загрузки рабочих файлов в мобильные компьютерные устройства. Доступно довольно много программ для среды Android, дополняющих практические занятия и лабораторные работы.

Так, программа ElectroDroid (базовая электроника) позволяет рассчитывать: реактивные сопротивления резонанса; частоты среза RC, LC, RL фильтров; делители напряжения; усилители на ОУ (операционный усилитель); потери напряжения в силовых кабелях и проводах; расчёт катушки индуктивности, соленоида и др. Программа EveryCircuit (различные схемы) позволяет моделировать простые электронные устройства (Circuit Simulator), пользоваться библиотекой готовых схем: разветвлённые электрические цепи; RC, RL – цепи; выпрямители; схемы со светодиодами; схемы на ОУ; стабилизаторы напряжения и др. Кроме того, в среде Android можно просматривать анимации в GIF формате и Flash – анимации. Анимации в виде GIF-файлов представляют собой «живые» картинки. Их легко создать из фотографий и рисунков, они несут много дополнительной информации, которую не нужно долго объяснять обучаемым. Flash-анимации добавляют ещё больше возможностей, однако их создание более трудоёмко. В Интернете много готовых анимаций, которые можно адаптировать, откорректировать изображения и тексты в Photoshop и просматривать в мобильных устройствах.

Лабораторные работы после работы с такими моделями приобретают иную направленность, позволяют акцентировать внимание обучаемых не на принципе, а на особенностях работы реальных устройств. Практическая работа в лаборатории значительно сокращается по времени, так как становится более эффективной, экономится ресурс лабораторных стендов и электроэнергия.

Гавриленко С.Д., Жорова М.И.

Белорусский национальный технический университет

Существенное влияние на трехфазную сеть электроснабжения оказывают мощные потребители, обеспечиваемые постоянным током от управляемых выпрямителей. Такая нагрузка может считаться чисто индуктивной, так как активное сопротивление нагрузки R_n во много раз меньше индуктивного $X_n = L_n \cdot \omega_n$, где L_n – индуктивность нагрузки; ω_n – угловая частота пульсации напряжения в нагрузке, зависящая от схемы выпрямителя. Для исследования состава генерируемых гармоник потребляемого тока применялась программа MathCad. При этом импульсы потребляемого выпрямителями тока с учётом индуктивного характера мощной нагрузки считались прямоугольными, двухполярными. Их длительность t_n и длительность паузы t_p зависела от угла управления, период повторения T_n составляет 20 миллисекунд. Для однофазного двухполупериодного управляемого выпрямителя при угле управления $\alpha = 0^\circ$ доли высших гармоник соответствовали известным соотношениям. При угле управления $\alpha = 90^\circ$ доли высших гармоник остаются неизменными, однако появляется аналогичный ряд косинусных гармоник на всех нечётных частотах. Суммируясь между собой, синусные и косинусные составляющие образуют негармоническое колебание, амплитуда которого по отношению к первой полезной гармонике возрастает на всех нечётных частотах примерно в 1,41 раза. При угле управления $\alpha = 135^\circ$ также образуются ряды синусных и косинусных гармоник, при этом их доля возрастает очень сильно. Амплитуда суммарного негармонического колебания синусной и косинусной составляющих по отношению к первой гармонике составляет: 3-я – 225%; 5-я – 135%; 7-я – 39,5%; 9-я – 31%; 11-я – 61,5%; 13-я – 62,5%; 15-я – 18,6%; 17-я – 14,6%; 19-я – 35,5%; 21-я – 32,2%. Трёхфазный мостовой выпрямитель при угле управления $\alpha = 60^\circ$ теряет одно из основных достоинств – отсутствие гармоник, кратных трём. Они составили: 3-я – 67,1%; 9-я – 22,4%; 15-я – 13,4%; 21-я – 9,6%. При $\alpha = 90^\circ$ все гармоники становятся ещё больше, появляется ряд косинусных гармоник. Во всех случаях существенными были гармоники до 21-ой включительно. Делаем вывод, что при работе установок с управляемыми выпрямителями меры защиты питающей сети должны учитывать влияние высших гармоник до 21-ой включительно. Максимальное значение угла управления α по возможности следует ограничивать.

Модернизация расчета неразветвленных магнитных цепей постоянного тока

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

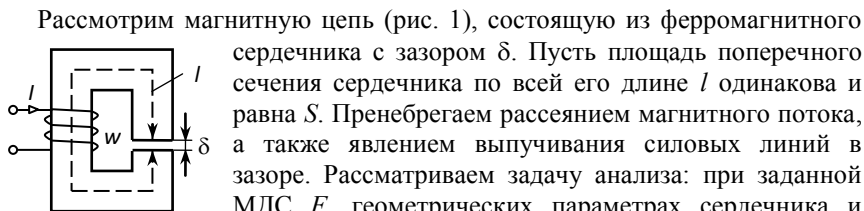


Рис. 1

Рассмотрим магнитную цепь (рис. 1), состоящую из ферромагнитного сердечника с зазором δ . Пусть площадь поперечного сечения сердечника по всей его длине l одинакова и равна S . Пренебрегаем рассеянием магнитного потока, а также явлением выпучивания силовых линий в зазоре. Рассматриваем задачу анализа: при заданной МДС F , геометрических параметрах сердечника и зазора, марке стали определить магнитный поток или индукцию в зазоре. Самое простое решение этой задачи дает метод нагрузочной прямой. Стандартный вариант этого метода [1] требует кривую намагничивания $B = f(H)$ предварительно пересчитать в вебер-амперную характеристику $\Phi = f(U_m)$.

Отметим, что данную методику можно значительно упростить, если кривую намагничивания $B = f(H)$ оставить неизменной, а пересчет выполнить для нагрузочной прямой. Из закона полного тока следует

$$H \cdot l + R_m \cdot B \cdot S = F, \quad R_m = \delta / (\mu_0 S). \quad (1)$$

Если эту зависимость рассматривать как уравнение нагрузочной прямой в координатах (H, B) , то для точек H_0, B_0 (рис. 2) найдем:

$$H_0 = F/l; \quad B_0 = F\mu_0/\delta, \quad (2)$$

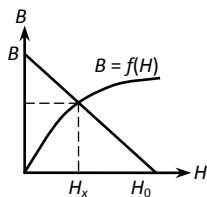


Рис. 2

где μ_0 – магнитная константа.

Проводя через точки H_0, B_0 нагрузочную прямую, находим искомые напряженность H_x сердечника и индукцию B_x в сердечнике и зазоре.

По формулам (2) легко судить о смещении рабочей точки (H_x, B_x) , если изменяется один из параметров F, l, δ . Если, например, длину δ зазора увеличить вдвое, то величина B_0 уменьшится в два раза и, соответственно, существенно уменьшатся значения H_x, B_x (выпучиванием силовых линий в зазоре по-прежнему пренебрегаем). Из (2) также следует, что в рассматриваемой задаче координаты рабочей точки (H_x, B_x) не зависят от площади S поперечного сечения магнитопровода. Величина S определяет значение $\Phi_x = B_x \cdot S$ магнитного потока.

Литература:

1. Основы теории цепей: учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. - 5-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 528 с.

Метод переменных состояния в электрических цепях с дуальными вырождениями

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

В теории электрических цепей установлено, что наличие каждого независимого индуктивного сечения или емкостного контура приводит к понижению на единицу порядка дифференциального уравнения.

Менее изучены электрические цепи, содержащие такие особенности, как индуктивные контуры и емкостные сечения (дуальные структуры). В этих цепях можно непротиворечиво задавать произвольные начальные условия для каждого реактивного элемента и по формальным признакам не происходит понижение порядка дифференциального уравнения цепи.

Установим, какие особенности вносят дуальные структуры в описание электрической цепи, если для анализа используется метод переменных состояния. Электрическая цепь на рис. 1 содержит индуктивный контур $L_1-L_2-L_3$. Составим систему уравнений состояния, приняв в качестве переменных состояния индуктивные токи i_1, i_2, i_3 :

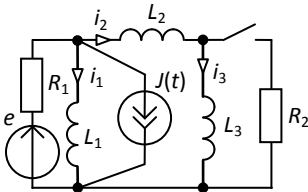


Рис. 1

$$\begin{bmatrix} i_1' \\ i_2' \\ i_3' \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} + \mathbf{B} \begin{bmatrix} e \\ J(t) \end{bmatrix},$$

$$\text{где } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} -R_1/L_1 & -R_1/L_1 & 0 \\ -R_1/L_2 & -(R_1+R_2)/L_1 & R_2/L_2 \\ 0 & R_2/L_3 & -R_2/L_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & -R_1 \\ 1 & -R_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Визуальный анализ строк матрицы \mathbf{A} выявляет их линейную зависимость, что указывает на вырожденность матрицы. Плохая обусловленность матрицы \mathbf{A} ограничивает применимость некоторых численных методов решения уравнений состояния.

Приведем к явной форме характеристическое уравнение $\det(p\mathbf{I} - \mathbf{A}) = 0$.

В результате получим

$$p^3 L_1 L_2 L_3 + p^2 [L_1 L_2 R_2 + L_2 L_3 R_1 + L_3 L_1 (R_1 + R_2)] + p R_1 R_2 (L_1 + L_2 + L_3) = 0.$$

Это уравнение имеет нулевой корень, обуславливающий наличие константы у свободных составляющих индуктивных токов. Выявленные особенности характерны для всех цепей, содержащих рассмотренные

дуальные структуры.

УДК 681.518.5

Учебно-исследовательская лаборатория управления промышленными объектами

Ежов В.Д., Дубоделов В.Е., Крышнев Ю.В.
Белорусский национальный технический университет,
ЗАО «НПП БелСофт»,
Гомельский государственный технический университет

При модернизации учебной лаборатории Гомельского государственного технического университета потребовалось выбрать одно из двух направлений в управляющих системах:

– встраиваемые микроконтроллеры (Atmel, Fujitsu, Microchip, TI), поставляемые с интегрированной средой разработки и отладки программ, включая библиотеки исходных текстов программ, текстовые редакторы, симуляторы. Основная задача программирования таких микроконтроллеров – это, оптимально используя его внутренние ресурсы (память, регистры, порты, прерывания), организовать обмен с внешними устройствами для решения задачи управления;

– промышленные контроллеры для распределенных систем управления, имеющие встроенные операционные системы реального времени (MiniOS7, Windows CE.Net, QNX). Такие контроллеры программируют на уровне операционной системы, абстрагируясь от низкоуровневых подробностей разработки программы и концентрируясь исключительно на логике процесса управления.

Технология программирования «открытого» стандарта разделена на две основные составляющие: среду разработки и среду выполнения. Среда разработки – это средства визуального программирования в стандарте МЭК 61131-3, работает на PC под Windows 98/NT/XP/2000. Код созданной в ней выполняемой программы может работать на разных аппаратных платформах. Наибольшей известностью пользуются комплексы программирования: CoDeSys, ISaGRAF и др. Специалист, изучивший стандартные компоненты МЭК, сможет работать с контроллерами многих фирм, поддерживающих стандарт МЭК61131-3: ABB, ICP-DAS, Mitsubishi Electric, Owen Co, Schneider Electric, Moeller, Fastwel Inc., Prolog Co и др. Таким образом, изучение систем автоматизации, поддерживающих стандарт МЭК, обеспечит наиболее широкую область применения полученных знаний. С учетом сказанного за основу комплектации лаборатории «Управление промышленными объектами» принято оборудование фирмы ICP-DAS, имеющее модульное исполнение,

недорогое и простое в эксплуатации.

УДК 621.311

Вопросы оптимизации режимов работы энергосистемы

Жуковская Т.Е.

Белорусский национальный технический университет

Выбор оптимальных вариантов эксплуатации энергетических систем дает возможность получения значительного количества дополнительной электроэнергии или существенной экономии топливных ресурсов.

Главной задачей органов оперативного управления в энергетике является ведение оптимальных режимов. Основным принципом такого управления является подчинение режима каждого низшего звена требованиям оптимального режима высшего звена. Так, режим агрегата должен быть подчинен требованиям режима электростанции, режим электростанции – режиму энергосистемы и т.д.

Для обеспечения максимальной экономичности режима в распоряжении диспетчеров энергосистемы имеется ряд возможностей:

- оптимальное распределение активной и реактивной мощностей между генерирующими источниками, включенными в работу;
- оптимальный выбор включенных в работу агрегатов (котлов, турбогенераторов);
- оптимальное назначение оперативного резерва мощности в энергосистеме;
- оптимальное регулирование частоты и напряжений.

Таким образом, выбор оптимального режима работы энергосистемы представляет собой сложную многокритериальную задачу принятия решения, постановка которой должна учитывать множество разнообразных и противоречивых информационных, организационно-хозяйственных, режимно-технических, экономических и социальных факторов. В процессе оптимизации учитывается регулировочный диапазон мощностей электростанций и потребителей.

Целевая многокритериальная функция должна включать в себя следующие основные составляющие: затраты на топливо на электростанциях; значение потерь активной мощности в основной сети; величину ущерба от недоотпуска электроэнергии; интегральный показатель уровня надежности электроснабжения потребителей.

Таким образом, для оптимизации режима нужно найти минимум затрат, зависящих от большого числа переменных, связанных условиями ограничения.

Анализ простых цепей синусоидального тока на основе баланса мощностей

Куцьло А.В.

Белорусский национальный технический университет

Под простыми цепями синусоидального тока понимаются цепи с одним источником и последовательным, параллельным или смешанным соединением элементов. В докладе обсуждаются вопросы, относящиеся к линейным электрическим цепям. Для расчёта таких цепей применяется обычно метод эквивалентных преобразований, при котором вначале рассчитывается эквивалентное сопротивление цепи, а затем определяются токи в отдельных элементах цепи.

Возможно также применение метода пропорционального пересчёта, когда, задавшись произвольным значением тока (напряжения) в наиболее удалённом от источника элементе цепи, находят ЭДС источника (или приложенное к цепи напряжение), а затем изменяют рассчитанные токи и напряжения пропорционально действительному значению ЭДС (напряжения).

В обоих случаях расчёту активной, реактивной и полной мощностей, если он необходим, предшествует расчёт напряжений и токов элементов цепи. Элементы цепи характеризуются при использовании комплексного метода комплексными сопротивлениями \underline{Z} и/или проводимостями \underline{Y} , а при несимволическом методе активными R , реактивными X и полными Z сопротивлениями и/или активными G , реактивными B и полными Y проводимостями. Расчёт сопровождается в процессе преобразований схемы цепи переходом от сопротивлений к проводимостям и наоборот.

Если детальный анализ токов и напряжений в элементах цепи с учётом их начальных фаз не является необходимым, а целью расчёта является определение мощностей элементов цепи, то расчёт простых цепей синусоидального тока может быть выполнен на основе баланса активных и реактивных мощностей. В этом случае элементы цепи задаются своими параметрами Z или Y , а также коэффициентом мощности $\cos\varphi$ независимо от соединения, в котором они находятся. Задав произвольным значением тока (напряжения) в наиболее удалённом от источника элементе цепи, нужно рассчитать мощности этого элемента, затем всех остальных участков и элементов цепи и, наконец, мощности всей цепи. При этом расчёте производится алгебраическое сложение активной и реактивной мощностей.

На заключительном этапе нужно выполнить перерасчёт мощностей элементов цепи в соответствии с действительным напряжением источника.

Уточнение определения термина «измерительный преобразователь»

Куцьло А.В.

Белорусский национальный технический университет

Согласно рекомендациям РМГ 29-99 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения», измерительный преобразователь (ИП) – это «техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи».

О том, что данное определение нуждается в уточнении, свидетельствует наличие примечаний к нему в самом тексте РМГ 29-99. Так, в примечании 1 уточняется, какое именно «техническое средство» имеется в виду в определении ИП: «ИП или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.), или применяется вместе с каким-либо средством измерений». В примечании 2 уточняется характер измерительного преобразования, выполняемого ИП: «По характеру преобразования различают аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи». Согласно примечанию 1, ИП, как вариант, «...входит в состав какого-либо измерительного прибора...». Вместе с тем, РМГ 29-99 содержит термин «измерительное устройство» и определяет его: «часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение», при этом в примере к этому определению указан также и «измерительный преобразователь». В тех же РМГ 29-99 «техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками...» определяется как «средство измерений».

На основании указанных терминов из РМГ 29-99, начало определения термина «измерительный преобразователь» целесообразно изложить как «средство измерений или измерительное устройство». Основываясь на примечании 2, в ИП выполняется преобразование одной физической величины в другую («аналоговые преобразователи»), или кода в физическую величину («цифро-аналоговые преобразователи»), или физической величины в код («аналого-цифровые преобразователи»). Целесообразно заменить этим описанием, как более точным, следующую часть текста определения ИП: «...служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал...».

Компьютерное моделирование электронных схем на базе микроконтроллеров AVR

Матвеенко И.П.

Белорусский национальный технический университет

Различные системы автоматизированного управления производственными и технологическими процессами, как правило, включают электронные схемы с использованием микроконтроллеров различных типов. Однако отладка работы реальных контроллеров оказывается затратной задачей, так как недостаточно только написать программу в определенной среде; необходимо с помощью программатора «прошить» процессор, т.е. записать в него разработанную программу, подключить к выходу контроллера исполнительные устройства, и лишь затем наглядно увидеть результат своей работы.

Для проведения компьютерного моделирования были использованы интегрированная среда разработки AVR Studio 6 и программа Proteus v7.7, с помощью которой можно проверить работу спроектированной электрической схемы. AVR Studio 6 предоставляет возможность осуществлять разработку и отладку программ для микроконтроллеров AVR. Программы пишутся на языке ассемблер или языке Си.

Создается проект в AVR Studio 6. Далее пишется программа. Для этого необходимо знать постановку задачи, т.е. что мы хотим получить на выходе микроконтроллера. Необходимо, чтобы микроконтроллер принял информацию, обработал по заданному алгоритму и выдал результат в понятной для нас форме. В простейшем случае, чтобы увидеть результат работы микроконтроллера, к его выходным портам подключают светодиоды, которые должны загораться в соответствии с алгоритмом.

Проводится компиляция программы и создание нового файла с расширением hex. Такой hex-файл необходим для прошивки реального микроконтроллера или для симуляции работы микроконтроллера в программе Proteus v7.7. Затем в Proteus собирается виртуальная электронная схема. В Proteus наряду с редактором электронных схем (ISIS) включен графический редактор печатных плат (ARES), который позволяет разместить печатную плату в соответствии с разработанной электронной схемой и создать реальное устройство.

Таким образом, используя интегрированную среду AVR Studio 6 и программу Proteus v7.7, получаем возможность достаточно легко проектировать электронную схему, включающую любой микроконтроллер AVR, провести её отладку и разводку платы. И только потом следует приступить к созданию реального устройства.

Непрерывное проектирование электронных устройств на основе программы схемотехнического моделирования PROTEUS

Матвеевко И.П.

Белорусский аграрный технический университет

В настоящее время большое значение приобрели методы математического моделирования и исследования электронных устройств на компьютере. К наиболее распространенным в настоящее время в отечественной практике системам и программам схемотехнического проектирования в электронике относятся системы Micro-Cap, Electronic WorkBench, MathLab, Proteus.

Однако, задача состоит не только в том, чтобы смоделировать схему и проверить ее работоспособность, – что делают все перечисленные программы, – но и создать модель будущего устройства, разместив элементы на плате, провести трассировку и увидеть макет устройства с использованием 3D-визуализации. Все это позволяет сделать программа Proteus. В Proteus наряду с редактором электронных схем (ISIS) включен графический редактор печатных плат (ARES), который позволяет развести печатную плату в соответствии с разработанной электронной схемой и создать реальное устройство.

Программа схемотехнического моделирования Proteus имеет большую библиотеку элементов, выпускаемых промышленностью, что позволяет ориентироваться на будущее реальное устройство, мощный графический редактор электронных схем, возможность оптимизации электронных схем путем изменения параметров элементов, возможность проверить работоспособность спроектированной схемы.

В данной работе были спроектированы некоторые практические схемы: прибор для контроля влажности почвы, определитель замыкания в кабеле, датчик уровня на основе графического индикатора.

После того, как схемы были смоделированы и проверены на правильность выполнения функций, элементы схем были виртуально размещены на платах и проведены трассировки каждой платы. Затем создавалось реальное устройство, которое работало так, как предполагалось перед разработкой схемы.

Таким образом, с помощью программы Proteus возможно непрерывное проектирование электронных устройств: от идеи до реального устройства.

**Размагничивающее устройство ферромагнитных изделий
с использованием комбинированных переходных процессов**

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.
Белорусский национальный технический университет,

Белорусский государственный аграрный технический университет

В приборах неразрушающего контроля (ПНК) часто применяются размагничивающие устройства (РУ), использующие получение размагничивающего тока в катушке размагничивания (КР) за счет переходного процесса при заряде или разряде конденсаторов. При заряде конденсаторов он происходит в замкнутом последовательном контуре, состоящем из источника переменного напряжения, токоограничивающего резистора, двух параллельно соединенных цепей, состоящих из первого сдвоенного ключа (ПСК), двух диодов, включенных противоположными полюсами к выходу ПСК, а с другой – последовательно с одним из двух конденсаторов, соединенных вместе с другой стороны, и КР. Колебательный процесс во второй КР происходит при разряде двух конденсаторов при включении второго ключа и последовательно соединенной с ним второй КР, включенной между точками соединения диодов и конденсаторов в перечисленном выше контуре. Для обеспечения симметричности размагничивающего тока блок запуска (БЗ) РУ, может содержать нуль-орган и блок четности полуволн переменного напряжения. Вначале БЗ включает ПСК и происходит первый цикл размагничивания (ЦР). Затем БЗ включает второй ключ и происходит второй ЦР. При этом последовательно соединенные с одной стороны заряженных два конденсатора переряжаются через второй ключ и соединенной последовательно с ним второй КР. Последовательно соединенные конденсаторы могут иметь отличия в номинальной емкости из-за заводских разбросов при изготовлении или не одинаковом временном старении. При этом при разряде последовательно соединенных этих двух конденсаторов конденсатор с большей емкостью окажется не полностью разряженным. Это приведет в дальнейшем к несимметричному заряду этих двух конденсаторов при следующем первом ЦР и ухудшению качества размагничивающего тока. Это может привести к повышению остаточной намагнитченности изделия и дополнительной погрешности при контроле изделий с помощью ПНК. Чтобы устранить перечисленный выше недостаток, РУ дополнительно снабжено третьим ключом и третьей КР. Причем соединения в РУ выполнены таким образом, чтобы конденсаторы во втором ЦР разряжались (перезаряжались) каждый через свой ключ, соединенный последовательно со второй или третьей КР. При этом

происходит более полный разряд двух конденсаторов и улучшается качество работы РУ при последующих ЦР.

УДК 621.3

Нетрадиционные пульсации в компенсационных стабилизаторах постоянного напряжения

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет

В различных приборах применяются современные интегральные и – в некоторых случаях на отдельных элементах – компенсационные стабилизаторы постоянного напряжения (КСПН). Высоки требования к пульсациям выходного напряжения КСПН в чувствительных приборах, усилители которых работают с входными сигналами в десятые, а то и сотые доли микровольта. Современные инженеры исследуют форму пульсаций (паразитных возбуждений и помех) выходного напряжения КСПН с помощью осциллографа. Например, подключив к выходу КСПН, питающегося от промышленной сети, радиоприемник в динамике можно услышать своеобразный шум помех с частотой 100 Гц с высокочастотной составляющей. При питании же приемника от батарей или аккумулятора такой шум отсутствует. Исследование причин таких помех показывает, что они возникают от сравнительно быстрого открывания и закрывания кремневых выпрямительных диодов. Замена кремневых выпрямительных диодов на германиевые уменьшает эти помехи. Более радикальное уменьшение этих помех дает шунтирование каждого выпрямительного диода керамическим конденсатором емкостью 0,01...0,1 мкФ, который уменьшает броски напряжения при включении и выключении выпрямительного диода. Подключив к выходу осциллограф на его экране можно наблюдать, кроме известной формы пульсаций, зависящей от типа выпрямителя, высокочастотную генерацию. Устраняют ее шунтированием конденсатором перехода база-коллектор усилителя на транзисторе, входящем в схему стабилизатора или установив конденсатор между выводами инвертирующей вход-выход операционного усилителя, применяемого в КСПН в качестве усилителя. Обычные стабилизаторы, используемые в КСПН в качестве источника опорного напряжения, имеют сравнительно большой шум, который проявляется и на выходе КСПН. Уменьшить такой шум можно заменой стабилизатора на переход база-эмиттер кремневого транзистора, включенного в обратном направлении и установив на выходе КСПН высокочастотный П-образный LC-фильтр.

Большую роль в форме и амплитуде своеобразных пульсаций играет

разводка общего провода. Проводить общий провод необходимо последовательно от выпрямителя к входному фильтру, к усилителю ошибки выходного напряжения, к выходному фильтру, и затем к нагрузке.

УДК 621.135

Способы сокращения расхода электроэнергии в строительстве

Счастливая Е. С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных способов сокращения непроизводительного расхода энергии в строительстве является рациональное использование электроэнергии в электроприводе. Одним из таких способов является увеличение коэффициента загрузки электрооборудования строительных машин и механизмов до номинальной мощности и повышение равномерности его работы. Расчет экономии электроэнергии в этом случае удобно вести, определяя ее удельный расход:

$$\Delta W = \frac{1}{\eta} \left[\frac{P_n}{\eta} + \frac{\alpha(1 - \eta)}{\eta} \right],$$

где η – КПД рабочей машины при номинальной загрузке; P_n – коэффициент нагрузки; η_0 – коэффициент использования рабочей машины; α – коэффициент, зависящей от типа и конструкции рабочей машины ($\alpha = 0,7 - 0,9$).

Значения η_0 и α определяются из выражений:

$$\eta_0 = \frac{P_n}{P_{ном}}; \quad \alpha = \frac{t_{заг}}{t_{хол} + t_{заг}},$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя; $t_{заг}$ – время работы механизма; $t_{хол}$ – время холостого хода.

При максимальном использовании рабочей машины, т.е. при отсутствии холостого хода ($\eta_0 = 1$) и полной нагрузке рабочей машины ($\alpha = 1$), удельный расход энергии будет минимальным:

$$\Delta W_{min} = \frac{1 + \alpha(1 - \eta)}{\eta}.$$

Отношение $\Delta W / \Delta W_{min}$ определяет увеличение удельного расхода электроэнергии в зависимости от нагрузки и продолжительности холостого хода электродвигателя:

$$\beta = \frac{\Delta W}{\Delta W_{min}} = \frac{1 + \alpha(1 - \eta)}{1 + \alpha(1 - \eta)}$$

Отсюда следует, что экономии электроэнергии можно достичь отключением электродвигателя, работающего вхолостую, повышением загрузки электродвигателя и увеличением КПД рабочей машины.

Пути энергосбережения в электроприводе

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Основные пути энергосбережения в электроприводе следующие.

Первый путь относится к простейшему и самому массовому неуправляемому электроприводе с короткозамкнутыми асинхронными двигателями и состоит в совершенствовании процедур выбора двигателей для конкретных установок.

Второй путь повышения экономичности массового нерегулируемого электропривода – переход на энергосберегающие двигатели, в которых повышены номинальные значения КПД и $\cos \varphi$. Указанная возможность даёт эффект, когда двигатель работает с практически постоянной нагрузкой.

Третий путь – создание дополнительных технических средств, обеспечивающих в нерегулируемом электроприводе наименьшие потери при отклонении нагрузки от номинальной. Эти технические средства – специальные регуляторы электрической энергии, включаемые между сетью и статором двигателя, кроме функций энергосбережения выполняют и другие, часто не менее важные функции: управляют режимами пуска и торможения, иногда регулируют скорость и момент, осуществляют защиту, диагностику и т.д. Иными словами, они в целом повышают технический уровень привода в целом, повышают его надёжность.

Четвёртый путь – переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому – объективный процесс, обусловленный повышением технического уровня оборудования, в котором используется электропривод, часто даёт возможность рационального решения энергетических задач. Нужно иметь в виду, что при переходе к регулируемому электроприводе экономия энергии часто достигается не за счёт собственного привода, а за счёт усовершенствования процесса, который привод обслуживает.

Пятый путь – учёт не только энергетических, но и других показателей качества работы электропривода.

Идя по любому пути энергосбережения, надо особое внимание уделять комплексному решению задач, а не ограничиваться пользой, полученной – и даже доказанной – в одном месте. При этом нужно иметь в виду, что нет универсальных решений, а в каждом *к р е* случае нужно выбирать одно лучшее решение.

**Повышение эффективности и надежности работы
ветроэнергетической установки**

Синяков А. Л., Александров А. Н., Дудников И. Л., Анисимов В. М.
Учреждение образования «Минский государственный высший
авиационный колледж»

В Республике Беларусь определено более ста точек, в которых могут быть установлены мощные ветроэнергетические установки (ВЭУ), преобразующие кинетическую энергию ветра при помощи ветроколес, повышающих редукторов и электрогенераторов в электрическую энергию переменного тока и начинающие работать при скорости ветра больше 4 м/с.

Разработаны простые по конструкции безредукторные ветроэнергетические установки (БВЭУ), которые вырабатывают электроэнергию при скорости ветра менее 4 м/с. БВЭУ содержит вертикальную опору, горизонтальную платформу, магнитоэлектрический генератор с внешним ротором, который приводится во вращение ветроколесом.

Для повышения эффективности работы БВЭУ снабжена дополнительным ветроколесом, которое вращает статор генератора в противоположную сторону вращения ротора генератора при помощи основного ветроколеса. При этом увеличивается в два раза величина ЭДС на статорной обмотке генератора. Конструкция этой БВЭУ защищена патентом ВУ №и 8843 F03D 9/00, 2012 г.

К недостатку этой БВЭУ следует отнести пониженную надежность работы, обусловленную изгибающим моментом, который создается генератором, прикрепленным к левой консоли горизонтальной оси.

Для повышения надежности работы БВЭУ снабжена дополнительным валом вращения, который прикреплен к внешнему ротору генератора, двумя высокопрочными стойками, которые прикреплены к горизонтальной платформе; при этом генератор расположен между высокопрочными стойками с возможностью вращения внешнего ротора и статора в противоположные стороны соответственно основным и дополнительным ветроколесами, и его центр тяжести находится на продольной оси вертикальной опоры.

Конструкция этой БВЭУ защищена патентом ВУ №и 9454 F03D 9/00, 2013 г.

**Повышение точности стабилизации напряжения
выпрямительной установки**

Синяков А. Л., Пляц О. М., Дудников И. Л., Анисимов В. М.
Учреждение образования «Минский государственный высший
авиационный колледж»

На самолетах гражданской авиации питание потребителей электрической энергией переменного тока осуществляется от первичных систем электроснабжения трехфазного переменного тока напряжением 200/115 В и частотой 400 Гц. Питание потребителей электрической энергией постоянного тока осуществляется от вторичных систем электроснабжения постоянного тока напряжением 27 В. Электрическую энергию постоянного тока для вторичных систем электроснабжения получают путем преобразования электрической энергии переменного тока первичной системы электроснабжения при помощи выпрямительных установок. В состав выпрямительной установки (ВУ) входят: трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр, а в некоторых случаях и регулятор напряжения постоянного тока. Существующая система стабилизации напряжения изменяет реактивное сопротивление дросселей насыщения, включенных последовательно с первичной обмоткой трансформатора в зависимости от величины тока нагрузки. Для повышения точности стабилизации напряжения ВУ система стабилизации дополнительно снабжена угольным регулятором напряжения, обмотка электромагнита которого через регулировочный резистор подключена к зажимам нагрузки, вторым дополнительным двухполупериодным трехфазным выпрямителем, к выходу которого подключен угольный столбик регулятора, а трехфазный трансформатор оборудован дополнительной первичной обмоткой, которая входами присоединена ко входам основной обмотки, а выходами – ко входу второго дополнительного трехфазного выпрямителя.

Благодаря дополнительному оборудованию система осуществляет стабилизацию напряжения на нагрузке также в зависимости от отклонения напряжения от нормируемого значения, что приводит к повышению точности стабилизации напряжения на нагрузке.

Конструкция модернизированной системы стабилизации напряжения ВУ защищена патентом Республики Беларусь (ВУ №u8982 Н02М 7/06, 2013).

Допустимые циклические нагрузки силовых масляных трансформаторов

Анищенко В.А., Иванов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Согласно Межгосударственного стандарта ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» нагрузки трансформаторов делятся на постоянные, циклические и кратковременные аварийные перегрузки. Режимы циклических нагрузок подразделяются на систематические неаварийные нагрузки и продолжительные аварийные перегрузки. При систематических нагрузках допускается определенное превышение номинальной нагрузки, если оно компенсируется снижением нагрузки в остальной части цикла. Работа в таких режимах гарантирует, как и при постоянных нагрузках, нормальное сокращение срока службы трансформаторов из-за термохимического износа изоляции обмоток. Продолжительные перегрузки приводят к усилению термохимического износа изоляции и сокращают срок службы.

Рекомендуемые стандартом допустимые продолжительности неаварийных перегрузок имеют невысокую точность. Это обусловлено принятыми допущениями о неизменности температуры охлаждающей среды в течение всего суточного цикла и представлении суточного графика нагрузки упрощенным двухступенчатым прямоугольным графиком. Проведенный анализ показал, что эти допущения могут привести к большим (до 2-х и более раз) погрешностям в определении допустимой продолжительности перегрузок. Неучет переменного характера предыдущей нагрузки и наступившей перегрузки ведет к недопустимому перегреву изоляции обмоток или неполному использованию потенциальной перегрузочной способности трансформаторов, что ограничит возможность полного удовлетворения запросов потребителей электроэнергии. Поэтому действующий стандарт настоятельно рекомендует потребителям делать свои собственные расчеты допустимых нагрузок на основе более реальных графиков нагрузки.

Предлагаемый алгоритм основан на использовании уравнения теплового баланса трансформатора и позволяет рассчитывать допустимую продолжительность перегрузки t_n с учетом изменений нагрузки в предшествующей появлению перегрузки части суточного цикла.

Практическая реализация алгоритма предполагается с помощью автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии.

УДК 621.3

Моделирование электропотребления при строительстве в зависимости от температуры окружающей среды

Василевский Ю.Л., Василевский Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь широко ведётся строительство промышленных и гражданских зданий и сооружений. Несмотря на то, что в нашей республике в осеннее-зимний период часто значительно ниже нулевой отметки по Цельсию, строительство ведётся круглогодично. Однако, некоторые технологические процессы, согласно требованиям технологических карт нельзя выполнять при отрицательных температурах окружающего воздуха без использования специальных мероприятий. К таким технологическим процессам можно отнести прогрев бетонной смеси на строительных площадках при возведении монолитных железобетонных конструкций, оштукатуривание, грунтование и окраска наружных фасадов и внутренних стен зданий и сооружений и другие процессы.

Для того, чтобы иметь возможность выполнять работы по возведению монолитных бетонных конструкций при отрицательных температурах воздуха наряду с использованием специальных химических добавок, позволяющих бетону набирать прочность при низких температурах наружного воздуха, также широко используется электропрогрев бетонной смеси в опалубках. На строительных площадках, когда отопительных контур ещё не введён в эксплуатацию, но уже полностью смонтирована коробка здания, для выполнения внутренних штукатурных работ в зимних условиях могут использоваться электроконвекторы. В случае если окна в здании ещё не установлены, то оконные проёмы на период выполнения отделочных работ закрываются целлофановым полотном. Следует учитывать также тот факт, что в осеннее-зимний период световой день короче, чем в летний. В связи с этим увеличивается потребление электроэнергии на нужды освещения. Если строительная площадка имеет бытовой городок, то необходимо будет учесть расход электроэнергии на обогрев временных бытовых помещений и освещение бытового городка.

Учитывая вышеизложенные факты и используя современный математический аппарат, можно построить динамическую математическую модель электропотребления на строительной площадке в зависимости от температуры наружного воздуха. Данная математическая модель позволит прогнозировать электропотребление строительных площадок в зависимости от конструктивных особенностей зданий и сооружений по всей стране.

Оптимизация режима электропотребления электрифицированных механизмов на строительных площадках

Василевский Ю.Л., Василевский Л.В.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь и за её пределами на строительных площадках имеется большое количество электрифицированных машин и механизмов. Данное электрооборудование наряду с электрическим освещением является основным потребителем электроэнергии на строительных площадках. Однако при отрицательных температурах наружного воздуха основная часть электроэнергии будет затрачиваться на электропрогрев.

В большинстве случаев на строительных площадках в качестве электропривода строительных машин и механизмов широко используются асинхронные двигатели различных типов. В связи с тем, что мощности электродвигателей каждого конкретного механизма рассчитываются на стадии проектирования используемых машин и механизмов, оптимизация электропотребления строительных машин и механизмов путём выбора наиболее оптимальных значений мощностей электродвигателей осуществляется на практике достаточно сложно.

В связи с вышеизложенным основными путями оптимизации потребления электроэнергии асинхронными двигателями на строительных площадках является применение микроконтроллеров для регулирования напряжения на незагруженных электродвигателях и применение частотных регулируемых электроприводов. Применение микроконтроллеров для регулирования напряжения позволит путём уменьшения напряжения на выводах двигателя в режиме минимальной загрузки (например, режимы близкие к режиму холостого хода) уменьшить потребление электрической энергии электродвигателями. Применение частотно-регулируемых электроприводов позволяет не только оптимизировать расход электроэнергии строительной машины или механизма, но и существенно оптимизировать режим его работы с учётом скорости вращения и требуемых моментов на валу электродвигателя во время его работы. Однако, в связи с тем, что стоимость систем с частотно-регулируемым электроприводом существенно дороже систем с микроконтроллерами для регулирования напряжения, применение систем с частотно-регулируемыми электроприводами должно быть экономически оправданно. Как правило, наиболее целесообразно устанавливать систему с частотно-регулируемыми электроприводами на двигатели подъёмных кранов.

Использование эффекта Холла в качестве индикатора величины вращающего момента генератора

Горноста́й А.В., Ролик Ю.А.

Белорусский национальный технический университет,
Институт транспорта и связи, Латвия

Во многих схемах управления ветроустановкой нагрузка генератора в пределах максимальной рабочей скорости ветра и номинальной мощности генератора регулируется ступенями для поддержания частоты вращения в рабочем диапазоне. Это, однако, не защищает ветроустановку от перегрузок при больших скоростях ветра.

На рис. 1 предложена функциональная схема управления ветроустановкой, выполненная на базе устройства ограничения вращающего момента, использующего в своей работе эффект Холла [1].

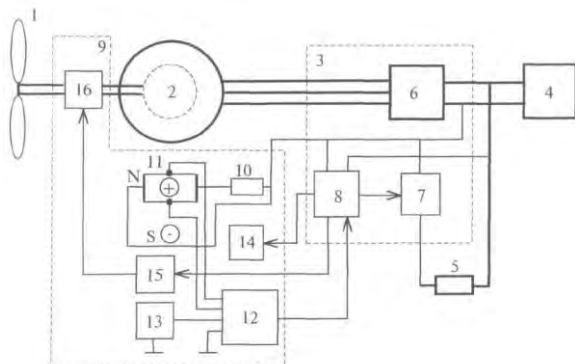


Рис. 1 Функциональная схема управления ветроустановкой

1 – ветродвигатель; 2 – генератор; 3 – блок управления; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – балластная нагрузка; 6 – выпрямитель; 7 – ключ; 8 – логический элемент; 9 – устройство ограничения вращающего момента; 10 – датчик управляющего тока; 11 – датчик Холла; 12 – пороговый усилитель; 13 – блок питания; 14 – блок сигнализации; 15 – исполнительный орган; 16 – тормозная муфта.

Литература:

1. Горноста́й А.В. Ветроэнергетическая установка/ А.В. Горноста́й, Ю.А. Ролик, А.А. Гончар – патент Республики Беларусь ВУ 6551 U 2010.08.30

Об одном способе повышения чувствительности устройства для регистрации полей в электроустановках

Горноста́й А.В., Ролик Ю.А.
Белорусский национальный технический университет,
Институт транспорта и связи, Латвия

Одним из способов снижения электротравматизма при эксплуатации электроустановок в системах электроснабжения промышленных предприятий является предупреждение обслуживающего персонала о приближении к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением. Для этого могут быть использованы различные технические устройства, регистрирующие наличие магнитных полей в работающих электроустановках. Важной характеристикой таких устройств является их чувствительность, т.е. способность регистрировать магнитные поля малой напряженности.

Один из вариантов реализации устройства для регистрации магнитных полей в работающих электроустановках предложен в [1]. В качестве датчика магнитного поля в устройстве использован волоконно-оптический интерферометр Маха-Цендера, в одно из плеч которого помещен световод с нанесенным на его поверхность покрытием из магнитоотрицательного материала, что обеспечивает появление сигнала рассогласования за счет изменения геометрических размеров световода с покрытием под действием магнитного поля электроустановки.

Предлагается усовершенствовать устройство [1] путем использования магнитоотрицательного покрытия световода в каждом из двух плеч интерферометра, но с противоположным эффектом магнитоотрицательности [2]. Это позволит сформировать сигнал рассогласования датчика магнитного поля при более низком пороге напряженности магнитного поля электроустановки и повысить чувствительность устройства.

Литература:

1 Горноста́й А.В. Устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения/ А.В. Горноста́й, Ю.А. Ролик – патент Республики Беларусь ВУ 6501 U 2010.08.30

2. Горноста́й А.В. Устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения/ А.В. Горноста́й, А.А. Гончар, И.Ю. Горновский, Н.Н. Кульчинский – патент Республики Беларусь ВУ 9658 U 2013.10.30

**Применения трансформаторов со специальными схемами
соединения обмоток для снижения несимметрии напряжений
в сетях 0,4 кВ сельскохозяйственного назначения**

Збродыга В.М., Зеленькевич А.И., Збродыга М.П.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

При выборе средств симметрирования напряжений наиболее рационально в первую очередь задействовать уже имеющиеся в электрических сетях технические средства.

Для обеспечения симметрии напряжений при несимметричной нагрузке возможно применение на подстанциях 10/0,4 кВ трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда-зигзаг с нулевым проводом» и «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством» (ТМГСУ). При этом следует учитывать, что трансформаторы со схемой «звезда-зигзаг с нулевым проводом» и нечетной группой соединения обмоток не могут работать параллельно с трансформаторами «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством», имеющими четную группу.

Авторами предложен трехфазный симметрирующий трансформатор со схемой «звезда-зигзаг с нулевым проводом» с четной группой соединения обмоток [1]. Первичные обмотки трансформатора соединены по схеме «звезда». Вторичные обмотки состоят из трех частей, которые размещены на разных стержнях магнитопровода и включены последовательно, с соотношением числа витков $1/2 : 1/4 : 1/4$.

Вторичное напряжение трансформатора равно геометрической сумме напряжений трех частей обмотки, находящихся на разных стержнях магнитопровода.

Предложенный трехфазный трансформатор имеет четную группу соединения обмоток и обладает симметрирующими свойствами схемы «звезда-зигзаг с нулевым проводом». Он обеспечивает симметрию напряжений при несимметричном характере нагрузки, а также возможность параллельной работы с трансформаторами «звезда-звезда с нулевым проводом».

Литература:

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01F 30/12 / А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

Устройство для симметрирования напряжений в сетях 0,4 кВ

Янукович Г.И., Збродыга В.М., Королевич Н.Г., Збродыга М.П.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Обеспечение надлежащего качества электроэнергии позволяет повысить эффективность производства, а для населения – создать комфортные условия жизни. При решении этой задачи необходимо исходить из сопоставления ожидаемого эффекта от намеченных мероприятий по улучшению качества электроэнергии и неизбежных при этом дополнительных затрат.

Одним из важнейших показателей качества электроэнергии является несимметрия напряжений. Снижение несимметрии напряжений достигается уменьшением сопротивления сети токам обратной и нулевой последовательности или снижением этих токов.

Снижение систематической несимметрии напряжений в распределительных сетях осуществляется равномерным распределением однофазных нагрузок между фазами.

Если несимметрия напряжений не может быть уменьшена путем схемных решений (в случае вероятностной несимметрии), требуется применение специальных технических средств, которые можно разделить на следующие основные группы:

1. Технические средства, воздействующие на уменьшение сопротивления нулевой последовательности сети;
2. Технические средства, предназначенные для снижения токов нулевой последовательности сети;
3. Технические средства, предназначенные для снижения токов обратной последовательности;
4. Комбинированные технические средства для снижения токов обратной и нулевой последовательности.

Авторами предложено устройство для симметрирования напряжений в сетях 0,4 кВ, которое состоит из магнитопровода и расположенных на нем трех обмоток. Все три обмотки выполняются с одинаковым количеством витков. Начала обмоток подключаются к источнику питания (питающему трансформатору), а концы – к линиям электропередачи с несимметричной нагрузкой.

При работе трансформатора с таким симметрирующим устройством большее значение тока в некоторых фазах будет трансформироваться в другие фазы, где ток меньший. Это приводит к перераспределению токов по фазам при несимметричной нагрузке, что существенно повышает качество напряжения.

Влияние режима электрической сети на качество освещения

Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Режим работы сети наружного освещения определяется уровнем напряжения на светильниках, способами и средствами реализации систем управления. Перечисленные факторы напрямую влияют на качество освещения, которое проектируется и эксплуатируется на основе [1; 2].

Для минимизации расходов на электроэнергию необходимо стремиться к созданию оптимальных режимов работы осветительных сетей. Осуществлять экономию электроэнергии в управляемом наружном освещении возможно с применением технических решений, основанных на отключении части светильников и на диммировании (светорегулировании).

При отключении части светильников (управлении по фазам) возникают тёмные зоны, что приводит к неравномерности освещённости покрытия. Такой способ управления значительно ухудшает качество наружного освещения.

Диммирование реализуется регулированием напряжения, в результате которого происходит снижение светового потока ламп в зависимости от времени суток. При таком управлении производится изменение общего уровня освещённости, не создавая темных участков.

Применение тех или иных способов регулирования светового потока основано на факторах, на которых формируется режим управления. К таким факторам в наружном освещении можно отнести уровень естественной освещённости (погодные условия), интенсивность дорожного движения.

В зависимости от используемых технических средств регулирование светового потока бывает дискретным и плавным. Но ключевым моментом работы газоразрядных ламп высокого давления, на который особенно обращают внимание производители светотехнического оборудования, является то, что лампы должны всегда зажигаться в номинальном пусковом режиме.

Литература:

1. ТКП 45-2.04-153-2009 Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2010.– 100 с.
2. ТКП 45-4.04-287-2013 Наружное освещение городов, поселков и сельских населенных пунктов. Правила проектирования. – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2013. – 19 с..

Способы оценки рабочего ресурса светодиодных источников света

Козловская В.Б.

Белорусский национальный технический университет

Под сроком службы источника света понимают время до снижения светового потока ниже допустимых пределов. Наиболее распространенное значение срока службы светодиодных источников света, которое указывается в рекламных материалах – 50000 часов. Основными факторами, влияющими на срок службы светодиода, являются деградация кристалла, старение люминофора, механические деформации, внутренние напряжения в корпусе и т.п., а также помутнение первичной оптики. Деградация кристалла приводит к снижению мощности излучения. При получении белых светодиодов может применяться люминофор. Однако, это более дорогой и обладающий бо льшим сроком службы люминофор, чем тот, который применяется в люминесцентных лампах. В светодиоде деградация люминофора определяется в основном температурой. Деградация люминофора приводит к уменьшению яркости светодиода и к изменению оттенка его свечения. Механические деформации возникают как в результате нарушения технологии производства, так и в процессе эксплуатации светодиода при температуре, превышающей максимально допустимое значение. Первичная оптика светодиодов изготавливается из пластмассы или силикона. Помутнение этих материалов может быть вызвано действием ультрафиолета или сильным перегревом. Однако, многие современные типы светодиодов вообще не имеют первичной оптики.

Таким образом, понятно, что основной проблемой, вызывающей снижение рабочего ресурса светодиодов, является нарушение температурного режима при эксплуатации, который в значительной степени определяется конструкцией светильника. Поэтому следует учитывать срок службы всего светильника, а не только светодиода. Срок службы светильника определяется не только качеством используемых светодиодов, но и параметрами других узлов конструкции. В случае применения современных материалов, электронных компонентов, соответствующего драйвера и системы охлаждения возможно получить светильник со сроком службы, сопоставимый со сроком службы светодиодов, заявленным производителем. Однако, выполнение этих условий требует значительных инвестиции в исследования и производство.

Оценка целесообразности использования различных источников света в наружном освещении

Козловская В.Б., Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Мероприятия по электросбережению в наружном освещении базируются на использовании энергоэффективного оборудования.

Использование конкретного типа источника света зависит от функционального назначения светильника, которое может быть утилитарным, архитектурно-художественным, светорекламным и витринным. Каждая из групп пользователей (пешеходы, водители, жители и т.д.) характеризуется своими требованиями к источникам света.

При сравнении вариантов использования установок наружного освещения учитываются капитальные затраты на всё осветительное оборудование, затраты на монтаж и на обслуживание в процессе эксплуатации, тарифы на электроэнергию. Целесообразность использования различных источников света оценивается на основании способности к созданию необходимой световой среды на протяжении длительной работы при наименьшей величине капитальных и эксплуатационных затрат.

Сравнивая различные варианты использования тех или иных осветительных установок, необходимо учитывать капитальные затраты на всё оборудование наружного освещения, затраты, связанные с монтажом и дальнейшим его обслуживанием, тарифы на электроэнергию.

В Беларуси преобладают в наружном освещении светильники с лампами типа ДНаТ, ДРЛ, ДРИ. При использовании светильников с традиционными ртутными и натриевыми источниками света ежегодные эксплуатационные расходы на наружное освещение превышают первоначальные капитальные затраты. Наименьшие эксплуатационные расходы у светодиодных светильников за счёт значительного полезного срока службы и меньшей потребляемой мощности. Стоимость светодиодных светильников зависит от мощности, типа исполнения и больше в 6-10 раз, чем у светильников с газоразрядными лампами высокого давления с аналогичной величиной светового потока.

Перспективность на сегодняшний день широкого использования светодиодных светильников в наружном освещении можно объяснить высокой световой отдачей (100–150 лм/Вт и более), сроком службы (30–50 тыс. часов), работой в широком диапазоне температур, возможностью регулирования светового потока и цветовой температуры в широком диапазоне, относительно малыми затратами на обслуживание.

**Зонная концепция ограничения перенапряжения и помех
в системах электроснабжения**

Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Зонная концепция ориентируется на предельные электромагнитные источники помех, а именно, на прямые удары молнии в защищаемое здание с электронным оборудованием, и поэтому предусматривает мероприятия по защите от перенапряжений. Одновременно при выполнении требований по защите от атмосферных перенапряжений и коммутаций обеспечивается защита от ядерного электромагнитного импульса.

Согласно зонной концепции сети электроснабжения разделяют на характерные участки (зоны) с разными электромагнитными условиями, например, до выводов высшего напряжения трансформатора на ТП; от выводов низшего напряжения трансформатора до вводного устройства (панели); от вводного устройства до распределительных устройств, устанавливаемых в помещениях здания и далее до конечного приёмника. На границах зон устанавливаются защитные устройства, которые могут иметь различные входные и выходные характеристики (заградительные диоды, лавинные диоды, варисторы, газовые разрядники или искровые промежутки, экраны). Сеть электропитания может содержать четыре ступени ограничения перенапряжений, что позволяет защитить любые технические устройства. Это достигается тем, что строительные сооружения и их оснащение выполнены в соответствии с зонной концепцией, где первичная металлическая конструкция строительного сооружения используется в качестве экрана. Подобная экранная структура образуется, например, стальной арматурой крыши, стен, полов здания, а также стальными каркасами, решетками. Эта экранирующая структура образует электромагнитный экран с отверстиями (за счет окон, дверей, вентиляционных отверстий, шага сетки в арматуре, отверстий для линий электроснабжения и т. п.). Она должна работать непосредственно рядом с молниеприемниками, спусками, заземляющими проводами.

В зонную концепцию входят вопросы, связанные с техникой выполнения молниезащиты, с выравниванием потенциалов и определением областей, в которых электромагнитные условия не опасны для электронного оборудования. концепция должна способствовать выполнению требований стандартов, прежде всего, определить класс защиты. Международной электротехнической комиссией устанавливаются испытательные напряжения в зависимости от зоны и номинального

напряжения электрооборудования.

УДК.622.3

Особенности автономного режима работы миниэнергокомплексов

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Создание мощных электрических систем на государственном уровне поставило вопросы надёжности электроснабжения на этот же уровень. Такие вопросы, как совместимость потребителя и источника электрической энергии, влияние параметров, мощности потребителя, условия пуска, регулирования его в соответствии с режимом работы электрической системы, экономичность работы приёмников в зависимости от параметров электрической системы практически не рассматривались или имели второстепенное значение.

Ситуация коренным образом меняется с появлением миниэнергокомплексов и приобретения ими права активного включения в производство как электрической, так и тепловой энергии. Общетеchnические требования к любой технологической установке (минимум массогабаритных размеров, минимум капитальных затрат, автоматизация её работы, постоянство параметров продукции и максимум КПД) приобретают для миниэнергокомплексов особую остроту. Можно отметить следующие требования, предъявляемые к работе автономных миниэнергокомплексов: надёжное самовозбуждение генератора; надёжный запуск электроприводов мощностью, соизмеримой с генерирующей установкой; поддержание стабильного напряжения; возможность автоматической работы установки и обеспечения её целостности в аварийных режимах. Для выполнения указанных требований необходим большой объем целенаправленных научных исследований и аппаратная реализация специфической контрольно-измерительной аппаратуры. При автономном режиме с возможностью включения на параллельную работу нескольких автономных комплексов добавляются также требования поддержания постоянной частоты ЭДС, наличия приборов для реализации синхронизации, возможности перевода нагрузки с одной установки на другую, обеспечение статической и динамической устойчивости работы полученной системы. Определяющим фактором, ставящим миниэнергетику на новый уровень развития, являются достижения промышленной электроники и микропроцессорной техники, позволяющие непрерывно совершенствоваться и упрощать измерительные системы, системы защиты, автоматизации, синхронизации миниэнергокомплексов, по-новому решать вопросы автоматизированного и дистанционного

управления агрегатами.

УДК 621

Специальные трансформаторы для обеспечения электроснабжения погружных насосов добычи нефти ОАО "МЭТЗ им. В.И. Козлова"

Лосев А.В., Кочетков А.А., Леус Ю.В.

Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова

На ОАО «МЭТЗ им. В.И. Козлова» по заказу нефтедобывающей отрасли выпускаются трансформаторы ТМПН(Г) серийно мощностью от 40 до 1524 кВА. В последнее время наметилась тенденция при разработке новых трансформаторов придерживаться мощностного ряда по ГОСТ 9680. В связи с очень широкой номенклатурой погружных электродвигателей производители трансформаторов ТМПНГ, по требованиям нефтедобывающих компаний, стараются выпускать трансформаторы с универсальными характеристиками. Это выражается в широком мощностном ряду трансформаторов, глубокой степени регулирования выходного напряжения (до 49 ступеней), различных мощностных характеристиках в диапазоне регулирования напряжения, возможности работы от частотного преобразователя, (трансформатор может работать как в сетях с частотой 50 Гц, так и с частотным преобразователем при условии сохранения закона $U/f = \text{const}$ до достижения U номинального) и других особенностях.

Трансформаторы с такими техническими характеристиками имеют высокие потребительские свойства. Широкий выбор по мощностям и диапазонам позволяют заказчикам в максимальной степени точно подобрать необходимое оборудование, учитывая также перспективы его эксплуатации. Применение таких трансформаторов позволяет:

- повысить коэффициент использования трансформаторов, снизить непроизводственные расходы (поскольку применение трансформаторов с особыми техническими характеристиками ведет к уменьшению парка трансформаторов, а также сводит к минимуму количество замен трансформаторов на промыслах по технологическим причинам);

- максимально приблизить напряжение на ответвлениях трансформатора к номинальному напряжению электродвигателя с учетом падения напряжения в кабеле с целью иметь характеристики двигателя близкие к номинальным, что позволяет эксплуатировать его с максимальной эффективностью.

Продукция соответствует межгосударственным стандартам, имеет сертификаты соответствия национальных систем сертификации Республики Беларусь и Российской Федерации.

Сланцевый газ – возобновляемый источник энергии?

Олешкевич М.М., Прокопенко Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Сланцевый газ — это разновидность природного газа, хранящегося в толще сланцевого слоя осадочной породы Земли в небольших газовых образованиях, коллекторах. Спорной считается версия о возобновляемости сланцевого газа, связанная с гипотезой о водородной дегазации Земли. Согласно этой гипотезе, метан в сланцах образуется постоянно, с глубокой древности, в связи с реакцией водорода, поднимающегося из глубин Земли. Для сланцевых залежей характерно то, что они встречаются на всех континентах; таким образом, любая энергозависимая страна может себя обеспечить необходимым энергоресурсом.

Современная технология добычи сланцевого газа включает бурение вертикальной скважины глубиной до 4000-5000 м и нескольких горизонтальных скважин длиной до 1500-2000 м, в которые затем при температуре более 150⁰С под давлением 60-70 МПа закачивается смесь воды (7500 т), песка и химикатов (80-300 т). Происходит гидроудар и гидроразрыв пласта. Разрушаются стенки газовых коллекторов, и весь доступный газ через разрыв и пробуренную скважину откачивается на поверхность. Гидравлический разрыв позволяет соединить поры плотных пород и обеспечить возможность высвобождения природного газа. Химическая смесь предназначена для подавления коррозии, снижения трения, стабилизации глин, подавления образования отложений, разрушения эмульсий, разжижения, подавления водных бактерий, и др. Она включает около 85 токсичных веществ. Это приводит к появлению в скважинной воде множества примесей, вредных для человека. Вред, наносимый экологии региона сланцевого бассейна носит характер экологической катастрофы. Наиболее богатые сланцевые месторождения имеют большую глубину залегания и отличаются высоким уровнем гамма-излучения, в результате чего происходит повышение радиационного фона местности. Есть предположение, что применение гидроаэриза сопровождается небольшими землетрясениями. Основные промышленно-разрабатываемые газосланцевые месторождения сосредоточены в США. В США также разработаны и технологии добычи сланцевого газа. Это связано с относительно небольшими доказанными запасами природного газа и большими объемами его добычи, в результате чего ресурс природного газа в США составляет всего 10 лет.

Ведется разведка месторождений сланцевого газа в Канаде, Европе,

Австралии, Израиле, Украине, Польше, а также других странах. Интерес к сланцевому газу проявляется и в Беларуси.

УДК 621.32

Светодиоды: за или против

Сацкевич В.Н., Михайлова Я.В., Якубашко Н.Ч.
Белорусский национальный технический университет

По сравнению с традиционными лампами светодиоды (СД) обладают рядом преимуществ, которые в зависимости от области применения освещения дают те или иные выгоды. Основные их них:

- 1 Экономичное потребление энергии;
- 2 Виброустойчивость;
- 3 Богатая цветовая гамма;
- 4 Практически «вечный» срок службы – до 100 тысяч часов и более, то есть 11 лет непрерывной работы;
- 5 Механическая надежность и прочность – светодиод не требует стеклянной колбы;
- 6 Отсутствие инерционности.

Обратим внимание на их недостатки:

1) Самый существенный недостаток ламп такого типа – это их очень высокая цена;

2) Практика показывает, что срок в 100 000 часов не является действительным. Сам производитель дает гарантию на срок 3-5 лет, а вовсе не на 11. Причина в том, что существует явление деградации – тихого умирания кристаллов светодиодов;

3) В отличие от традиционных источников света, светодиоды не излучают тепло, а проводят его в направлении от р-п перехода к расположенному на корпусе СД. Именно сложности создании компактной и эффективной системы теплоотвода и сдерживают появление на рынке светодиодных ламп;

4) Немаловажный фактор, влияющий на срок жизни светодиода, – это значение тока, поданного на него. Пропускание через СД максимального тока не приводит к существенному увеличению светового потока, а лишь ускоряет деградацию кристалла. При повышенном токе срок службы изделия уменьшается, а при пониженном – увеличивается;

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что СД обладают рядом неоспоримых преимуществ, но, несмотря на это, обладают недостатками, которые так или иначе необходимо учитывать при эксплуатации. Поэтому каждый потребитель сам делает выбор о целесообразности применения светодиодов.

Определение значений переменных, замещающих недостоверные измерения

Анищенко В.А., Немкович А.С.

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения надежной работы систем автоматического регулирования необходимо оперативно замещать недостоверные результаты измерений входных переменных их наиболее вероятными значениями. Показателем качества замещения является дисперсия рассогласования замещающего $x_{\text{зам}}(t)$ и неизвестного истинного значения измеряемой переменной $x(t)$. Источниками информации для определения замещающего значения могут быть априорные границы истинных значений переменной в нормальных условиях работы, экстраполированное значение переменной, уравнение связи между переменными. Если известны верхняя $x_{\text{в}}(t)$ и нижняя $x_{\text{н}}(t)$ границы, в которых находится истинное значение переменной, замещающее значение определяется как среднее в указанном диапазоне

$$x_{\text{зам}}(t) = \frac{1}{2} \cdot (x_{\text{н}}(t) + x_{\text{в}}(t)).$$

Замещающее значение можно получить с помощью оптимального экстраполирующего фильтра. Экстраполированное значение переменной на выходе фильтра принимается в качестве замещающего значения

$$x_{\text{зам}}(t) = x_{\text{о}}(t) = k_1(t - \tau) + k_2 \frac{dx(t - \tau)}{dt}.$$

Дисперсия погрешности замещения

$$D_{\text{зам}} = (1 - k_1^2 - k_2^2 \frac{\alpha}{T}) D_x,$$

где D_x – дисперсия случайных колебаний переменной; T – постоянная времени, характеризующая степень сглаживания случайных колебаний контролируемой переменной; α – коэффициент затухания автокорреляционной функции.

Дисперсия погрешности замещения в этом случае определяется как сумма дисперсий погрешностей достоверных измерений.

Окончательно в качестве замещающего значения принимается его средневзвешенное значение.

Оценка снижения потерь мощности в системе электроснабжения при установке батарей конденсаторов

Радкевич В.Н., Тарасова М.Н.

Белорусский национальный технический университет

На промышленных предприятиях основным средством компенсации реактивной мощности являются конденсаторные батареи (КБ), устанавливаемые на напряжении до 1 кВ. Они позволяют повысить пропускную способность силовых трансформаторов и линий электропередачи по активной мощности, снизить потери мощности и электроэнергии. Решение о целесообразности применения КБ в сетях промышленных предприятий принимается при проектировании систем электроснабжения (СЭС). В процессе эксплуатации при изменении структуры электроприемников и увеличении реактивной нагрузки предприятия снизить нагрузку трансформаторов можно, увеличив их номинальную мощность, а линий электропередачи, – повысив сечение токопроводящих жил. Это приводит к уменьшению потерь мощности в элементах СЭС, но связано с существенными капитальными затратами.

Меньших денежных затрат требует установка дополнительных средств компенсации реактивной мощности на напряжении до 1 кВ. Однако при этом имеют место диэлектрические потери мощности в КБ. Удельные потери мощности в низковольтных КБ составляют около 4 кВт/Мвар. Если величина, на которую снижаются потери мощности в трансформаторах и линиях электропередачи за счет установки КБ меньше или равна потерям в самих батареях, то потребитель не получает эффекта от применения дополнительных средств компенсации реактивной мощности. Следовательно, установленные на предприятии КБ, на которые затрачены денежные средства, для потребителя не окупаются.

Снижение потерь мощности происходит также и в сетях энергоснабжающей организации. Если учитывать величину снижения потерь мощности в электрических сетях промышленного предприятия и энергосистемы, то в целом установка КБ приводит к положительному результату. В условиях социалистической системы хозяйствования с народнохозяйственной точки зрения безразлично, кто получает выгоду от снижения потерь электроэнергии в электрических сетях. Иная ситуация имеет место при рыночных отношениях субъектов хозяйствования, когда дополнительные затраты на компенсацию реактивной мощности увеличивают себестоимость продукции предприятия. В связи с этим следует производить расчеты по оценке степени снижения потерь мощности в СЭС при установке дополнительных КБ.

Повышение эффективности абсорбционных холодильников

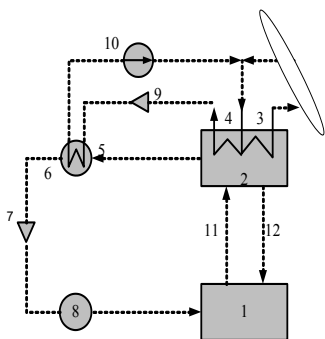
Олешкевич М.М., Руденя А.С.

Белорусский национальный технический университет

Абсорбционные холодильные агрегаты относятся к группе теплоиспользующих холодильных машин. Для их привода используется не электрическая, а более дешевая тепловая энергия. Особенно эффективно их применение там, где имеются источники теплоты в виде вторичных энергоресурсов (отработанного пара, горячей воды, дымовых газов, теплоты химических реакций и т.п.), а также солнечная энергия. Недостатками известных абсорбционных холодильников являются: низкая эффективность вследствие больших потерь тепла в конденсаторе и отсутствия компрессоров, обеспечивающих принудительную быструю циркуляцию хладагента, а также

громоздкость и сложность конструкции.

С целью повышения КПД абсорбционных холодильников и уменьшения габаритных размеров разработана и запатентована новая конструкция. На рисунке показана его принципиальная блок-схема, где: 1 – абсорбер, 2 – парогенератор, 3 – подогреватель получающий тепло от Солнца или другого источника, 4 – подогреватель парогенератора, являющийся одновременно конденсатором теплового насоса, 5 – испаритель теплового насоса, 6 – конденсатор абсорбционного холодильника, 7 – редуктор абсорбционного холодильника, 8 – испаритель холодильника 9 – редуктор теплового насоса, 10 – компрессор теплового насоса, 11 – канал прокачки раствора абсорбента из абсорбера в парогенератор, 12 – дополнительный канал прокачки концентрированного раствора абсорбента из парогенератора в абсорбер. Испаритель теплового насоса обеспечивает возможность забрать тепло от конденсатора абсорбционного холодильника и передать его с помощью конденсатора теплового насоса парогенератору холодильника. Возврат тепла от конденсатора абсорбционного холодильника парогенератору с помощью теплового насоса позволяет повысить КПД установки. Повышение эффективности абсорбционного холодильника приводит к уменьшению его габаритов.



Возврат тепла от конденсатора абсорбционного холодильника парогенератору с помощью теплового насоса позволяет повысить КПД установки. Повышение эффективности абсорбционного холодильника приводит к уменьшению его габаритов.

Способы снижения нерационального расхода электроэнергии электродвигателями

Радкевич В.Н., Воробей В.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время асинхронные двигатели (АД) широко применяются в качестве электропривода большинства механизмов. Они потребляют около половины всей вырабатываемой в мире электроэнергии. В связи с этим задача рационального использования электродвигателей на производственных объектах имеет первостепенное значение.

Важнейшим организационно-техническим мероприятием, устраняющим нерациональный расход электроэнергии АД, является правильный выбор их номинальных мощностей. Поэтому при проведении плановых замен АД в обязательном порядке следует приводить установленную мощность двигателей в соответствие с требованиями технологии. Данная задача особенно актуальна при использовании нерегулируемых электроприводов, которые до настоящего времени преобладают в промышленности.

Другим способом снижения потерь электроэнергии является переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому. Использование систем «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» позволяет включить в контур регулирования ряд технологических параметров (давление, расход, температура и т.д.), благодаря чему появляется возможность управлять технологическими процессами в автоматическом режиме, снижая тем самым потребление электроэнергии. Данное направление применимо, в первую очередь, к электроприводам турбомеханизмов, большую часть которых составляют насосы.

Некоторые виды оборудования в силу особенностей технологического процесса работают со значительными периодами холостого хода и малых нагрузок. Сбережение энергии в этих случаях обеспечивается за счет применения ограничителей холостого хода, отключающих АД от сети, если их загрузка соответствует режиму холостого хода, а во время малых нагрузок энергосбережение достигается путем переключения обмоток статора АД со схемы треугольника на схему звезды.

Асинхронные и синхронные электродвигатели имеют максимальный коэффициент полезного действия при номинальном напряжении и коэффициенте загрузки примерно равном 0,7. Повышение сверх номинального значения напряжения, подводимого к зажимам двигателей, приводит к увеличению потерь электрической энергии в электродвигателях переменного тока.

**Технико-экономический анализ подходов к внедрению
когенерационных энергоустановок
на молочных заводах Республики Беларусь**

Семашко С.А.

Белорусский национальный технический университет

При анализе специфики молочного производства следует обратить внимание на высокую долю потребления тепловой энергии в структуре общего энергопотребления предприятия. Данный показатель, выраженный в одинаковых с электроэнергией, единицах достигает 85% от общего объёма. Не вызывает сомнения отличия в требуемой тепловой энергии для осуществления пастеризации молока при температуре 76°C и его сушки, которая проходит при значениях около 180°C. В первом случае, достаточным энергоносителем может выступать сетевая вода, когда как во втором – представляется трудным обойтись без котла-утилизатора для экономии природного газа на генерации водяного пара. Таким образом, применительно к когенерационным энергоустановкам, главная аспектом целесообразности установки – это возможность наиболее полного использования всей произведённой тепловой энергии. Подводя итог, следует отметить что, наиболее целесообразным является установка когенерационных энергоустановок около значительных потребителей тепловой энергии, которыми являются сушильная камера и котельная.

Агрегаты (ГПА) выгодно выделяются на фоне газотурбинных (ГТУ) вследствие следующих главных факторов:

- диапазон единичных мощностей ГПА лучше соответствуют электрическим нагрузкам на рассматриваемых предприятиях, где установленная мощность, как правило не превышает 5 МВт;

- ГПА подвержены меньшему изменению КПД в зависимости от температуры окружающей среды;

- ГПА не требуют наличия «дожимного» компрессора и понижающего редуктора, что уменьшает их стоимость;

- электрический КПД газотурбинных установок уступает ГПА;

- КПД газопоршневого менее чувствителен к уменьшению нагрузки.

Все перечисленные выше факты имеют определяющее значение при выборе типа когенерационной энергоустановки подходящей для молокоперерабатывающего завода.

Сравнительная оценка методов определения центра электрических нагрузок

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

При построении систем электроснабжения (СЭС) производственных объектов важнейшим вопросом является размещения подстанций и распределительных пунктов (РП). Размещение подстанций и РП должно соответствовать наиболее рациональному сочетанию капитальных затрат на сооружение СЭС и эксплуатационных расходов. В нормативно-технической документации выбор места размещения подстанций и РП не регламентируется, однако, на основании опыта эксплуатации СЭС и ряда исследований, подстанции рекомендуется располагать ближе к центру электрических нагрузок (ЦЭН), а распределительные пункты смещать относительно ЦЭН на границу питаемых ими участков сети таким образом, чтобы не было обратных потоков энергии.

Существует ряд математических методов, позволяющих аналитическим путем определить центр электрических нагрузок как отдельных цехов или их группы, так и всего производственного объекта в целом. Была произведена сравнительная оценка большинства существующих методов определения ЦЭН и проанализирована область применения каждого из них. Наиболее простым и наглядным является метод расчета центра масс (центра тяжести), использующий некоторые положения теоретической механики, а также метод медиан. Данные методы легко реализуются на практике, но дают результаты с низкой точностью, так как погрешность составляет порядка 10%. Широко распространены численные методы (сопряженных градиентов, крутого восхождения, случайного поиска, симплексный и др.), позволяющие решать задачи оптимизации, где целевая функция принимает наименьшее значение в ЦЭН. Данные методы трудоемки и требуют автоматизации, однако их погрешность не превышает 5%. Перечисленные методы определения ЦЭН сводятся к нахождению некоторой постоянной точки на генплане производственного объекта, что не всегда правильно, так как положение ЦЭН может меняться из-за ряда факторов (изменение графика нагрузки, внедрение нового оборудования и технологий и т.п.). Правильнее определять область рассеяния ЦЭН, нахождение которой может быть выполнено с помощью математических методов (линейного, динамического программирования и т.д.) или же методом потенциальных функций, который также позволяет разбить электроприемники на группы по источникам питания или узлам распределения, так чтобы был удовлетворен критерий оптимальности.

Анализ последствий от смещения трансформаторных подстанций относительно их оптимального месторасположения

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Практика проектирования и эксплуатации систем электроснабжения (СЭС) производственных объектов показывает, что размещение трансформаторных подстанций (ТП) в области рассеяния центра электрических нагрузок (ЦЭН), которая является оптимальным месторасположением с точки зрения минимума приведенных затрат на сети обоих напряжений, не всегда возможно по ряду причин. Это может быть связано с попаданием области рассеяния ЦЭН на территорию какого-либо производственного помещения, невозможностью разместить ТП по техническим, геологическим, архитектурным условиям, из-за наличия ограничений вводимых нормативно-технической документацией и др. Таким образом, возникает задача оценки последствий от смещения ТП относительно их оптимального месторасположения, с целью принятия окончательного решения по размещению ТП.

Исследования показывают, что смещение ТП относительно их оптимального месторасположения приводит к ухудшению технико-экономических показателей СЭС. Месторасположение ТП влияет на стоимость питающих и распределительных сетей, на потери электрической энергии и её качество, в частности на отклонения напряжения на зажимах электроприёмников. Стоит отметить, что уменьшение затрат на распределительную сеть приводит к увеличению затрат на питающую сеть, однако в большинстве случаев в меньшей степени.

Существуют методики, согласно которым территория проектируемого объекта разбивается на отдельные зоны в виде окружностей с центром в области рассеяния ЦЭН, которые являются зонами увеличения приведенных затрат. Смещение ТП на одно и то же расстояние от ЦЭН в любом направлении создаёт одинаковое увеличение приведенных затрат, что из-за отсутствия учета ряда факторов зачастую не соответствует действительности и приводит к низкой точности данных методик. Для анализа последствий от смещения ТП предлагается метод, основанный на определении величины приведенных затрат на электрические сети исходя из построения кратчайшей сети с учетом установленных ограничений одним из численных методов (динамического программирования, эквилонгальных линий и т.д.), для намечаемого месторасположения ТП. Этот метод позволит значительно повысить точность расчетов. Для его реализации требуется разработка специального программного обеспечения.

**Алгоритм пересчета таблиц прямого хода
метода динамического программирования
в задаче оптимального распределения нагрузок
между агрегатами электростанций**

Домников С.В., Згаевская Г.В.

Белорусский национальный технический университет

В докладе показано, что учет изменений различных факторов в цикле оперативного управления можно значительно ускорить, если использовать при решении задач краткосрочного планирования метод динамического программирования (МДП), сохраняя в памяти ЭВМ промежуточные результаты – таблицы прямого хода МДП.

Пусть имеются таблицы МДП, соответствующие задаче оптимального распределения нагрузок между агрегатами электростанции

$$\sum_{j=1}^n B_j(P_j) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n P_j - b = 0, \quad (2)$$

$$P_{j\min} \leq P_j \leq P_{j\max}, \quad j = \overline{1, n} \quad (3)$$

и требуется найти решение аналогичной задачи при частичном измерении целевой функции

$$\sum_{j=1}^n B_j(P_j) + \tilde{B}_k(P_k) \rightarrow \min, \quad \tilde{B}_k(P_k) \neq B_k(P_k) \quad (4).$$

Авторами предложен алгоритм, согласно которому коррекция таблиц МДП требует выполнения процедур одномерной оптимизации лишь по переменной P_k .

Задача (1) – (3) имеет место при решении с помощью МДП задачи верхнего уровня временной иерархии с целевой функцией

$$\sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^n B_{ij}(P_j^i) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Тогда наличие построенных в процессе ее решения таблиц прямого хода МДП в совокупности с имеющейся возможностью быстрой коррекции этих таблиц позволяет существенно ускорить нахождение решения задач нижнего уровня, относящихся к соответствующему i – му периоду времени, $i = \overline{1, T}$ при возникновении в цикле оперативного управления непредвиденных факторов.

**Программная реализация алгоритма псевдообращения
матриц параметров в задачах автоматизированного
управления режимами энергосистем**

Домников С.В., Згаевская Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Математические модели, используемые при формализации задач автоматизированного управления работой электроэнергетических систем (ЭЭС), часто требуют решения систем линейных алгебраических уравнений

$$F a^* = g^*, \quad (1)$$

где F – квадратная матрица, a , g – вектор – строки, $*$ – символ транспонирования.

Если матрица F вырождена, то система (1) либо не имеет решения, либо решение существует, но оно не единственно.

Чтобы исключить сбой в работе системы автоматизированного управления в случае вырожденной матрицы F , необходимо искать так называемое нормальное псевдорешение (1), определяемое как

$$a^* = F^+ g^*, \quad (2)$$

где F^+ – псевдообратная матрица Мура Пенроуза [1] по отношению к матрице F . В случае, когда (1) имеет единственное решение

$$F^+ = F^{-1} \quad (3)$$

(F^{-1} – обратная матрица по отношению к F).

Для вычисления псевдообратной матрицы существует ряд алгоритмов [1], наиболее употребимым из которых является метод Гревилля. Этот алгоритм реализован авторами в виде подпрограммы типа SUBROUTINE на языке ФОРТРАН–IV. Имеется успешный опыт эксплуатации этой подпрограммы в составе программы прогнозирования электропотребления.

Литература:

1. Альберт А. Регрессия, псевдоинверсия и рекуррентное оценивание. – М.: Наука, 1977. – 223 с.

Пути выравнивания суточных графиков нагрузки энергосистемы

Беседа М.С.

Белорусский национальный технический университет

В связи с сооружением в Республике Беларусь атомной электростанции весьма актуальной задачей становится выравнивание суточных графиков нагрузки энергосистемы. Возможны различные пути выравнивания графиков: переход на позонные тарифы и применение интервально-дифференцированного тарифа на электроэнергию, объединение энергосистем, строительство различных типов аккумулирующих электростанций, гравитационных накопителей энергии, переход на электромобили, аккумулирование водорода на АЭС, аккумулирование тепла и применение электрокотлов на ТЭЦ.

Среди аккумулирующих станций можно выделить ГАЭС и ВАЭС. ГАЭС в настоящее время являются наиболее распространенными аккумулирующими электростанциями, их КПД может достигать 80%. В условиях Беларуси отсутствует возможность строительства ГАЭС достаточно большой энергоемкости.

КПД существующих ВАЭС не превышает 50%, при этом они не являются станциями «чистого аккумулирования»; для выдачи электроэнергии в сеть данные ВАЭС требуют сжигания натурального газа. Существуют проекты ВАЭС с аккумулированием тепла, КПД порядка 70%.

Применение гравитационных накопителей является новым решением в области аккумулирования энергии. Главным достоинством таких накопителей можно назвать высокий КПД (80-90%). Другим преимуществом гравитационных накопителей энергии является то, что они могут быть сооружены как с использованием естественного рельефа местности, так и на основе специально построенных эстакад.

Согласно проведенным опубликованным расчетам проблему выравнивания суточного графика нагрузки энергосистемы Беларуси позволит решить внедрение 1,4 млн. электромобилей. Их внедрение сдерживается из-за отсутствия инфраструктуры подзарядки электромобилей в Республике и высокой стоимости электромобилей.

Основным препятствием перед аккумулированием водорода на АЭС является низкая эффективность электролизеров (порядка 30%).

В настоящее время рассматриваются варианты более глубокого вовлечения ТЭЦ в выравнивание суточного графика нагрузки энергосистемы. Вариант с установкой электрокотлов на ТЭЦ подвергается наибольшей критике ввиду наличия двойной трансформации энергии.

УДК 621.316

Актуальность обследования заземляющего устройства и устройств молниезащиты подстанций 35 кВ и выше

Драко М.А., Мойсеенко О.А.
РУП «Белэнергосетьпроект»

Согласно СТП 09110.47.203-07 «Методические указания по выполнению заземления на электрических станциях и подстанциях напряжением 35-750 кВ» заземляющее устройство (ЗУ) электрических станций и подстанций необходимо полностью обследовать не реже одного раза в 12 лет. Однако эксплуатирующие предприятия часто игнорируют данное требование.

Для Республики Беларусь наибольшие коррозионные поражения элементов наблюдаются в уровне земли, а также на участке 0,2 м выше и ниже уровня земли. В целях сохранения работоспособности и долговечности заземляющих спусков электрооборудования необходимо своевременное выполнение мероприятий по их антикоррозионной защите.

При реконструкции подстанций 35 кВ и выше следует учитывать, что последовательное незаглубленное заземление электрооборудования не обеспечивает растекания импульсных токов в трех направлениях и противоречит требованиям СТП 09110.47.203-07. Соединение заземляющих спусков «встык» и «ребром» является недопустимым по условиям термической и коррозионной стойкости. Нарушением основных защитных мероприятий по снижению напряжения прикосновения является отсутствие потенциаловыравнивающих решеток на рабочих местах.

При эксплуатации и реконструкции ПС своевременное выявление и устранение дефектов ЗУ и устройств молниезащиты является одним из главных условий выполнения установленных требований в части электромагнитной совместимости, и в конечном итоге – безаварийной работы оборудования и электробезопасности.

УДК 621.315.1

Оценка целесообразности сооружения воздушных линий электропередачи напряжением 10 кВ с покрытыми проводами

Лещева И. М.

Белорусский национальный технический университет

Воздушные линии электропередачи напряжением 10 кВ предназначены для передачи электроэнергии по покрытым изолирующей оболочкой проводам, расположенным на открытом воздухе, и прикреплены при

помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях.

Воздушные линии (ВЛ) электропередачи напряжением 10 кВ с защищенными проводами имеют ряд преимуществ по сравнению с ВЛ 10 кВ с неизолированными проводами, в том числе: уменьшается расстояние между проводами на опоре и в пролете линии; исключается возможность коротких замыканий между проводами фаз при их схлестывании, а также из-за падений деревьев или веток деревьев на провода; снижается вероятность замыкания проводов на землю; обеспечивается меньшая удельная механическая нагрузка от гололеда на провода вследствие того, что налипание снега и гололеда в меньшей мере имеет место на гладкой поверхности изоляции, чем на поверхности голого провода, а также благодаря большему диаметру провода (на две толщины изолирующего покрытия).

Литература:

1. Короткевич М. А. Монтаж электрических сетей: Учебное пособие/ М. А. Короткевич. – Минск.: Выш. шк., 2012. – 511 с.

2. СТП 09110.21.171-02. Правила устройства опытно-промышленных воздушных линий электропередачи напряжением 10 кВ с проводами, покрытыми защитной оболочкой. Технические требования. – Введ. 28.10.2002 г. приказом концерна Белэнерго №71. – Минск: РУП “БелТЭИ”, 2002. – 47 с.

УДК 621.311

Совершенствование метода выбора номинальной мощности силовых трансформаторов

Дуль И.И., Фурсанов М.И.

Белорусский национальный технический университет

Существующие методы выбора номинальной мощности трансформаторов, являются достаточно грубыми и представляют собой упрощение метода определения допустимых нагрузок трансформаторов без выполнения расчетов тепловых переходных процессов.

Необходимость выполнения расчетов тепловых переходных процессов в трансформаторе при определении допустимых нагрузок обусловлена явлением снижения прочности изоляции трансформатора при повышении температуры его элементов. Снижение электрической прочности изоляции вызвано выделением пузырьков газа в местах с высокой электростатической напряженностью, т.е. в обмотках или соединениях трансформатора. В бумажной изоляции трансформаторов пузырьки газа начинают выделяться при повышении температуры. Чем выше

температура обмоток или масла трансформатора, тем выше вероятность его отказа. Таким образом, требования о допустимости любого режима работы трансформатора наиболее точно могут быть выражены в виде допустимых температур некоторых точек в трансформаторе.

В настоящее время допустимые нагрузки трансформаторов нормируются в ГОСТ 14209-85. ГОСТ 14209-85 регламентирует:

- допустимое значение температуры масла в верхних слоях;
- допустимое значение температуры наиболее нагретой точки обмотки трансформатора.

Температура верхних слоев масла и наиболее нагретой точки обмотки трансформатора зависит от системы охлаждения трансформатора, температуры охлаждающей среды, графика нагрузки, а также предшествующих режимов.

Выводы:

Автоматизированный метод выбора номинальной мощности трансформаторов на основе расчетов тепловых переходных процессов может наиболее точно учесть предстоящие условия эксплуатации.

Необходимость выполнения сложных вычислений в настоящее время не может быть причиной для выполнения грубых расчетов при выборе номинальной мощности трансформаторов, особенно в виду их высокой стоимости по отношению к общей стоимости подстанции.

УДК 621.311

Повышение точности дистанционного определения расстояния до места повреждения в воздушных электрических сетях напряжением 6-35 кВ

Зеленков В.И.

Белорусский национальный технический университет

В распределительных электрических сетях 6-35 кВ самыми частыми повреждениями являются однофазные замыкания, локализация которых требует более высокую точность определения зоны и расстояний до мест различных повреждений для более стабильной и надёжной работы сети в целом. Бурное развитие релейной защиты и автоматики на микропроцессорной базе даёт возможность фиксировать любые необходимые параметры нормального и аварийного режимов распределительной сети. Поэтому актуально применение метода на основе фиксации параметров аварийного режима для повышения точности дистанционного определения расстояний до мест однофазных замыканий. Основным критерием оценки данного метода будет являться относительная погрешность определения расстояния до места

повреждения и как следствие снижение вероятной зоны поиска. В общем виде относительное расстояние от подстанции до места замыкания для линии с m ответвлениями определяется по формуле:

$$n = \frac{U'' - U' + z_{\bar{e}} \cdot \left(I'' + aI_{\hat{I}} \delta \hat{a}\bar{e}1 + \dots + (a + \dots + m)I_{\hat{I}} \delta \hat{a}\bar{e}n \right)}{z_{\bar{e}} \cdot \left(I' + I'' + I_{\hat{I}} \delta \hat{a}\bar{e}1 + \dots + I_{\hat{I}} \delta \hat{a}\bar{e}n \right)}, \quad (1)$$

где $\hat{a} = l_1/L$ - доля длины участка l_1 от полной длины линии, км;

$m = l_{n-1}/L$ - доля длины участка l_{n-1} от полной длины линии, км.

Выражение (1) действительно для схем нулевой и обратной последовательностей. Расстояние до места повреждения определяется по формуле:

$$l_x = n \cdot L \quad (2).$$

Доверительный интервал:

$$M - \frac{t_{\gamma} \cdot \sigma}{\sqrt{k}} < l_x < M + \frac{t_{\gamma} \cdot \sigma}{\sqrt{k}} \quad (3).$$

Проведённые расчёты для разных точек замыканий показали, что в долевом отношении зона обхода линии от суммарной её длины будет варьироваться от 7,2% до 16% для случая кратковременного подключения в нейтрали низкоомного сопротивления $R \approx 50$ Ом (при надёжности 0,95).

УДК 621.311

Математическая модель синхронной машины с автоматическим регулированием возбуждения сильного действия

Золотой А.А., Кунцевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Линеаризованная система дифференциальных уравнений синхронной машины на основе упрощенных уравнений Парка – Горева записывается в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} x_{q\sigma} \Delta i_q &= U_c \cos \theta_0 \Delta \theta; \\ \Delta E_q + x_{d\sigma} \Delta i_d &= -U_c \sin \theta_0 \Delta \theta; \\ pT_{d0} (x_d - x'_d) \Delta i_d + (1 + pT_{d0}) \Delta E_q &= \Delta U_f; \\ H_j p^2 \Delta \theta + Dp \Delta \theta + \frac{\partial P}{\partial \theta} \Delta \theta + \frac{\partial P}{\partial E_q} \Delta E_q &= P_{\dot{\theta}}; \\ H_j &= T_j / \omega_0. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Упростим математическую модель, приняв допущение о безынерционности автоматического регулирования возбуждения (АРВ) и его возбудителя. Тогда их действие можно отразить уравнением регулирования:

$$\Delta U_f = \Delta U_{AdA} = -(K_{0u} + K_{1u}p)\Delta U_a - K_{1f}W_{1f}p\Delta I_f + K_fW_fp\Delta f_u. \quad (2).$$

В практических расчетах переменные (2) необходимо выражать через ЭДС E_q и угол нагрузки θ синхронной машины. Используя первые два уравнения системы (1) получим:

$$\Delta U_f = -(K_E + pK_{1E})\Delta E_q + (K_\theta + K_{1\theta})\Delta\theta. \quad (3)$$

На основании системы (1), дополненной уравнением регулирования (3), строится обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования возбуждения (САУВ) синхронной машины.

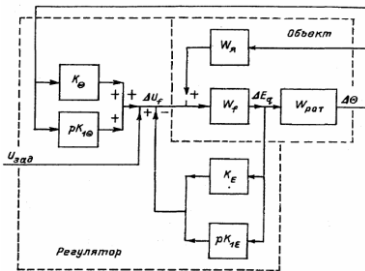


Рис. 1. Структурная схема САУВ синхронной машины

Система (1) дополненная уравнением (3) позволяет проводить анализ статической и динамической устойчивости синхронной машины с АРВ сильного действия.

УДК 621.315

Автоматизация поиска мест повреждений в воздушных распределительных электрических сетях

Калентионок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Для автоматизации поиска мест повреждений воздушные распределительные сети необходимо оснастить современными коммуникационными аппаратами и информационными средствами.

На основе оценки технических характеристик и стоимостных показателей различных коммутационных аппаратов установлено, что для локализации места повреждения в распределительных сетях наиболее целесообразно использовать:

- комплектные распределительные устройства стационарного исполнения внутренней или наружной установки на трансформаторных подстанциях в начале линии электропередачи;
- реклоузеры с вакуумными выключателями на головных участках линии электропередачи;
- выключатели нагрузки на маломощных ответвлениях линии электропередачи;
- разъединители с автоматическим управлением на ответвлениях с наименее ответственными потребителями электроэнергии.

В качестве информационных средств в воздушных распределительных сетях могут быть использованы:

- трансформаторы тока и напряжения;
- комбинированные датчики напряжения и тока на основе катушки Роговского;
- трансформаторы тока нулевой последовательности;
- датчики тока с преобразователями Холла открытого типа или компенсационные;
- оптические датчики тока и напряжения;
- магнитотранзисторы, магнитодиоды.

Наиболее перспективными информационными средствами для определения места повреждения в распределительных сетях являются волоконнооптические датчики тока, работа которых основана на эффекте Фарадея, и датчики напряжения, основанные на использовании эффекта Поккельса, так как они имеют высокую линейность, широкий динамический диапазон измерений, высокую устойчивость оптоволоконных информационных каналов к внешним электромагнитным помехам, меньшие габариты; также для них характерно отсутствие влияния нагрузки вторичных цепей и потерь в них.

УДК 621.316

Влияние способа заземления экранов силовых электрических кабелей на значения индуцируемых в них токов

Короткевич М.А., Олексюк И.В.

Белорусский национальный технический университет

Силовые электрические кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, несмотря на свою более высокую стоимость, в настоящее время применяются при проектировании систем электроснабжения новых объектов. Повышенные капитальные вложения и отсутствие полной нормативно-технической базы для проектирования, монтажа и

эксплуатации кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена затрудняет их более широкое внедрение.

При проектировании кабельной линии производится выбор площади поперечного сечения токопроводящих жил и экрана кабеля, способа укладки одножильных кабелей в траншею (в плоскости или треугольником), а также способа соединения и заземления экранов.

Выбор площади поперечного сечения медных экранов кабелей производится из условия термической стойкости кабельной линии.

Негативные воздействия токов в экранах на кабели:

- 1) дополнительные потери электроэнергии;
- 2) нагрев кабеля, и как следствие:
 - а) ускорение процессов старения изоляции;
 - б) снижение пропускной способности токопроводящих жил.

В ходе проведения испытаний кабельных образцов с заземленным по обоим концам экраном выяснилось, что в экране индуктируются токи до 40% и более от токов в жилах.

Существует множество схем соединения и способов заземления экранов одножильных кабелей, каждый из которых обладает рядом преимуществ и недостатков.

Наиболее распространенным способом заземления экранов трех фаз из одножильных силовых электрических кабелей на напряжение 10 кВ является заземление их с обоих концов. Из литературных источников известно, что при таком способе в экранах могут протекать токи до 60% от токов в жилах. Уменьшение площади поперечного сечения экранов позволяет снизить индуктируемые токи в экранах, но одновременно с этим снижается термическая стойкость кабельной линии при коротких замыканиях.

Схема заземления экранов с одного конца непосредственно, а с другого – через ограничитель перенапряжения позволяет исключить токи в экранах, не снижая при этом электробезопасность, за счет ограничения наведенного напряжения.

УДК 621.311

Защита от прямых и вторичных влияний молнии электронных устройств

Криксин П.В.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность защиты современных электронных устройств от прямых и вторичных влияний молнии постоянно возрастает, что обусловлено её миниатюризацией и повышением требований к надежности её работы

(особенно при применении электроники в технологических процессах). Актуальность защитных мероприятий также связана с повсеместным распространением молний, мощностью оказываемых воздействий и разнообразием механизмов влияния.

Автором были разработаны мероприятия по защите от влияний молнии электронных устройств, установленных на железнодорожной станции. Необходимость проведения таких работ связана с ударом молнии в дымовую трубу станции, выходом из строя ряда устройств и перебоями в работе станции.

Для разработки мероприятий были проведены исследования, которые включали: изучение и анализ параметров объекта, помехоустойчивости оборудования; изучение механизмов влияния молнии, определение возможной величины влияния; изучение механизмов связи между источником и приемником помех.

Исследования проводились расчетными и экспериментальными методами. Путем эксперимента были определены: параметры заземления и молниезащиты, смоделированы процессы протекания молнии и измерены потенциалы, которые при этом возникают. Расчетными методами определены величины индуцируемых напряжений, распределение напряжения по заземленным элементам станции, величины токов, протекающих в проводниках, напряженность электромагнитного поля молнии. Результаты исследований реализованы в проектно-сметной документации.

УДК 621.311

Применение технологии Smart Grid для реализации функции определения места повреждения в распределительных электрических сетях

Мазурек Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Smart Grid – это название глобальной технологии развития электроэнергетической системы. Термин Smart Grid был впервые введен в 2007 году в законодательном акте об энергетической независимости и безопасности США.

Основные преимущества технологии Smart Grid:

- надежность и качество электроснабжения;
- обеспечение постоянного контроля всех элементов сети с точки зрения безопасности их функционирования;
- снижение потребления электрической энергии и др.

В настоящее время алгоритмы дистанционного определения места повреждения (ОМП) в распределительной электрической сети не учитывают информацию, заложенную в апериодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ), так она практически не трансформируется электромагнитными трансформаторами тока.

Внедрение Smart Grid предъявляет высокие требования к первичным преобразователям тока, в качестве которых могут применяться более совершенные преобразователи (трансформаторы тока на эффекте Фарадея, преобразователи на основе пояса Роговского, на основе гальваномагнитных эффектов – датчики Холла, магниторезисторы, магнитодиоды и магнитотранзисторы).

В большинстве микропроцессорных устройств для реализации функции ОМП применяется дистанционный метод одностороннего замера по действующим значениям параметров аварийного режима. Расчет расстояния до места повреждения производится по упрощенным алгоритмам.

В сети Smart Grid, благодаря информации о токах ответвлений, которая поступает от датчиков, появляется возможность учитывать данные токи, тем самым повысится точность расчета до места повреждения.

Возможно применение дистанционного метода одностороннего замера по мгновенным значениям параметров аварийного режима, который может решить проблему учета переходного сопротивления.

В сети Smart Grid, благодаря большому количеству информации и современным точным преобразователям, открываются возможности по использованию методов двухстороннего замера в распределительной электрической сети.

УДК 621.311

Определение поврежденной фазы при однофазном повреждении линии электропередачи в сети с изолированной нейтралью

Мазурек Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Электрические сети напряжением 6-35 кВ в белорусской энергосистеме работают в большинстве случаев с изолированной нейтралью. При однофазном повреждении аварийного отключения поврежденного фидера не происходит, а линейные напряжения остаются такими же, как и до повреждения.

Замыкание фазы на землю могут привести к следующим последствиям:
- перенапряжения порядка 2,4-3,5 кратных по сравнению с фазным;

- возможность перехода однофазного повреждения в «двухместное» или двойных замыканий на землю;

- возникновение опасности поражения людей и животных электрическим током и др.

Для выявления поврежденной фазы режимы ОЗЗ исследовались с помощью системы динамического моделирования Simulink, которая является составной частью программного комплекса Matlab. Расчет аварийных режимов производился с учетом влияния переходного сопротивления в месте повреждения. Моделировались различные виды однофазного повреждения:

- замыкание фазы на землю;
- замыкание фазы с касанием провода земли со стороны питания;
- замыкание фазы с касанием провода земли со стороны нагрузки;
- разрыв фазы.

По результатам исследования можно сформулировать общее правило для определения поврежденной фазы при однофазном повреждении в распределительной электрической сети с изолированной нейтралью: поврежденной является фаза, если угол сдвига фаз между симметричными составляющими напряжений прямой и нулевой последовательностей фаз больше 90° , но меньше 270° ; на отстающей фазе больше 0° , но меньше 90° ; на опережающей фазе больше 270° , но меньше 360° ; или угол больше 270° , но меньше 90° ; на отстающей фазе больше 90° , но меньше 180° ; на опережающей фазе больше 180° , но меньше 270° .

Информация о поврежденной фазе может быть использована в устройствах автоматики и релейной защиты. Это позволит повысить точность расчета расстояния до места повреждения и сократить время поиска места повреждения, что повысит надежность электроснабжения потребителей и уменьшит недоотпуск электроэнергии.

УДК 621.311.017

Анализ обобщенных характеристик электрических сетей 0,38-10 кВ РЭС

Мышковец Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Одним из направлений, которое в настоящее время весьма востребовано в Белорусской энергосистеме, является оценка качества расчетов потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,38-10 кВ, анализ структуры потерь и выявление возможных резервов по их снижению. При этом прежде всего приходится анализировать общие

структуру и технические характеристики районов электрических сетей (РЭС).

Традиционная структура распределительной электрической сети 0,38-10 кВ включает источники питания, распределительные линии (РЛ) 10 и 0,38 кВ. Анализ показал, что суммарная протяженность одной РЛ 10 кВ колеблется в пределах от 1 до 30 км; исполнение – провода АС, максимальное сечение – 70 мм². Общее число линий 0,38 кВ в РЭС составляет 600-950 шт., протяженность одной РЛ 0,38 кВ – от 100 м до 5 км, исполнение: провода АС, А и САСПсш, кабели ААШв и АСБШв.

Названные обобщенные данные используются при анализе достоверности расчетов и анализа нормативов потерь в электрических сетях 0,38-10 кВ РЭС. В настоящее время эти результаты обобщаются в виде таблиц, в которых дана полная структура нормативных потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38-10 кВ. Приведенные в этой структуре показатели установлены инструкцией, разработанной на основе “Методики расчёта и обоснования нормативов расхода электроэнергии на её передачу по электрическим сетям”.

В обобщенных результатах расчета РЭС приводятся отчетные (фактические) потери, технологические потери (условно-постоянные, климатические и нагрузочные), потери, обусловленные погрешностями систем учета, а также коммерческие потери и норматив потерь.

К условно-постоянным относят потери в трансформаторах напряжения, вентильных разрядниках, ограничителях перенапряжений, изоляции в кабельных линиях и холостой ход трансформаторов. В состав нагрузочных потерь включают потери в силовых трансформаторах, РЛ 6-10 кВ и 0,38 кВ и потери в трансформаторах тока.

Таблицы с обобщенными данными по РЭС используются для оценки величины потерь как одного из показателей эффективности работы сети, анализа структуры потерь, разработки мероприятий по снижению потерь, осуществления нормирования потерь в энергосистемах.

УДК 621.3

Организация дипломного проектирования и проведение государственного экзамена

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Дипломное проектирование и государственный экзамен, являясь формой итоговой аттестации обучения по специальности, представляют собой хороший повод для самого студента подвести итог: повторить пройденные дисциплины на новом уровне знаний, а в дипломном проекте

реализовать себя в самостоятельной завершенной практически полезной работе. При этом дипломный проект не должен быть калькой курсового проектирования, а государственный экзамен – повторением экзаменов по дисциплинам, выставляя достаточно высокие требования и к педагогическому персоналу. К сожалению даже маститые педагоги не вполне себе представляют, что за пределами вуза недавний студент становится обладателем пожизненного сертификата на занятие руководящих должностей и проведение работ, нередко связанных с опасностью для здоровья и жизни людей, наивно полагая, что диплом – повод незначительно изменить социальный статус. Поэтому качество итоговой аттестации ограничивается соблюдением формальных требований и в настоящий момент оставляет желать лучшего.

В дипломном проектировании все начинается с выбора и утверждения тем проектов. Определяющим, как правило, является несколько факторов: уровень квалификации руководителя проекта, актуальность и глубина проводимых на выпускающей кафедре научных исследований, наличие молодых исследователей – аспирантов и магистрантов, педагогические традиции коллектива. Содержательная часть проекта – немного теории, расчеты и специальные вопросы – неизменна долгие десятилетия. Современный уровень использования вычислительной техники нередко идет в ущерб классической расчетной сердцевине работы: использование программ становится наилегчайшим путем к компиляции, а за вычислительными алгоритмами часто теряется суть физических процессов, для освоения которых расчеты и задумывались. Одновременно косность восприятия педагогической среды исключает теоретический качественный анализ как основу исследования в дипломном проекте, невзирая на то, что нередко инновации сложно сразу количественно определить, тем более, если речь идет о поиске новых управленческих решений, которых так не хватает отечественной экономике.

Камнем преткновения на государственном экзамене остается формулировка вопросов, которые остаются синонимами вопроса «что?», тогда как жизнь требует умения ответить на вопрос «как?».

УДК 621.311

Усовершенствованная методика компенсации реактивной мощности в электрических сетях энергосистем

Прокопенко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре “Электрические системы” БНТУ разработана и широко применяется методика компенсации реактивной мощности в

электрических сетях энергосистем. Методика многократно использована в практических расчетах и в учебном процессе при выполнении студентами дипломных проектов.

Практические расчеты, проведенные для различных схем электрических сетей, показали, что методика требует уточнения, поскольку в ряде случаев при оптимизации режима сети за счет существующих средств регулирования напряжения и реактивной мощности наряду со снижением потерь мощности напряжения в узлах схемы сети достигают допустимых значений, и компенсация реактивной мощности становится невозможной. Для объединения двух алгоритмов в задаче в качестве целевой функции при изменении режимов работы существующих средств регулирования напряжения и реактивной мощности используется стоимость сэкономленной энергии. На каждом оптимизационном шаге решения задачи сравниваются два решения: изменение режима работы действующего устройства регулирования напряжения и установка дополнительных компенсирующих устройств (КУ). Причем мощность КУ подбирается таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\Delta U_{\Sigma 1} \approx \Delta U_{\Sigma 2}, \quad (1)$$

где $\Delta U_{\Sigma 1}$ и $\Delta U_{\Sigma 2}$ - соответственно суммарное изменение напряжения в сети при изменении действующих средств регулирования и от установки дополнительных КУ.

Величина $\Delta U_{\Sigma 2}$ подбирается по мере расчета мощности КУ с использованием матриц чувствительности

$$\Delta U_{\Sigma 2} = \sum_{i=1}^n Q_{KVi} \|\Delta U_i\|, \quad (2)$$

где Q_{KVi} – мощность КУ в i -м узле; $\|\Delta U_i\|$ - матрица чувствительности.

При выполнении условия (1) сравниваются по экономическому эффекту два решения: изменение режима существующих средств регулирования и установка дополнительных КУ. По результатам сравнения принимается более оптимальное решение и расчет повторяется.

УДК 621.321

Оценка надежности электроснабжения собственных нужд атомной электрической станции

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

К системе электроснабжения собственных нужд атомной

электрической станции (АЭС) предъявляются следующие требования: безотказность (бесперебойность); ремонтпригодность; живучесть; безопасность; устойчивоспособность; режимная управляемость. Показателями надежности системы электроснабжения собственных нужд также являются частоты погашения одной и одновременного погашений двух, трех и четырех секций нормальной эксплуатации в режиме нормальной работы блока. При этом считается возможным проведение ремонтных работ на оборудовании открытого распределительного устройства высшего напряжения. Расчет надежности системы электроснабжения собственных нужд АЭС выполним с помощью программы “REISS”. Алгоритм программы построен на основе метода дерева отказов. Результаты расчета надежности электроснабжения собственных нужд АЭС представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета надежности электроснабжения собственных нужд АЭС

Погашение секций нормальной эксплуатации	Суммарная частота события $\lambda_{сум}$, 1/год	Средняя продолжительность отключения Т, ч	Коэффициент неготовности, о.е.
Одна секция шин	0,3457	4,86	$0,1918 \cdot 10^{-3}$
Две секции шин	$0,3234 \cdot 10^{-2}$	7,155	$0,2642 \cdot 10^{-5}$
Три секции шин	$0,1882 \cdot 10^{-2}$	4,356	$0,9357 \cdot 10^{-6}$
Четыре секции шин	$0,1921 \cdot 10^{-2}$	4,278	$0,9379 \cdot 10^{-6}$

Как видно из таблицы 1, погашение секции шин 1ВА вероятно приблизительно один раз в три года. При обесточивании секции 1ВА отключаются два выключателя, связывающие ее с секцией 1BV, и запускается дизель-генератор. Погашение секции 1BV на время, большее чем время пуска и включения дизель-генератора, может произойти при совпадении событий отказа в отключении двух выключателей или при незапуске дизель-генератора при отказе его выключателя при включении на секции 1BV. Погашение двух секций шин нормальной эксплуатации 1ВА и 1ВВ может произойти один раз в 309 лет, а погашение трех секций нормальной эксплуатации – один раз в 530 лет, т.е. события на протяжении срока службы оборудования АЭС маловероятны и могут не приниматься во внимание.

Анализ эффективности работы автоматики ликвидации асинхронных режимов турбогенераторов электростанции

Филипчик Ю.Д..

Белорусский национальный технический университет

Асинхронный режим (АР) в электроэнергетической системе является одним из самых тяжелых аварийных режимов. Его возникновение связано с нарушением устойчивости параллельной работы отдельных генераторов или целых электрических станций и частей объединенных энергосистем. Поэтому весьма важным является своевременное, селективное и надежное его выявление в электрической системе. Технические требования, предъявляемые в настоящий момент к автоматике ликвидации асинхронных режимов в первом цикле, определяются большими возможностями современной микропроцессорной техники и развитием электроэнергетических систем. Для реализации алгоритма выявления и ликвидации АР на начальной стадии нарушения устойчивости наиболее широкое распространение получили два принципа:

- дистанционный принцип, основанный на моделировании комплексного сопротивления системы по результатам замера тока и напряжения синхронного генератора;
- принцип, основанный на моделировании вектора ЭДС-генератора и угла сдвига данной ЭДС относительно заданной точки.

Наибольшее распространение получил первый подход. Выявление асинхронного режима по дистанционному принципу реализовано в терминалах защит генераторов таких компаний ABB, Alstom, Siemens и др.

Однако дистанционный принцип имеет и ряд недостатков. Один из них заключается в том, что при подключении к шинам электрической станции большого количества синхронных машин, или при работе синхронной машины на внешнюю сеть с относительно большим внешним сопротивлением, возможны асинхронные режимы при которых электрический центр качаний будет находиться не в генераторе или блочном трансформаторе, а в энергосистеме. Это приводит к тому, что автоматика ликвидации асинхронного режима, выполненная в защитах генератора, не ликвидирует возникший асинхронный режим.

На основе расчета и анализа асинхронных режимов предложено выполнять резервную автоматику, включенную на геометрическую сумму токов линий электропередач, отходящих от распределительного устройства высокого напряжения станции. Это позволяет выявить асинхронный режим генераторов станции относительно энергосистемы и сформировать воздействия по его устранению.

Принципы составления балансов электроэнергии на электростанциях объединенной энергосистемы Беларуси

Фурсанов М.И., Золотой А.А.

Белорусский национальный технический университет

Отпуск электроэнергии с шин электростанций $W_{\text{ош}}$ вычисляется в виде разности между электроэнергией, выработанной генераторами, и электроэнергией, израсходованной на собственные нужды электростанции, зафиксированной приборами учета:

$$W_{\text{ош}} = W_{\text{выр}} - W_{\text{сн}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{выр}}$ – количество электроэнергии, выработанной генераторами электростанции; $W_{\text{сн}}$ – количество электроэнергии, израсходованной на собственные нужды электростанции.

Составляющие баланса электроэнергии, за исключением потерь в главных трансформаторах, определяются по данным приборов коммерческого или технического учёта электроэнергии.

Потери электроэнергии в главных трансформаторах рассчитываются по выражению:

$$\Delta W_{\text{т}} = \Delta W_{\text{тн}} + \Delta W_{\text{тх}} \quad (2),$$

где $\Delta W_{\text{т}}$ – потери электроэнергии в трансформаторе; $\Delta W_{\text{тн}}$ – нагрузочные потери; $\Delta W_{\text{тх}}$ – потери холостого хода.

Нагрузочные потери электроэнергии в главных трансформаторах рассчитываются по формуле:

$$\Delta W_{\text{тн}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{T_{\text{р}}} \left(\frac{W_{\text{а}}}{S_{\text{ном}} \cos \varphi} \right)^2, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери короткого замыкания трансформатора; $W_{\text{а}}$ – активная электроэнергия, пропущенная через трансформатор за расчетный период; $T_{\text{р}}$ – расчетный период.

Коэффициент мощности определяется по данным приборов учета электроэнергии на вводах трансформаторов:

$$\cos \varphi = \frac{W_{\text{а}}}{\sqrt{W_{\text{а}}^2 + W_{\text{р}}^2}}. \quad (4)$$

Потери электроэнергии холостого хода в главных трансформаторах вычисляются по формуле:

$$\Delta W_{\text{тх}} = \Delta P_{\text{х}} \left(\frac{U_{\text{сп}}}{U_{\text{ном}}} \right)^2 T_{\text{р}}. \quad (5)$$

Расчеты потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38-10 кВ

Макаревич В.В.

Белорусский национальный технический университет

Величины и структура потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38–10 кВ для районов электрических сетей обобщаются в таблицах установленной формы. Из приведенных в таблице данных видно, что фактические (11,88%) и расчётные (11,64%) потери практически совпадают, т.е. проблема коммерческих потерь отсутствует.

Расчетный период	Отпуск электроэнергии	Нормативные потери электроэнергии															
		Условно-постоянные		Климатические		Нагрузочные		Обусловленные погрешностями			Технологические		Сезонная составляющая		ВСЕГО		
		тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%	тыс. кВтч	%
январь	4 259,66	173,61	4,08	14,34	0,34	456,82	10,72	32,29	0,76	677,06	15,89	174,00	4,08	851,06	19,98	849,77	19,95
февраль	3 962,14	120,49	3,04	16,73	0,42	332,61	8,39	29,23	0,74	499,05	12,60	0,00	0,00	499,05	12,60	477,98	12,06
март	3 599,01	133,99	3,72	12,50	0,35	278,53	7,74	25,11	0,70	450,13	12,51	50,00	1,39	500,13	13,90	406,52	11,30
апрель	3 658,23	129,13	3,53	22,30	0,61	293,51	8,02	25,88	0,71	470,82	12,87	-238,00	-6,51	232,82	6,36	272,73	7,46
май	2 837,93	133,57	4,71	9,99	0,35	226,46	7,98	18,59	0,66	388,61	13,69	0,00	0,00	388,61	13,69	263,77	9,29
июнь	2 784,83	128,43	4,61	11,65	0,42	190,36	6,84	17,84	0,64	348,27	12,51	-51,00	-1,83	297,27	10,67	296,74	10,66
июль	2 967,67	132,71	4,47	9,30	0,31	205,40	6,92	17,90	0,60	365,31	12,31	-4,00	-0,13	361,31	12,17	360,92	12,16
август	2 980,96	132,71	4,45	12,17	0,41	209,05	7,01	20,31	0,68	374,23	12,55	-100,00	-3,35	274,23	9,20	273,61	9,18
сентябрь	2 817,04	126,73	4,50	14,11	0,50	188,68	6,70	19,83	0,70	349,34	12,40	-5,00	-0,18	344,34	12,22	342,93	12,17
октябрь	3 478,15	132,71	3,82	13,49	0,39	272,25	7,83	24,24	0,70	442,70	12,73	-180,00	-5,18	262,70	7,55	527,09	15,15
ноябрь	3 658,23	129,13	3,53	22,30	0,61	293,51	8,02	25,88	0,71	470,82	12,87	-238,00	-6,51	232,82	6,36	272,73	7,46
декабрь	3 856,91	136,16	3,53	15,63	0,41	305,94	7,93	26,91	0,70	484,64	12,57	26,00	0,67	510,64	13,24	510,57	13,24
Всего	40 860,75	1 609,35	3,94	174,50	0,43	3 253,11	7,96	284,01	0,70	5 320,97	13,02	-566,00	-1,39	4 754,97	11,64	4 855,35	11,88

Однако из анализа структуры потерь РЭС представленной на рис. 1, видно, что сезонная составляющая не равная нулю. Поэтому возникает вопрос о достоверности результатов расчёта. Контрольные расчёты показали, что сеть 10 кВ считается достаточно корректно, а потери электроэнергии в сети 0,38 кВ, полученные по обобщённым данным, в 2-5 раз завышены по сравнению с результатами, полученными при расчёте по схемам. При этом уточнённые нагрузочные потери в сети 0,38–10 кВ оказались меньше первоначальных в 1,8 раза. Из структуры уточнённых потерь электроэнергии без сезонной составляющей (рис. 2) видно, что коммерческие потери в сети есть и они составляют 20% от общих потерь.



Выбор оборудования комплектных трансформаторных подстанций в бетонной оболочке напряжением 10/0,4 кВ

Гапанюк С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня комплектные трансформаторные подстанции в бетонной оболочке (КТПБ) активно и повсеместно используются при проектировании и строительстве распределительных электрических сетей напряжением 10 кВ. Они постепенно вытесняют классические трансформаторные подстанции (ТП), построенные из кирпича или быстромонтируемых конструкций.

Основными достоинствами КТПБ являются:

- максимальная заводская готовность;
- минимальные габаритные размеры;
- минимальные сроки установки и монтажа (в течение 2-3 дней);
- упрощение документооборота, так как такая подстанция занимает в смете и накладной одну строку.

В отличие от типовых ТП одним из важнейших параметров КТПБ являются габаритные размеры, которые оказывают значительное влияние как на стоимость самой подстанции, так и возможность, удобство, экономичность ее транспортировки и эксплуатации.

Основными составными частями КТПБ являются:

- РУ-0,4 кВ;
- РУ-10 кВ;
- трансформаторы;
- бетонный модуль;
- шкафы собственных нужд, учета, телемехники и др.

Анализ сложившегося рынка электрооборудования и условий работы распределительных электрических сетей Республики Беларусь показал, что основные вопросы возникают с выбором типов коммутационных аппаратов и конфигурацией распределительных устройств 0,4 и 10 кВ.

В результате сравнения технико-экономических показателей подстанций с различными видами оборудования и различными вариантами его расположения в них можно сделать вывод, что на стороне 10 кВ при отсутствии жестких требований к применению вакуумных выключателей и габаритным размерам КТПБ, наиболее оптимальным является применение ячеек оснащенных современными автогазовыми выключателями нагрузки. А на стороне 0,4 кВ наиболее экономичным является вариант с выкатными автоматическими выключателями на вводах и речными предохранителями на отходящих линиях.

Теплоэнергетика

Использование методов Case-study для расширения использования возобновляемых источников энергии

Гатилло А.С.*, Гатилло С.П.°

* Белорусский государственный университет,

° Белорусский национальный технический университет

Метод case-study (или кейс-метод) получил весьма широкое распространение, особенно при обучении экономике, управлению, а также в бизнес-образовании. Изученный опыт использования кейс-метода в практике Болонского университета (Италия) показывает, что он является одним из самых эффективных способов обучения навыкам решения типичных проблем. Очень интересными являются кейсы таких всемирно известных компаний, как Nestlé, Misrosoft, Walmart, Adobe, Gillette, Lego, Sony, eBay, Citigroup и так далее. Основываясь на опыте этих фирм, можно без проблем решать задачи, возникающие на предприятии. Этот метод, безусловно, может быть использован при решении задач, связанных с использованием возобновляемых источников энергии, так как при обосновании их применения экономические аспекты могут быть решающими. Хорошо выполненный кейс может придать ускорение развитию того или иного источника энергии, в частности солнечной.

Кейс-метод можно успешно использовать при проведении научных исследований. При этом считается, что можно выделить три типа case-study: разведывательные, описательные и объяснительные. В качестве примера можно отметить, что кейс-метод был применен при обосновании перспективности внедрения солнечных электростанций (СЭС) небольшой мощности, состоящих из фотоэлектрических модулей. Дело в том, что внедрению фотоэлектрических станций небольшой мощности, мешают в первую очередь стереотипы об их сложности и экономической невыгодности. Выполненный кейс позволил показать, что с учетом существующих тарифов на электроэнергию, вырабатываемую с использованием солнечной энергии, и сложившихся цен на оборудование, состояния сетей электроэнергосистемы СЭС небольшой мощности (до 100 кВт) могут принести большую выгоду.

Литература:

1. Практическая педагогика. Учебно-методическое пособие на основе метода case-study. / М.Р.Вардания [и др.]; Тобольск: ТГСПА им. Д.И.Менделеева, 2009.- 188 с.

УДК 662.638

К вопросу о сжигании местных видов топлива

Борухова Л.В., Руденков Б.М., Слинько А.А.

Белорусский национальный технический университет

В государстве, не располагающим собственными значительными топливно-энергетическими ресурсами, эффективное использование местных видов топлив (МВТ) несколько ослабляет его зависимость от импорта энергоносителей. Несмотря на невысокую стоимость МВТ, следует использовать их с максимальной эффективностью. Во-первых, можно улучшить качество топлива (снизить влажность) и, во-вторых, – более полно использовать теплоту уходящих газов, снизив их температуру.

Понятно, что подсушка топлива требует дополнительных и капитальных, и эксплуатационных затрат, и конечная влажность древесины должна определяться технико-экономическими расчетами. Имеются много предложений по конструкциям и принципу действия сушилок, но, перспективным, на наш взгляд, может быть использование опыта работы барабанных сушилок на асфальто-бетонных заводах. Большая влажность топлива обуславливает большой объем водяных паров в продуктах сгорания. Если создать условия для их конденсации (установить конденсационный экономайзер и снизить температуру уходящих газов до точки росы водяных паров), то при горении топлива можно будет, во-первых, использовать высшую теплоту сгорания, а во-вторых значительно снизить потерю теплоты с уходящими газами. Широкое распространение конденсационных экономайзеров сдерживает тот факт, что для их изготовления применяются дорогие марки нержавеющей стали и это сильно удорожает их стоимость. Кроме того, на предприятии требуется наличие потока холодной воды. Снизить стоимость конденсационных экономайзеров возможно, используя вместо дорогостоящего теплообменника из нержавеющей стали серийно выпускаемые калориферы КСк₃, КСк₄, в которых применены стальные трубки с оребренным покрытием из алюминия. Можно подобрать для конкретного случая их типоразмер, их количество и схему установки, используя типовую методику расчета, (которая, к сожалению, учитывает не все факторы, и потому расчет следует считать ориентировочным).

УДК 631.1

Некоторые меры продления жизни торфяной почвы и ее плодородия

Линкевич Н.Н., Селезнев В.И., Мурашко О.А.

Белорусский национальный технический университет

В отличие от минеральных почв торфяные почвы уплотняются,

органическая часть их превращается в гумус, часть органики вымывается водой в подпочву. Со временем эти почвы оседают, срабатываются. При вспахивании подпочвенный грунт смешивается с остатками бывшего торфяного субстрата. Иногда этот процесс приводит к созданию достаточно устойчивой почвы, но при преобладании песчаной фракции грунта сработка продолжается. Для продления жизни почвы и её плодородия предусматриваются достаточно эффективные меры.

1. Метод глубокой вспашки (по Белковскому В.И.). Глубина слоя торфа – 50 см и более, глубина вспашки – от 0,65 до 1,5 м, глубина до уровня грунтовых вод (УГВ) должна быть больше глубины вспашки по крайней мере на 20 см. При вспашки слои торфа и грунта (песка) чередуются и устанавливаются под углом 45° .

2. Образование пахотного слоя запахиванием биомассы (предложение С.В. Кулеша). Метод разработан для тяжёлых почв с целью создания пахотного слоя почвы с приемлемыми для культурных растений свойствами. Основой метода является структурообразующая и гумусосоздающая роль биомассы из растительности, пожнивных или порубочных (при культур-технических работах) органических остатков. Для предупреждения сработки торфа или биоремонта необходимо иметь остаточный слой торфа 30...35 см. Разновидность метода включает также вспашку с постановкой пластов (растительного слоя и торфа) под углом 45° .

3. Образование слоя почвы запахиванием дикого (синего) люпина (по Брезгунову М.А.). Технология включает: посев люпина (первый год), выращивание биомассы при различных уровнях грунтовых вод (УГВ), прикатывание осенью и измельчение дисковой бороной; подсев (в дополнение к вегетативному размножению) – весной, прикатывание и измельчение бороной – осенью, запахивание. Способ малозатратен и не требует оперативного регулирования УГВ; применяется, когда торф сработан не полностью.

4. Нарращивание биомассы и образование слоя почвы с помощью высокостебельной водной растительности (биоремонт почвы). Этот способ предлагается использовать на полностью сработанных мелиорированных полях при появившейся на поверхности подпочвы. Для отрастания после зимы необходим слой земли на поверхности. Этот способ – наиболее экономичный и универсальный.

5. Внесение земляной массы или торфа (по Белковскому В.И.).

Применение микроволновой энергии для улучшения характеристик твердого топлива

Езубчик В.В., Назаров В.И.

Белорусский национальный технический университет

Сокращение запасов нефти и газа приводит к необходимости перехода на твердые горючие ископаемые и местные возобновляемые источники горючего топлива. Основным направлением применения является топливное использование на теплоэлектростанциях (ТЭС), малых котельных и промышленных предприятиях. Важными этапами топливоподготовки является дробление и сушка – дорогостоящие процессы, как в отношении потребления энергии, так и требуемого производственного времени. Кроме того, твердое топливо порой имеет достаточно высокое содержание серы и азота, что при сжигании влечет за собой дополнительную нагрузку на окружающую среду.

Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что существует необходимость модернизации процессов подготовки топлива с целью повышения эффективности работы теплоэлектростанций, снижения энергозатрат, металлоемкости оборудования и объема вредных выбросов в атмосферу.

Развитие СВЧ-техники позволяет создать установки для сушки твердых топлив (уголь, сланцы, древесное топливо), снижению содержания серы и азота. Такие установки позволяют одновременно повысить экологичность выбросов, что особенно важно для котельных, работающих в жилых кварталах.

Наиболее экономичным является процесс сушки, когда энергия СВЧ тратится на внутренний перенос влаги, а испарение воды происходит, в основном, за счет энергии, подводимой к поверхности материала конвективным путем. Избыток мощности СВЧ приводит к перегреву высушиваемого материала. Тогда за счет микроволновой энергии происходит нагревание сушильного агента, процесс становится экономически затратным. Поэтому излучаемая мощность СВЧ энергии должна поддерживаться на уровне, когда температура поверхности материала не достигает температуры окружающей среды.

Важнейшим преимуществом микроволнового воздействия является способность электромагнитного поля проникать в материал на значительную глубину, создавая объемное распределение источников тепла, без необходимости создания какой-либо теплообменной среды.

**Повышение эффективности использования топлива в котлах
за счет утилизации теплоты уходящих газов**

Жихар Г.И., Кеда В.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях современных энергетических проблем и роста цен на дефицитные виды топлива (газ и мазут) экономия топлива является важнейшей задачей энергетической отрасли Республики Беларусь.

Одним из основных источников повышения эффективности использования природного газа является полная утилизация теплоты уходящих газов котлов. Задача экономии топлива тесно связана с проблемой защиты окружающей среды. Одним из наиболее сложных и актуальных направлений среди экологических проблем теплоэнергетики является сокращение выбросов оксидов азота котельными установками. Проблема охраны окружающей среды от выбросов объектов теплоэнергетики приобрела особую социальную значимость. Оксиды азота относятся к числу наиболее токсичных выбросов теплоэнергетического оборудования. Они являются загрязнителями атмосферы при сжигании всех видов органического топлива, в том числе и природного газа. Поскольку токсичность оксидов азота превышает токсичность большинства других вредных компонентов, сокращение выброса оксидов азота (крупнейшими источниками которого являются котельные агрегаты и промышленные печи) есть одна из актуальнейших задач по защите атмосферного воздуха от загрязнения.

Для глубокого использования теплоты уходящих газов в котлах широкое распространение в промышленной энергетике получили контактные экономайзеры и конденсационные котлы. Важным фактором в достижении высокого КПД конденсационных котлов являются низкие параметры системы отопления. КПД конденсационных котлов особенно зависит от температуры обратного теплоносителя. Чтобы обеспечить устойчивую конденсацию и, как следствие, КПД котла на уровне 109%, температура воды на входе в котел должна быть на 10-15°C ниже температуры точки росы (57°C для природного газа). Тем не менее, следует отметить, что практически при любых параметрах системы отопления можно обеспечить условия для конденсации водяного пара.

Среднегодовой КПД конденсационных котлов, работающих в режиме погодной регулировки, остается высоким – на уровне 100-104% – даже при работе с системами отопления высоких параметров, например 80/60°C или 70/55°C.

УДК 378.09:620.9(476)

Повышение качества подготовки инженеров-энергетиков как фактор эффективного использования ТЭР в Республике Беларусь

Карницкий Н.Б., Кулаков Г.Т., Веремейчик Е.Г.
Белорусский национальный технический университет

Формирование кадрового и научного потенциала для энергетической отрасли республики является одной из важнейших целей государственной научно-технической политики.

Комплексный анализ основных факторов, снижающих качество подготовки специалистов-энергетиков, позволил определить основные направления повышения конкурентоспособности выпускников-энергетиков Республики Беларусь: совершенствование модели финансирования системы образования и науки; совершенствование системы взаимоотношений – государства, профессорско-преподавательского состава вузов и ученых; повышение социального статуса профессорско-преподавательского и учебно-вспомогательного персонала вузов; де бюрократизация учебного процесса; оснащение лабораторной базы на основе компьютерных технологий и автоматизированных тренажерных комплексов; повышение требований к базовой подготовке абитуриентов; реорганизация заочного образования с обязательным условием приема в вуз абитуриентов, работающих в области энергетики; усиление практической подготовки студентов, нацеленность на потребности экономики государства, запросов рынка труда, заданий энергосбережения, безопасности и энергоэффективности функционирования энергетических комплексов и производств; смена научного инструментария преподавания, ориентированного на эффективное управление энергетической сферой с учетом современного состояния теории и практики развития автоматизированных энергетических процессов и производств; переход на новую целевую парадигму высшего инженерного энергетического образования с приоритетом на опережающую личностно-ориентированную подготовку профессионалов, спрос на которых будет определяться рынком труда; разработка комплексов научно-методического обеспечения по каждой дисциплине; совершенствование критериев оценки знаний с приоритетом оценки умения; создание современной учебно-методической базы; постоянное повышение квалификации преподавателей и учебно-вспомогательного персонала с учетом требований базовых организаций заказчиков выпускников; стимулирование молодых специалистов, инженерных кадров к получению высшей научной квалификации;

внедрение инновационных технологий в практику образовательной деятельности.

УДК 621.182.9-66

Сжигание твердого топлива в котлах с кипящим слоем

Жихар Г.И., Яцкевич А.С.

Белорусский национальный технический университет

Основные преимущества сжигания угля в кипящем слое состоят в следующем:

обеспечивается высокий коэффициент теплопередачи;

топочное устройство получается компактным;

низкие температуры сгорания приводят к снижению выбросов оксидов азота;

добавка относительно небольшого количества известняка связывает сернистый ангидрид с зольными остатками;

появляется возможность использовать уголь с повышенным содержанием серы, с высокой зольностью и с низкой теплотой сгорания.

Несмотря на очевидные преимущества кипящего слоя, его распространение до последнего времени оставалось незначительным из-за большого технического и экономического риска.

Оптимальная температура кипящего слоя с учетом реакций обессеривания и восстановления оксидов азота находится в пределах 850-900°C.

Примером котла с кипящим слоем служит котел паропроизводительностью 270 т/ч при давлении свежего пара 14,5 МПа, температура свежего пара и промперегрева 535/535°C. Котел установлен на ТЭЦ Дуйсбург (ФРГ).

В США котел производительностью 420 т/ч с параметрами пара $p=10,5$ МПа и $t^{\text{III}} = 540^\circ\text{C}$ работает на ТЭЦ Нукла.

Котлы с кипящим слоем работают и в других странах. Например, котел паропроизводительностью 400 т/ч с параметрами пара $p=15,9$ МПа и $t^{\text{III}} = 540/540^\circ\text{C}$ смонтирован на ТЭЦ Кайаани (Финляндия). Котел рассчитан на сжигание угля и торфа с влажностью до 55 %. Котел паропроизводительностью 90 т/ч и параметрами пара $p=8,4$ МПа и $t^{\text{III}} = 500^\circ\text{C}$ находится в эксплуатации на ТЭЦ Коутта (Финляндия). Котел спроектирован на сжигание торфа и теплотой сгорания 9,92 МДж/кг древесных отходов и угля. Котел паропроизводительностью 90 т/ч и параметрами пара $p=14,3$ МПа и $t^{\text{III}} = 540^\circ\text{C}$ работает на ТЭЦ Профцеим (ФРГ) на каменном угле. Котлы с кипящим слоем работают и в других странах Франции, Великобритании, Чехии и др.

**Комплексный подход к оценке эффективности использования и
основные факторы повышения эффективности применения
топливно-энергетических ресурсов**

Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

В результате анализа теоретико-методических основ оценки эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) установлено, что оценка эффективности энергосберегающей деятельности в Беларуси производится по обобщающим показателям, не учитывающим в полной мере эффективность процесса энергопотребления и энергосбережения, экономический, экологический и социальный факторы, а также технический и технологический уровень энергопроизводства. Наиболее объективную оценку эффективности использования ТЭР и энергосберегающей деятельности позволяет произвести комплексный подход к исследуемой проблеме с применением действующих показателей и их совершенствованием, учетом экономических, социальных и экологических факторов, а также путем расчета экономического эффекта от реализации каждого конкретного мероприятия, обеспечивающего экономию ТЭР. Это позволяет выявлять наиболее результативные направления энергосбережения и своевременно принимать меры по корректировке энергосберегающей деятельности. Вместе с тем состояние энергетики как базовой отрасли экономики и стратегия ее развития в значительной степени влияют на темпы экономического развития страны. Основными факторами повышения эффективности использования ТЭР в энергосистеме наряду с оптимизацией структуры генерирующих мощностей и энергопроизводства, рационализацией структуры топливно-энергетического баланса и энергопотребления являются: выбор на основе адекватных показателей и методов оценки экономической эффективности оптимальных для конкретных сложившихся условий способа и технологической схемы использования энергоресурса, а также его вида, обеспечивающих эффективное расходование ТЭР; постоянное совершенствование производственной базы для повышения ее технического и технологического уровня на основе инновационной техники и прогрессивных технологий с учетом экологических последствий; установление приемлемой рыночной цены произведенной энергетической продукции с учетом социального фактора

**Разработка экспериментального стенда для исследования
двухпозиционных систем регулирования**

Кравченко В.В., Маркова А.А.

Белорусский национальный технический университет

Двухпозиционные системы регулирования или P_n -регуляторы являются одними из наиболее используемых в практике автоматического регулирования производственных процессов, а также применяются в различных отраслях промышленности для регулирования температуры, уровня, давления и других технологических параметров [1].

Поскольку данные регуляторы являются наиболее дешевыми и простыми, то вопросы теории двухпозиционных систем регулирования и критерии их применимости заслуживают самого пристального внимания.

Однако незнание свойств и возможностей этих систем нередко приводит к тому, что проектируются и монтируются системы автоматического регулирования со сложными законами регулирования, а затем уже в процессе эксплуатации переключаются на двухпозиционное регулирование, обеспечивающее необходимое качество регулирования этих систем, поэтому изучение их динамики и методов улучшения качества регулирования являются весьма актуальными.

Экспериментальный стенд для исследования двухпозиционных систем состоит из двух подсистем. Первая позволяет проводить исследования, связанные с измерением расходов материалов, измерением и регулированием давления. Вторая предназначена для изучения вопросов, связанных с измерением и регулированием температуры. Стенд позволяет проводить исследования двух типов систем автоматического регулирования: температуры и давления, а также используемых при этом регуляторов [1].

Экспериментальный стенд позволяет изучать основы физического эксперимента по исследованию двухпозиционных систем регулирования, методы улучшения качества регулирования двухпозиционных систем, измерения температуры, давления и расхода жидкостей и сыпучих материалов, регуляторы и системы автоматического регулирования температуры и давления, а также характеристики измерителя-регулятора.

Литература:

1. Кравченко, В.В. Экспериментальный стенд для исследования двухпозиционных систем регулирования / В.В. Кравченко, А.А. Маркова // Актуальные проблемы энергетики. Материалы 65-й научно-технической конференции студентов и аспирантов. Электронное издание. – Минск, 2013. – http://electro.bntu.by/user/sekcija4_13.pdf. – С. 138–141.

Структурно-параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблока

Кулаков Г.Т., Басалай Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Основной задачей регулирования мощности энергоблока, является максимальное быстродействие по набору заданной мощности с учётом максимальной величины регулирующего воздействия. Предложенная структурно-параметрическая оптимизация системы автоматического управления мощностью энергоблока (СПО САУМБ) была направлена в первую очередь на улучшение качества отработки задания по мощности с учётом максимальной величины задания котельным регуляторам нагрузки, а так же допустимой величины максимального отклонения давления пара перед турбиной. СПО системы основана на передаточной функции оптимального регулятора, где критерием оптимальности является передаточная функция замкнутой системы автоматического регулирования (САР) по задающему воздействию. Достоинствами данного метода является то, что для настройки котельного регулятора мощности (КРМ) – реальный ПИД регулятор и турбинного регулятора мощности (ТРМ) – реальный ПИ-регулятор необходимо всего по одному параметру динамической настройки, который входит в критерий оптимальности в виде заданной постоянной времени $T_{зд}$. Дополнительная особенность САУМБ заключается во введении в систему дополнительного корректирующего звена, которое временно увеличивает значение заданной мощности энергоблока на величину, способствующую приближению фактической мощности к скачку задания. Основываясь на моделировании предложенной САР, делаем вывод, что данная СПО значительно улучшает качество регулирования фактической мощности энергоблока (интегральная ошибка регулирования уменьшается в 2 раза) и давления пара перед турбиной (время регулирования сокращается на 20%) по предложенной методике, за счёт незначительного увеличения максимальных регулирующих воздействий: задания котельным регуляторам нагрузки и изменения положения клапанов турбины по сравнению с экспериментальными графиками типовой САУМБ [1].

Литература:

1. Кулаков Г.Т., Литвинец В.И., Терешко М.Н., Сороко Е.В. Промышленные испытания системы автоматического управления мощностью энергетического блока 300 МВт в широком диапазоне изменения нагрузок // Энергетика – Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ . – 1987. – №5. – С 66-71.

УДК 621.181.6

Оптимизация одноконтурной системы автоматического регулирования уровнем воды в барабане котла

Кухоренко А. Н.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Использование на тепловых электростанциях (ТЭС) оборудования работающего под давлением, а также воды и пара высоких и сверхкритических параметров, модернизация и рост мощности энергоблоков, строительство в республике атомной электростанции (АЭС), ведут к тому, что обеспечение их надежности становится одной из ключевых задач. Износ основного теплоэнергетического оборудования приводит к снижению экономичности, надежности и долговечности работы электрических станций, а это повышает требования к качеству работы систем автоматического регулирования (САР) технологических процессов. В соответствии с этим актуальными становятся вопросы снижения износа основных производственных фондов за счет улучшения качества регулирования технологическими процессами, что будет способствовать продлению срока их службы.

Безопасность и надежность котельного оборудования ТЭС и АЭС в первую очередь определяются эффективностью работы САР питания водой котла. Типовая трехимпульсная САР питания водой котла и ее модификации, получили широкое распространение на ТЭС. Моделирование переходных процессов типовой трехимпульсной САР питания при основных возмущениях с использованием ПИ-регулятора охваченного внутренней отрицательной обратной связью обеспечивает удовлетворительную отработку скачка задания, но не обеспечивает качественную отработку внутреннего и крайнего внешнего возмущений (наличие статических ошибок регулирования).

Использование предлагаемого метода структурно-параметрической оптимизации позволило получить реальный ПИД-регулятор с одним параметром оптимальной динамической настройки $T_{зд}$ (заданная постоянная времени критерия оптимальности), численное значение которого вычисляют на основе ряда чисел правила золотого сечения, приняв за целое постоянную времени запаздывания по каналу регулирующего воздействия, с учетом максимальной величины регулирующего воздействия.

Это позволило повысить быстродействие системы в 2-3 раза, устранить статические ошибки регулирования при отработке возмущающих воздействий, в том числе с явлением «набухания уровня».

**Опыт эксплуатации и модернизации паросиловых установок
в условиях работы современной энергетики**

Матвеев Е. А., Карницкий Н.Б.

Белорусский национальный технический университет

Ежегодно в Республике Беларусь проектными, монтажными, наладочными и эксплуатирующими организациями ведется работа по поддержанию энергосистемы в работоспособном состоянии. В условиях современного рынка энергоресурсов проблемы готовности, эффективности и экономичности энергоустановок стоят наиболее остро.

В настоящее время основную часть (около 85 %) турбинного парка энергосистемы составляют паросиловые установки (ПСУ) различной мощности. Большинство из них работает в отопительном или производственно-отопительном режиме. В качественном соотношении (порядка 40% установленной мощности энергосистемы) преобладают конденсационные турбоагрегаты.

Важной особенностью является возраст оборудования и отработанный моторесурс энергоагрегатов. В среднем по энергосистеме эта цифра находится на уровне 32 лет. Активно ведется работа по модернизации генерирующих мощностей, в ходе которой реализуются проекты различной направленности.

1. Замена турбоагрегатов

За последнее десятилетие в Республике реализован ряд проектов по замене отработавших свой ресурс паровых турбоагрегатов, как правило, с увеличением установленной мощности. В ходе таких реконструкций, часть оборудования электростанций, которая еще остается работоспособной – подогреватели системы регенерации, насосное оборудование, оборудование системы оборотного охлаждения, сетевые установки – может быть сохранена и использоваться в работе вновь устанавливаемой турбины.

2. Модернизация проточной части турбоагрегата

В ходе таких мероприятий в существующей турбоустановке вносятся изменения, ведущие к увеличению установленной мощности агрегата, например, замена цилиндра высокого давления (Мозырская ТЭЦ, турбоагрегат ПТ-60-130/13, увеличение мощности до 80 МВт);

В связи с высокими капиталовложениями в новые энергоблоки, работающие по парогазовому циклу, был реализован ряд проектов, позволяющих использовать часть существующего оборудования паросиловых блоков для организации работы парогазового цикла (блоки ПГУ ст. №№ 3,4 Березовской ГРЭС) в пределах срока окупаемости.

Современные методы проектирования проточных частей турбоагрегатов

Сверчков С.А.

Белорусский национальный технический университет

Основной задачей современного проектирования проточных частей турбоагрегатов является изготовление конкурентоспособных изделий, обладающих высокой надёжностью и максимальным КПД использования потенциальной энергии рабочего тела. Решение этой задачи осуществляется в определённой степени на стадии технологической подготовки производства, где предусматривается проектирование оптимальных технологических процессов, обеспечивающих достижение поставленных задач.

Цель работы – рассмотрение способов разработки эффективных и оптимальных форм профиля решёток осевых турбоагрегатов для заданных параметров в системах компьютерного проектирования.

К числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат так называемые CAD/CAM/CAE-системы (системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа). Несмотря на широкое распространение систем CAD для проектирования и систем CAE для анализа, эти системы не всегда интегрируются. Термины CAD и CAE обозначают следующее:

CAD-системы (computer-aided design) — компьютерная поддержка проектирования, предназначенная для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации.

CAE-системы (computer-aided engineering) — поддержка инженерных расчетов представляющая собой применение обширного класса систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу, начиная от расчетов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчетов гидравлических систем и машин, расчетов процессов литья. В CAE-системах также используется трехмерная модель изделия. CAE-системы еще называют системами инженерного анализа.

Применяются такие системы широкого профиля как ANSYS и Autodesk Simulation, а так же и узкого профиля: Flowmaster, CFturbo, PumpLinx, FlowVision, AxStream и другие.

Современные программы позволяют создавать и редактировать пространственные модели объектов практически неограниченной сложности.

Маневренность ТЭЦ (АТЭЦ) при использовании аккумулирующей способности транзитных теплосетей

Тарасевич Л.А., Могилат Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение маневренности энергоисточников на органическом и ядерном топливе с применением аккумулирования теплоты является актуальной задачей энергетики.

Технико-экономическая эффективность привлечения маневренных ТЭЦ для получения дополнительной пиковой электрической мощности в утренний и вечерний максимумы нагрузки за счет аккумулирования теплоты в тепломагистралях определяется на основе их сравнения в энергосистеме со специальными пиковыми энергоустановками. Основным фактором, влияющим на эффективность применения рассматриваемого способа повышения маневренности ТЭЦ является величина замыкающих затрат на топливо и электроэнергию пиковых установок.

Проведенные исследования показали, что использование аккумулирующей способности транзитных теплосетей для получения пиковой мощности на ТЭЦ оказывается неэффективной. Малоэффективно также привлечение базовых ТЭЦ на органическом топливе для покрытия пиковых электрических нагрузок за счет аккумулирования теплоты в транзитных теплосетях из-за отсутствия свободной тепловой мощности на значительной части отопительного периода. В то же время при установке дополнительных водогрейных котлов на ТЭЦ обеспечивается расширение регулировочного диапазона без аккумулирования теплоты.

Более эффективным объектом повышения маневренности энергоисточников может быть система теплоснабжения с АТЭЦ, имеющей низкую составляющую в себестоимости электроэнергии и транзитные теплосети больших диаметров и протяженности. Использование аккумулирования теплоты в транзитных трубопроводах АТЭЦ для замещения тепловых нагрузок пиковых источников может привести к уменьшению в 1,5–2 раза расхода органического топлива. При этом объем дополнительных капложений в систему аккумулирования в десятки раз меньше по сравнению с затратами на установку баков-аккумуляторов под давлением.

Таким образом, использование теплового аккумулирования транзитных тепломагистралей для повышения маневренных свойств ТЭЦ и АТЭЦ в энергосистеме, а также покрытия пиковых тепловых нагрузок в системе теплоснабжения может быть одним из перспективных решений, направленных на экономию и рациональное использование топлива.

Выбор оптимальных параметров отопительных отборов в турбинах со ступенчатым подогревом сетевой воды

Тарасевич Л.А., Могилат Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность теплофикационных турбин со ступенчатым подогревом сетевой воды существенно зависит от правильного выбора расчетных параметров (мест) отопительных отборов, определяемого совокупностью исходных режимных и конструктивных факторов: тип системы теплоснабжения и способ регулирования отпуска теплоты, температурный график системы, структура тепловых нагрузок, расчетное значение коэффициента теплофикации, климатические условия, наличие и режимы использования конденсационного потока пара.

Сама постановка задачи выбора места организации теплофикационного отбора (одного или более) в турбине заключается в определении расчетного давления в отборе и диапазона его изменения, теплоперепада на предотборный и межотборный отсеки, объемного расхода пара по отсекам, необходимых для проектирования проточной части новых теплофикационных турбин и переоборудования действующих конденсационных турбин в теплофикационные при их возможном использовании для комбинированного энергоснабжения потребителей.

Правильно выбранные с учетом режимных и конструктивных факторов расчетные параметры теплофикационных отборов у вновь создаваемых и реконструируемых должны обеспечить наибольшую эффективность их использования (максимальную теплофикационную выработку электроэнергии и, соответственно, экономию топлива) на протяжении года в конкретной системе централизованного теплоснабжения.

На основании проведенных исследований установлено, что:

1. В каждом конкретном случае возможно разнообразное сочетание влияющих факторов, чему будут соответствовать свои оптимальные параметры отопительных отборов;
2. Выбор оптимальных параметров отопительных отборов пара в турбинах типа ТР производится по режиму, соответствующему наружной температуре включения пиковых котлов;
3. Выводы, касающиеся выбора оптимальных параметров отопительных отборов в турбинах без промперегрева пара справедливы и для теплофикационных турбин с промперегревом.

Тепломассоперенос в расплавах

Есьман Р.И., Криштофик А.В.

Белорусский национальный технический университет

Вследствие сложности уравнений, описывающих течение вязкой жидкости и газов, ограничиваются возможности теоретического исследования. Достаточно широко применяются экспериментальные методы, которые, как правило, сводятся к моделированию изучаемого движения расплавов на основе полученных результатов натуральных испытаний, выводятся соотношения, которые позволяют осуществить перенос закономерностей, полученных на одной модели, на геометрическую подобную модель.

Физическое подобие можно рассматривать как обобщение геометрического. Последнее, как известно, состоит в следующем: сходные линейные размеры L_1 , L_2 пропорциональны, сходственные площади S_1 , S_2 и объемы V_1 , V_2 относятся как квадрат и куб коэффициента пропорциональности соответственно, а сходственные углы равны между собой:

$$L_1/L_2 = \lambda, \quad S_1/S_2 = \lambda^2, \quad V_1/V_2 = \lambda^3$$

Физическое подобие в гидродинамике включает кинематическое и динамическое.

Кинематическое подобие заключается в том, что в геометрически подобных потоках в сходственных точках скорости частиц жидкости должны быть параллельны, а их абсолютные величины пропорциональны друг другу. Если в геометрически подобных системах одинаковый режим течения и движения жидкости устойчивое, то кинематические подобие, как правило, соблюдается.

Динамическое подобие – это подобие сил: в геометрически подобных потоках на элементарные частицы жидкости, расположенные в сходственных точках, действуют силы, одинаково направленные и пропорциональные по абсолютной величине. Поскольку силы, действующие в гидродинамической системе, связаны между собой уравнением количества движения, то оно может быть использовано для вывода основных чисел подобия.

Введем безразмерные переменные. Для этого все линейные размеры отнесем к некоторым характерным величинам: длине L , времени t_0 , скорости v_0 , давлению p_0 .

Нестационарный теплоперенос при фасонном литье

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Для расчета термообработки в трубе цилиндрического сечения при ламинарном режиме можно воспользоваться уравнениями подобия конвективного теплообмена.

Для круглой трубы имеем:

$$Nu = 1,61 \left(Pe \frac{d}{L} \right)^{1/3} \quad \text{при } Pe \frac{d}{L} > 12;$$

$$Nu = 3,66 \left(Pe \frac{d}{L} \right)^{1/3} \quad \text{при } Pe \frac{d}{L} < 12$$

где L – длина трубы или канала;
 Nu – среднее значение Нуссельта по длине L ;
 Pe – число Пекле.

Число Нуссельта (Nu) характеризует конвективный теплообмен на границе твердого тела и жидкости:

$$Nu = \frac{\alpha L}{\lambda_{ж}},$$

где α – коэффициент теплоотдачи (искомая величина);
 $\lambda_{ж}$ – коэффициент теплопроводности жидкости, обтекающей данную поверхность.

Число Пекле (Pe) показывает долю конвективного переноса тепла вдоль течения по отношению к переносу тепла путем теплопроводности в направлении нормали к поверхности

$$Pe = \frac{wL}{\alpha} = \frac{c_p \rho_{ж} \omega L}{\lambda_{ж}},$$

где c_p – удельная массовая изобарная теплоемкость жидкости;
 $\rho_{ж}$ – плотность жидкости.

При турбулентном режиме течения для прямых гладких труб хорошие результаты получаются при расчете по формуле

$$Nu = \frac{0,023 Pr Re^{0,8}}{1 + 2,14 Re^{-0,1} (Pr^{2/3} - 1)},$$

где Pr – число Прандтля, $Pr = \nu / \alpha = \mu c_p / \lambda_{ж}$

Промышленная теплоэнергетика и ее место на предприятиях Германии

Романюк В.Н., Муслина Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

По данным на 31.12.2013 Европейской базы данных «Kraftwerke und Verbundnetze in Europa» в структуре первичных энергоресурсов электроэнергетики доля угля – 49,5 %, природного газа – 22,3 %, ядерного топлива – 12,5 %; остальное – энергия ветра, воды и пр.

Рассмотрим роль промышленной теплоэнергетики на примере предприятий текстильной промышленности Германии. Доход Германии от текстильной промышленности в 2005 г. составил порядка 22 млрд. евро. Основная доля производства легкой промышленности страны приходится на текстильную отрасль, которая составляет $\approx 70\%$. В 2005 г текстильной отрасли Германии потреблено $\approx 35,4$ млн. ГДж энергии, из которых электроэнергия составила до 27%, природный газ – 48%, прочие топлива – 25%. Электроэнергия идет на привод насосов, системы управления, освещения. Топливо – расходуется, в основном, котельными. Наиболее теплопотребляющие отрасли текстильной промышленности – прядильные и отделочные сектора. Их годовое потребление природного газа – соответственно 3,5 и 6 млн ГДж. Прочие топлива – соответственно 3 и 2 млн. ГДж. Доля указанных подотраслей в составе валового продукта Германии составляет соответственно 3,3 и 7,6 %. Доля энергозатрат себестоимости продукции текстильных предприятиях $\approx 5\%$, что объясняется переносом энергоемких операций и процессов за пределы страны.

Для характеристики систем энергоснабжения предприятий ФРГ используются энергоемкость продукции, EI, показывающая количество потребленной энергии в МДж на производство 1 евро продукции, SEC – удельное энергопотребление ГДж на тонну продукции, а также третий показатель – CEI – интенсивность выбросов диоксида углерода на тонну продукции. В текстильной отрасли EI относительно постоянен – 3 МДж/евро. SEC сократился за 7 лет со 120 до 90 ГДж/тонну продукции. CEI снизился с 17 до 14 тонн CO₂ на тонну продукции.

Германия может служить ориентиром в формировании политики энергосбережения и утилизации отходов, высокотехнологичных машин и современных технологий, интенсивного энергосбережения на базе комплексного подхода.

Модернизация ТЭЦ энергосистемы в контексте интенсивного энергосбережения

Романюк В.Н., Бобич А.А., Середич И.С.

Белорусский национальный технический университет

Высокая степень износа основных производственных фондов электроэнергетики (около 60 %), сложившаяся возрастная структура турбинного и котельного оборудования ТЭЦ Беларуси обуславливают необходимость скорейшей замены или реконструкции существующих генерирующих мощностей. В соответствии со сложившейся ситуацией в стране все существующее паросиловые ТЭЦ на природном газе подлежат реконструкции путем перевода их на парогазовые технологии. Актуальна и замена их на газовые ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания газотурбинных и поршневых.

Опыт модернизации энергообъектов в России и за рубежом показывает, что строительство новых энергоблоков на промышленных площадках действующих ТЭЦ значительно уменьшает стоимость киловатта установленной мощности (до 40%), что связано с использованием существующих систем технического водоснабжения, электротехнической части, зданий и сооружений. Однако отсутствие должных инвестиций для строительства новых энергоблоков, обуславливает необходимость реконструкции физически устаревших энергоблоков ТЭС и ТЭЦ с повышением их мощности и экономичности за счет использования ГТУ по утилизационной схеме в качестве надстройки к существующим паросиловым энергоблокам. При наличии потребителей первой категории, когда с целью надежности пароснабжения в работе находятся вместо одного несколько энергетических котлов, целесообразно использование и сбросной схемы на базе резервных котлов параллельно с утилизационной. Данные решения позволяют повысить эффективность работы ТЭЦ, однако для увеличения энергосберегающего эффекта необходим комплексный подход модернизации ТЭЦ. В состав такого системного подхода модернизации ТЭЦ, составляющего сущность методологии интенсивного энергосбережения, можно предложить применение: утилизационной и сбросной схем интеграции ГТУ одновременно; тепловых аккумуляторов; абсорбционных тепловых насосов (АБТН) и холодильных машин (АБХМ). В результате такой модернизации ТЭЦ приобретают новые качества, позволяющие при сохранении отпуска тепловой энергии от комбинированных источников регулировать график генерации электроэнергии без перерасхода топлива, что в условиях Беларуси актуально в настоящее время и чрезвычайно обостряется с пуском АЭС.

**Унификация тепловых побочных потоков и сжатых газов
промышленного комплекса Беларуси**

Левков К.Л., Кузьмин Р.О.

Республиканское инновационное унитарное предприятие
«Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»,
Белорусский национальный технический университет

Очевидна необходимость расширения утилизации тепловых отходов на промышленных предприятиях Беларуси, как внешней (ВЭР) – утилизационной, так и внутренней – регенеративной. Однако наиболее простым во многих случаях может быть утилизационное теплоиспользование. Этот термин подразумевает использование тепловых отходов не в технологических нуждах, а на стороне, например для создания микроклимата помещений. Утилизация тепловых отходов позволяет лишь косвенно уменьшить потребление первичного топлива, замещая энергию, генерируемую в энергосистеме, на собственно выработанную.

Наряду с этим существует комбинированное теплоиспользование, включающее оба перечисленных метода. Таким образом можно достичь максимальной эффективности использования энергетических ресурсов в промышленности и уменьшить затраты на выпуск продукции.

С учетом вышесказанного, для оценки энергоэффективности теплотехнологических процессов вводится ряд показателей. Одним из типов таких показателей является коэффициент полезного действия (КПД). Для промышленных теплотехнологий принято различать технологический и энергетический КПД.

Целесообразно уделить внимание состоянию с утилизацией ВЭР избыточного давления водяного пара на промышленных котельных и природного газа в газорегуляторных пунктах и установках (ГРП и ГРУ). Также возможно эффективное применение абсорбционных тепловых насосов для утилизации низкотемпературных отходов в системах теплоснабжения, горячего водоснабжения и нагрева технологической воды, при этом затраты на обеспечение указанных систем снижаются на 40 % в сравнении с альтернативными теплогенерирующими источниками.

Малый срок окупаемости утилизационного оборудования и низкая себестоимость получаемой энергии из побочных энергетических ресурсов должны послужить ключевым аспектом при рассмотрении вопросов энергосбережения на промышленных предприятиях.

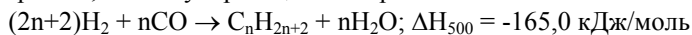
Газификация в синтезе Фишера-Тропша

Краецкая О.Ф.

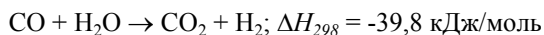
Белорусский национальный технический университет

Проблема получения высокооктановых компонентов моторных топлив и других химических продуктов из ненефтяного сырья (угля, торфа, биомассы) становится все более актуальной в связи с многочисленными прогнозами о скором исчерпании разведанных нефтяных запасов на фоне все возрастающего потребления нефти и ростом цен на нее.

Одним из процессов получения жидких углеводородов из альтернативного сырья является синтез углеводородов из СО и H_2 – синтез Фишера-Тропша, основную реакцию которого можно записать как:



Главной сопутствующей реакцией является превращение водяного газа:



Основными способами получения синтез-газа (смеси СО и H_2) являются газификация угля, запасы которого значительно превышают запасы нефти, а также газификация любого углеродсодержащего сырья (древесина, торф, сапрпель и любая биомасса).

При полном превращении синтез-газа, содержащего компоненты в мольном соотношении $CO/H_2=1/2$ и приведенного к нормальным условиям, максимальный выход жидких углеводородов (в расчете на одну CH_2 - группу) составляет 208,5 г/м³.

Сочетание газификации углеродсодержащего сырья и синтеза Фишера-Тропша – это многообещающий способ производства возобновляемого или «зеленого» автомобильного топлива. Синтетическое топливо, произведенное из угля, конкурентоспособно при цене на нефть выше 40 долл. за баррель. Капитальные вложения при этом составляют от 7 до 9 млрд. долл. За 80 тыс. баррель мощностей по производству синтетического топлива из угля. Для сравнения, аналогичные мощности по переработке нефти стоят около 2 млрд. долл.

Технологии переработки угля в жидкое топливо путем газификации порождают множество вопросов со стороны экологов. Наиболее серьезной является проблема выбросов углекислого газа; в полном цикле выбросы парниковых газов для произведённых из каменного угля синтетических топлив примерно вдвое выше своего основанного на бензине эквивалента. Важной проблемой при производстве синтетического топлива является и высокое потребление воды, уровень которого составляет от 5 до 7 галлонов на каждый галлон полученного топлива.

Интенсификация конвективного теплообмена отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного объекта

Несенчук А.П., Иокова И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для системы теплоснабжения мобильного объекта (полевого госпиталя, командного пункта и т. д.) не подходят традиционные отопительные приборы. Предлагаемый автором отопительный прибор изготовлен из мягкого полимерного материала (поливинилхлорид). Одна сторона такого прибора покрыта мягкой полимерной пленкой, обладающей ворсистой поверхностью (цилиндрическим оребрением), интенсифицирующей внешний теплообмен.

Создание искусственной шероховатости на поверхности теплообмена – один из наиболее эффективных и простых методов интенсификации конвективного теплообмена, который широко применяется и при создании традиционных отопительных приборов. Применение шероховатой поверхности способствует изменению характера течения жидкости, что при прочих равных условиях способствует переходу из ламинарного течения в турбулентное на шероховатой поверхности при меньших числах Re , нежели на гладкой. Шероховатость на теплоотдающей теплообменной поверхности вызывает локальные завихрения и усиливает перенос теплоты вблизи стенки.

Эксперимент выполнялся в лабораториях кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета. Измерения выполнялись самопишущим прибором КСП-4М, точечным измерителем «Сосна-002», а также тепловизором ThermoTrancer TH7700.

В эксперименте исследовались обе стороны отопительного прибора – без шероховатости и с применением искусственной шероховатости. Измерения со стороны поверхности образцов обеих поверхностей выполнялись в зафиксированном сечении теплообменника в течение 10 мин. В результате обработки результатов эксперимента можно сделать вывод, что наличие шероховатости приводит к устойчивому турбулентному течению и росту теплоотдачи, что существенно интенсифицирует теплопередачу предложенного автором отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного объекта (полевого госпиталя).

Наряду с реальным интенсифицирующим теплообмен эффектом, теплообменник остается нетяжелым и малозатратным в денежном выражении.

Система отопления на основе применения парокапельных нагревателей

Айдарова З.Б. Орлюк К.С., Юрашевич О.В.

Белорусский национальный технический университет

Парокапельные нагреватели (ПКН) являются современными теплообменными аппаратами, которые составлены на базе унифицированных элементов – тепловых трубок. Конструкция ПКН позволяет расширить площадь теплоотдачи на 1 кВт мощности до 1 м² и выше снизить температуру на этих площадях до 90-120°С. КПД парокапельного нагревателя близок к 98%.

Принцип работы (ПКН) представляет собой замкнутое циклическое преобразование электрической энергии в тепловую путем нагрева небольшого расчетного количества воды, которая при вскипании превращается в пар в герметичной полости нагревателя, в которой, отдавая тепло, пар конденсируется, конденсат стекает по внутренней наклонной или вертикальной поверхности к нагревательному элементу, преобразуясь вновь в пар.

Основные преимущества применения ПНК:

- они создают абсолютно безопасную среду для проживания, не размораживаются, не взрываются, не образуют течи, запахи и не загрязняют воздух вредными веществами от возгорания воздушной пыли;
- они создают комфортное тепло, качеством не уступающее центральному отоплению, работают как конвекторы, не сушат воздух;
- экономия электроэнергии в сравнении с другими электрическими системами отопления – до 50 % и более. Отпадает необходимость в установке теплосчетчиков, счетчиков горячей воды, газа и т.д.;
- они взрыво, пожаро, экологически безопасны;
- также они не требуют постоянного обслуживающего персонала, работающие ПКН можно на длительное время оставлять без присмотра;
- ПКП устанавливаются непосредственно в местах использования теплоэнергии;
- безаварийный срок эксплуатации ПКП – 30 лет и более.

Отдельные ПКН и беструбные системы отопления на основе ПКН с ручным и серверным электронным управлением могут эффективно применяться при строительстве, капитальном ремонте, реконструкции жилых домов, энергоэффективно использовать для отопления объектов социально-культурной сферы, а также зданий, имеющих периодический режим эксплуатации-дворцы культуры, гостиницы, санатории, загородные дома и т. д.

Алюминиевые радиаторы с повышенной теплоотдачей

Гламаздин П. М.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Последние десятилетия во всем мире постоянно идет процесс снижения энергозатрат на обеспечение комфортного микроклимата в жилых и общественных зданиях. Ужесточаются нормативы по теплопотерям зданий и энергоэффективности внутренних инженерных систем жизнеобеспечения, в том числе и систем отопления. С принятием стандарта «Пассивный дом» в странах ЕС активно внедряются низкотемпературные системы отопления, работающие по температурным графикам $80\div 60$ °С и даже $55\div 30$ °С.

Для обеспечения подвода необходимого количества теплоты в системах с подобными графиками приходится увеличивать площадь отопительных приборов, что ставит задачу повышения их теплоотдачи.

В этом плане наиболее перспективными выглядят алюминиевые радиаторы. Однако анализ рынка подобных приборов показывает, что все производители выпускают отопительные приборы практически одной конструкции с одинаковыми теплотехническими показателями, отличающиеся только дизайном. Для традиционных конструкций оптимальными являются толщина ребра $\delta=1,5$ мм и длина ребер 40 мм. Именно поэтому фактически у всех производителей алюминиевых отопительных приборов ширина секций колеблется от 77 до 80 мм. Это объясняется одинаковой технологией производства приборов, не позволяющей увеличивать их теплоотдачу.

Изменение технологии изготовления подобных приборов – переход от литья под давлением к экструдированию через специальные фильеры позволило разработать новую конструкцию алюминиевых секционных радиаторов с повышенной теплоотдачей при меньшей металлоемкости приборов. Кроме того, новая конструкция позволяет частично избавиться от такого негативного качества секционных алюминиевых приборов, как невысокое рабочее давление.

Испытания новых отопительных приборов в сертифицированном испытательном центре отопительного оборудования Украины (г. Киев) и испытательной лаборатории Института отопительной и санитарной техники в г. Радом (Польша), сертифицированной по стандартам ЕС, показали, что удельная теплоотдача новых отопительных приборов на 20% выше, нежели приборов традиционной конструкции лучших европейских производителей – итальянских фирм.

Опыт модернизации водогрейных котлов для систем централизованного теплоснабжения

Гламаздин П. М., Гламаздин Д. П.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Проблема старения централизованных систем теплоснабжения городов Украины стоит чрезвычайно остро. При этом для разных элементов систем решения по поддержанию систем в работоспособном состоянии могут быть различными: для трубопроводов чаще всего это полная замена пришедших в негодность участков, для абонентских вводов желательна замена морально устаревшего оборудования на современное автоматизированное со сменой схемы присоединения на независимую. Для отопительных котельных может быть использован путь постепенной модернизации оборудования, особенно мощных водогрейных котлов, в связи с дороговизной их замены.

Сам водогрейный котел представляет сложную техническую систему, включающую в себя несколько элементов:

Каждый из элементов вносит свою лепту в общую надежность эксплуатации котла и в его энергоэффективность. Анализ результатов модернизации показывает, что большей частью модернизация состоит в первую очередь в замене горелок и системы автоматического управления и оснащения тягодутьевых машин частотными регуляторами. Такой подход оправдан в тех странах, где действуют жесткие нормативы по ограничению вредных выбросов в атмосферу. Если же таких жестких требований к выбросам нет, то приоритеты в очередности модернизации элементов котла могут изменяться.

Наиболее быстро окупается устройство утилизаторов теплоты дымовых газов, а затем уже модернизация других элементов котла, вплоть до горелок, кроме котлов серии ПТВМ, у которых большое штатное количество горелок удорожает их оснащение газовой аппаратурой, без которой невозможна глубокая автоматизация работы котла. Котлы этой серии должны модернизироваться не просто заменой горелок, а кардинальным уменьшением их количества и такой положительный опыт имеется.

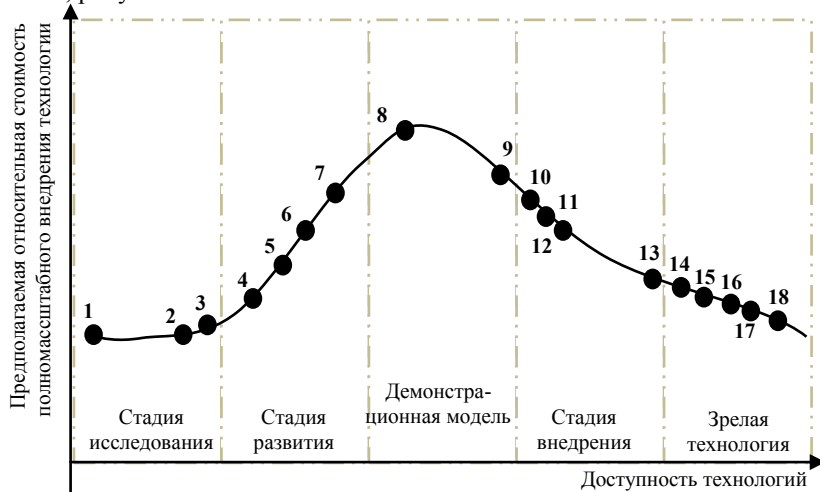
Для котлов разной мощности и разных серий (конструкций) очередность модернизации отдельных элементов оказаться различной. Для определения очередности модернизации авторы предлагают использовать методологию функционально-стоимостного анализа, использование которого позволит разрабатывать оптимальные программы модернизации котлов и котельных в целом.

Анализ состояния научно-технических разработок в области технологий производства электрической энергии на местных видах топлива

Мясникович В.В., Шкловчик Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Выработка электроэнергии за счет энергии биомассы может быть достигнута в широком диапазоне видов биотоплив и при различных технологиях получения электроэнергии, которые могут включать в себя промежуточный процесс, например, газификация. Технологии доступны в диапазоне от коммерчески проверенных решений с широким спектром поставщиков до тех, что только внедряются в промышленных масштабах. Существуют и иные технологии, которые находятся на ранней стадии развития, рисунок 1.



1 — топливные элементы и газификация биомассы, 2 — биогаз, 3 — биотопливо, 4 — биотехнологии совместно с солнечными/геотермальными технологиями, 5 — газификация по давлению, 6 — высокоскоростное совместное сжигание, 7 — производство пеллет, 8 — газификация при атмосферном давлении, 9 — технологическое получение топлива, 10 — полный переход на биомассу, 11 — пиролиз, 12 — среднескоростное совместное сжигание, 13 — сжигание ТБО, 14 — анаэробное сбраживание, 15 — свалочная газификация, 16 — низкоскоростное совместное сжигание, 17 — когенерация, 18 — паротурбинная технология.

Рисунок 1 — Современное состояние технологий производства
электроэнергии за счет использования биомассы

Биотопливный потенциал Республики Беларусь

Мясникович В.В., Прокопеня И.Н., Матявин А.А.
Белорусский национальный технический университет

Биотопливо является наиболее дешевым и возобновляемым источником энергии. Виды топлива, которые используются или будут использоваться, могут составить длинный список в зависимости от географического месторасположения и целей выработки энергии.

Так, солому, как один из видов биомассы, невыгодно использовать как топливо из-за высокого содержания щелочей и хлора, которые могут приводить к значительной коррозии поверхностей нагрева котлов.

Древесно-растительная масса – наиболее перспективный и значительный возобновляемый источник энергетического сырья в Беларуси. Доступный потенциал этого вида биомассы составляет около 3 млн. т у. т./год.

Отходы растениеводства, такие как солома, костра, лузга и так далее – фитомасса с энергопотенциалом по различным оценкам до 2 млн т у. т./год (без выращивания специальных высокоурожайных сортов растений на биотопливо).

Отходы животноводства, которые при биологической переработке способны обеспечить энергопотенциал, эквивалентный примерно 1,5 млн т у. т./год, а также принести дополнительный экологический эффект.

Потенциальная энергия бытовых органических отходов может оцениваться в 0,5 млн т у. т./год.

В нашей стране реальный запас неиспользованного древесного сырья во всех отраслях народно-хозяйственного комплекса оценивается примерно в 8-10 млн. м³, из которого можно ежегодно получать энергии в объеме от 3 до 4 млн. т у. т.

По прогнозам на 2015 год будет доступно порядка 9,46 млн м³ древесных отходов в лесах Республики Беларусь, из них технически доступные – 5,96 млн. м³, экономически доступные – млн. м³.

Дополнительным источником топливных ресурсов может быть древесина, вырубленная при раскорчевке или расчистке сельскохозяйственных земель от леса и кустарника для трансформации угодий и других целей, а также при торфодобыче и торфопереработках со среднегодовым объемом добычи порядка 1,2 млн. м³. А ликвидация сухостоя ежегодно будет приносить в среднем 0,6 млн. м³ дровяной древесины.

Энергетическая утилизация отходов очистных сооружений городских водоканалов

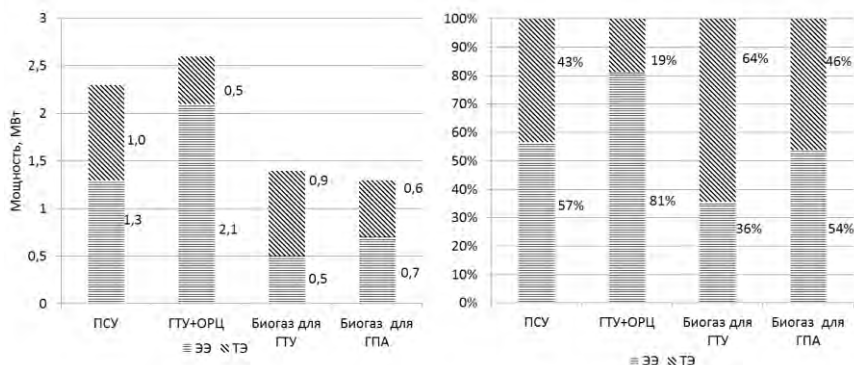
Седнин В.А., Прокопья И.Н., Матявин А.А.

Белорусский национальный технический университет

В странах Западной Европы в настоящее время, стоки городских водоканалов включают в себя различные органические отходы.

Осадки и илы сточных вод представляют собой бактериологическую и эпидемиологическую опасность. В них имеются все основные формы бактериальных организмов: кокки, палочки, спириллы, а также вирусы. Поэтому традиционные методы обработки осадков, такие как, использование в качестве удобрений, компостирование, захоронение не всегда эффективны и становятся экологически небезопасными

Одним из распространённых способов решения проблемы является термическая обработка обработанного осадка, т.е. сжигание.



Для анализа следует наиболее распространенные существующие схемы утилизации иловых осадков:

- получение биогаза в метантанках с последующими сжиганием в газопоршневых агрегатах (ГПА);
- получение биогаза в метантанках с последующими сжиганием в газотурбинных установках (ГТУ);
- использование илового осадка в качестве топлива для паросиловых установок (ПСУ);
- использование илового осадка в качестве топлива для ГТУ+ОРЦ.

Выполненный параметрический анализ показал достаточно высокую энергетическую эффективность использования схемы ГТУ+ОРЦ. В области изменения оптимизируемых параметров (коэффициента сжатия от 4 до 8 и температуры рабочего тела газового цикла от 700 до 990 °С) и

диапазона изменения температуры наружного воздуха от – 25 до 25 °С общий коэффициент использования топлива лежит в пределах 45..55% , а электрический КПД 35...50%.

УДК 620.9:658.011.56

Автоматизация и IT-технологии в энергетике

Петровская Т.А., Носырев И.Н., Сергейчик Ю.П.,
Вакулина А.О., Видникевич С.Г

Белорусский национальный технический университет

Основными тенденциями развития программного обеспечения для средств автоматизации являются максимальное упрощение процесса программирования и обеспечение открытости инструментальных средств. Конечной целью является предоставление потребителю возможности построения качественной системы автоматизации в максимально короткий срок.

SCADA системы (Supervisory Control And Data Acquisition) имеют широкий круг функциональных возможностей. Существуют требования, которым удовлетворяют практически все программно-аппаратные комплексы этой категории. Они собирают информацию с датчиков, расположенных на нижнем уровне системы, обрабатывают ее и передают на следующие этапы. Контроллеры могут собирать информацию о разных процессах, что делает системы SCADA удобными для использования в энергетике. Существующие в настоящее время SCADA-пакеты выполняют множество функций таких как настройка SCADA на конкретную задачу (т. е. разработка программной части системы автоматизации), диспетчерское управление, автоматическое управление, хранение истории процессов, выполнение функций безопасности, выполнение общесистемных функций.

Эффективное управление энергетическими мощностями и распределением энергии имеют очень большое значение. Повышение эффективности работы генерирующих мощностей, а так же установление оптимальных режимов распределения имеют большое значение и позволяют снизить стоимость энергии для потребителя, а также получить максимальный сбыт продукции. В настоящее время в развитых зарубежных странах наблюдается настоящий подъем по внедрению новых и модернизации существующих автоматизированных систем управления в различных отраслях. Эффективное управление энергетическими мощностями и распределением энергии имеют очень большое значение. Повышение эффективности работы генерирующих мощностей, а так же установление оптимальных режимов распределения имеют большое

значение и позволяют снизить стоимость энергии для потребителя, а также получить максимальный сбыт продукции.

УДК 621.438+621.311

**Уменьшение эксплуатационных издержек в системах
централизованного теплоснабжения за счет организации
гидравлических режимов с использованием электронной модели**

Седнин А.В., Шантаренко П.В.

Белорусский национальный технический университет

При развитии систем централизованного теплоснабжения наступает период, когда подключение новых потребителей тепловой энергии невозможно без снижения качества теплоснабжения существующих потребителей, особенно актуально эта проблема стоит в крупных городах при уплотнении существующей застройки. Новые градостроительные планы требуют масштабного развития инфраструктуры, а в условиях недостаточного финансирования большое внимание уделяется оптимизации гидравлических режимов и перераспределения нагрузок между источниками тепловой энергии. Для определения возможности подключения перспективных потребителей требуется провести ряд расчетов, одним из главных которых является гидравлический расчет тепловой сети. Существующие системы централизованного теплоснабжения состоят из множества элементов, просчитать которые можно либо вручную, выполнив ряд грубых допущений, либо используя специализированное программное обеспечение. Для определения вариантов реконструкции системы требуется точно знать существующее состояние системы, поэтому упрощенный расчет недопустим ввиду его неточности. Для более точного расчета гидравлических режимов используются различные системы со встроенными расчетными модулями. Разработка электронной модели системы теплоснабжения занимает значительное время, но возможности быстро и точно проводить расчеты компенсируют его.

При разработке новых гидравлических режимов требуется максимально загрузить источники с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии (ТЭЦ), ограничив зоны действия котельных. При невозможности обеспечения перспективной нагрузки требуется рассмотреть возможность передачи части нагрузок с одного магистрального вывода на другой за счет включения в работу существующих переемычек или строительства новых.

При правильно разработанных гидравлических режимах, можно снизить капитальные вложения в систему централизованного

теплоснабжения при условии сохранения качества снабжения потребителей.

УДК 621.311

Влияние АЭС на работу энергосистемы республики Беларусь

Седнин А.В., Ковалев Р.С.

Белорусский национальный технический университет

Как известно, Белорусская АЭС (проект типа АЭС-2006) будет состоять из 2 энергоблоков, а её установленная мощность составит 2400 МВт. Ввод АЭС (первого энергоблока – в 2018 г., полное завершение работ – в 2020 г.) непосредственно скажется на изменении базисной части электрогенерации. Введение АЭС в эксплуатацию, при условии работы на внутренний рынок электроэнергии, вызовет ограничения в режимах работы электростанций работающих на органическом топливе.

Фактически в настоящее время в энергосистеме Республики Беларусь отсутствуют электрические мощности обеспечивающие пиковые суточные нагрузки. Роль регуляторов выполняют КЭС и крупные ТЭЦ, которые по сути являются полупиковыми электростанциями. Следовательно, с учётом строительства АЭС, реконструкцию существующих КЭС и ТЭЦ целесообразно проводить путём замены отработавшего свой ресурс оборудования аналогичным (без увеличения электрической мощности и начальных параметров пара). Для промышленно-отопительных ТЭЦ с пониженной технологической нагрузкой возможны варианты: замена турбин агрегатами меньшей мощности, либо изменение их типа (перевод турбин типа "ПТ" в "Т" или "Р"). Однако, данный путь не предусматривается планами развития энергосистемы, который включает в себя ввод ПГУ на Лукомольской и Березовской ГРЭС.

Для крупных городов, предполагаемый ввод АЭС, может привести к существенному изменению структуры генерирующих мощностей в системах централизованного теплоснабжения. Также изменятся оптимальные значения коэффициентов теплофикации и число часов работы пиковых источников теплоты в году.

Благодаря избыточности электроэнергии, при реконструкции (строительство новых) действующих источников теплоснабжения, в настоящее время все больше рассматриваются варианты для выработки тепловой энергии на базе электродкотлов большой мощности и теплонасосных станций. В частности в 2015 году планируется реализация пилотного проекта по установке электродкотлов на Гомельской ТЭЦ (суммарная мощность 80 МВт), по итогам внедрения которого будет приниматься решение о тиражировании проекта на других ТЭЦ

энергосистемы. Применение данного оборудования позволит искусственно увеличить потребление электроэнергии в энергосистеме и создать благоприятные условия для работы АЭС.

УДК 621.365

Параметрический анализ влияния свойств рабочего тела на энергетические показатели парогазовых установок на МВТ

Седнин В.А., Кушнер Д.Л., Белаш Е.В.

Белорусский национальный технический университет

При разработке оборудования для газотурбинных и парогазовых мини-ТЭЦ на местных видах топлива и альтернативных источниках энергии важно использовать опыт атомной энергетики, в которой используются газотурбинные установки закрытого типа (ЗГТУ). Применение ЗГТУ позволяет использовать в качестве рабочих тел различные газы или их смеси. Для выбора рабочего тела в этом случае необходимо знать, каким образом свойства газов влияют на работу газовой турбины.

Принципиально все газы могут быть использованы в качестве рабочих тел для ЗГТУ, работающей по циклу Брайтона, так как единственным требованием в данном случае является расположение всего цикла в газовой надкритической области диаграммы состояния вещества. С позиций условий эксплуатации важно рассматривать такие свойства рабочего тела, как термическая стабильность, химическая инертность, невоспламеняемость и токсичность. По этим критериям на практике исключали из рассмотрения все органические газы и большую часть неорганических. Наиболее распространенными для обычных применений считается воздух, для газоохлаждаемых ядерных реакторов диоксид углерода и гелий, для космических применений рассматривались также одноатомные газы (неон, аргон) и смесь неона и ксенона.

Если рассматривать идеальные условия с позиции гидродинамического сопротивления движению рабочего тела при его перемещении по элементам ГТУ, то теоретически эффективность цикла ЗГТУ не зависит от рабочего тела и остается одинаковой для любого идеального газа при одинаковых температурах цикла и соответствующих показателям адиабаты степеням сжатия. Эффект от расширения рабочего тела в турбине зависит от относительной величине снижения давления к полному перепаду давления системы.

Таким образом, для фиксированного показателя потерь давления отрицательное влияние потерь давления будет менее значительным при более высоком оптимальном давлении системы даже при тех же диапазонах рабочих температур. Иными словами, двухатомные газы, такие

как воздух, азот и т.п. будут давать более высокую эффективность цикла, чем одноатомные газы (гелий, аргон, ксенон и т.п.) с более высокими показателями адиабаты, поскольку оптимальное рабочее давление для двухатомных газов обычно выше, чем для одноатомных.

УДК 621.365

Аванпроект газотурбинной установки с внешним сжиганием топлива

Седнин В.А., Левшеня А.И., Бичан Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время актуальным является поиск новых технических решений для энергетических установок малых мощностей при использовании в виде топлива биомассы и органических отходов различных производств. К данной теме определенный интерес проявляется как постсоветском пространстве, так и за рубежом.

Схема теплофикационного блока, представляет линейную комбинацию воздушной газотурбинной установки с внешним подводом теплоты (цикл Брайтона) и паросилового блока по технологии «органический цикл Ренкина». Высокотемпературный подогреватель газотурбинной надстройки установлен в «рассечку» между топкой и конвективной частью котлоагрегата.

Сжатый в компрессоре воздух, поступает в высокотемпературный воздухоподогреватель и затем в газовую турбину. После расширения в газовой турбине, воздух подается в топку котлоагрегата, работающего на биомассе. Продукты сгорания после топки последовательно проходят высокотемпературный воздухоподогреватель, теплообменник, предназначенный для нагрева промежуточного теплоносителя (термомасла), и утилизационный теплообменник, в котором поступает теплоноситель внутреннего водяного контура, предварительно нагретый в конденсаторе паротурбинной установке на органическом теплоносителе (ОРЦ-модуля), внутренний водяной контур замыкается на сетевой подогреватель тепловой сети. Механическая энергия, вырабатываемая газовой турбиной, используется для привода компрессора и электрогенератора. Нагретое термомасло из подогревателя поступает в испаритель. После испарителя органическое рабочее тело поступает на вход паровой турбины и затем в конденсатор, конденсат насосом подается в испаритель, замыкая паросилового контур ОРЦ-модуля.

Была разработана математическая модель данной установки макроуровня и выполнена ее параметрическая оптимизация. В качестве критериев эффективности принимались электрический КПД и коэффициент использования топлива. Проведенное численное

исследование схемы парогазовой установки для условий использования биомассы и ее параметрическая оптимизация показывает значительный прирост энергетической эффективности блока по сравнению с паросиловыми блоками.

УДК 66.02

Технико-экономическая оценка эффективности пневмотранспорта в пульсирующем слое

Бокун И.А.

Белорусский национальный технический университет

Системы пневмотранспорта мелкодисперсных материалов обладают низкими экономическими показателями из-за больших объемов транспортирующей среды, определенная часть которой затрачивается на создание условий витания частиц, другая часть на преодоление сил трения, ускорение потока и его подъем. Кроме того при пневмотранспорте мелкозернистого материала порядка 200-300 мкм наблюдается склонность частиц к агрегированию, образованию агломератов и каналов.

Важной практической задачей является правильный выбор скорости транспортирующего потока. Незначительное превышение скорости потока над скоростью витания частиц может нарушить их режим движения. Повышенные скорости транспортирующего потока экономически нецелесообразны, так как могут служить причиной повышенных расходов энергии, истирания частиц и износа труб. Наибольшее распространение получили два вида пневмотранспорта. Пневмотранспорт мелкозернистых материалов осуществляется двумя способами: с летящими частицами обычный пневмотранспорт сплошным потоком.

С увеличением глубины слоя растет неравномерность его структуры по длине трубопровода. Для повышения эффективности перемещения потока мелкозернистого материала транспортирующий газовый поток целесообразно осуществлять пневмоимпульсами, так как в этом случае по длине трубопровода формируется поток дискретной и непрерывной фаз, между которыми осуществляется межфазовый обмен.

При обычном пневмотранспорте отдельные зерна могут перемещаться перпендикулярно основному направлению перемещения. При пневмотранспорте сплошным потоком движения мелкозернистого материала в сторону ограниченную соседними частицами и зерна перемещаются вдоль трубопровода. С целью повышения эффективности пневмотранспортных устройств целесообразно применение пульсирующего потока транспортирующей среды, позволяющее создать импульсный псевдооживленный слой в камерном питателе и обеспечить

эффективную загрузку транспортного трубопровода мелкозернистыми материалами. Цикл пневмотранспорта состоит из периода заполнения материалом суммирующего трубопровода и продольного импульсного вытеснения образовавшихся поршней мелкозернистого материала в транспортный трубопровод.

УДК 621.311.21:627.8.004.1(083.96)

К разработке инструкции по эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилищ гидроэлектростанций

Лимонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

С целью совершенствования отраслевой нормативной базы (СТП 09110.21.540-06) разработана новая редакция инструкции по эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилищ гидроэлектростанций (ГЭС). В инструкции отражены вопросы области её применения, организации эксплуатации гидроузлов в зависимости от установленной мощности и отличительных особенностей ГЭС, эксплуатационные режимы гидротехнических сооружений и водохранилищ (в аварийных, нормальных, зимних условиях и в период паводка), эксплуатационный контроль состояния и условий работы гидротехнических сооружений (порядок проведения контроля, наблюдение за бетонными и железобетонными сооружениями, грунтовыми плотинами, бьежами гидроузла, а также вопросы эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры), уход за бетонными и грунтовыми гидротехническими сооружениями включая дноукрепительные работы и защита берегов, эксплуатация механического оборудования гидротехнических сооружений, техника безопасности Дополнительно к ранее действовавшей инструкции включены вопросы эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры и борьба с наносами.

Разработанная типовая инструкция содержит требования к технической документации, отражающей проектные параметры и фактическое состояние гидротехнических сооружений и регламентирующие порядок их эксплуатации. Определены конкретные документы и акты, входящие в состав технической документации, а также приведены типовые обязательные формы технического паспорта гидротехнических сооружений ГЭС, журналов наблюдений за гидротехническими сооружениями и технического состояния гидротехнических сооружений. Проект инструкции был направлен в РУП-облэнерго для предложений и замечаний.

С учетом полученных замечаний и предложений по проекту была подготовлена окончательная редакция инструкции по эксплуатации гидротехнических сооружений и водохранилищ гидроэлектростанций, которая утверждена в качестве стандарта предприятия ГПО «Белэнерго» (СТП 09110.03.238-13).

УДК 338

Внешнеэкономический потенциал Республики Беларусь

Кравчук Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Для Республики Беларусь внешнеэкономический потенциал имеет большое значение, так как по мировым масштабам она является небольшой европейской страной с открытой экономикой, в которой доля экспорта составляет около 2/3 валового внутреннего продукта.

Важнейшие показатели внешнеэкономического потенциала:

- объем производства ВВП, в том числе на душу населения;
- удельный вес экспорта товаров и услуг в ВВП;
- доля экспорта промышленных товаров в общем объеме экспорта товаров;
- платежный баланс страны.

По объему производства ВВП по паритету покупательной способности в долларах США Беларусь занимает четвертое место среди стран СНГ (после России, Украины и Казахстана) и 25-е среди 46 европейских государств.

По удельному весу экспорта товаров и услуг в ВВП Республика Беларусь занимает первое место среди стран СНГ, по производству ВВП на душу населения (по паритету покупательной способности) уступает только Российской Федерации и Казахстану.

Обладая достаточно высоким внешнеэкономическим потенциалом, тем не менее, в последние годы Республика Беларусь сводит свой торговый баланс с отрицательным сальдо (превышением импорта над экспортом).

Экономика страны ориентирована на внешние рынки. Беларусь в основном экспортирует продукцию обрабатывающей промышленности:

- 90% произведенных тракторов, грузовых автомобилей, мотоциклов, шин;
- 80-90% калийных удобрений;
- 70-80% металлообрабатывающих станков, холодильников, морозильников, химических волокон и нитей полупроводниковых приборов и интегральных микросхем;

- более 50% телевизоров, различных товаров легкой промышленности.

Внешнеэкономический потенциал страны не ограничивается оценкой возможности экспорта и импорта товаров и услуг, а включает также валютно-финансовые и кредитные отношения, инвестиции, туристический обмен, международную миграцию населения и т.д.

УДК 621.31:005.334

Особенности экономических рисков в электроэнергетике

Лапченко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Управление экономическими рисками в электроэнергетике является весьма актуальной проблемой, поскольку в процессе реформирования государство уменьшает степень своего участия в компенсации рисков, а предприятия подвержены воздействию большего числа рисков, чем в монополизированной среде. Масштабные изменения в белорусской энергетике обусловили появление специфических групп рисков, без учета которых невозможна эффективная деятельность предприятий комплекса.

В первую очередь, особенностью экономических рисков в данной отрасли является недостаточный опыт риск-менеджмента: влияние сезонных, географических, социальных условий порождает высокую степень неопределенности и риска, а хозяйственные операции должны быть сбалансированы в реальном времени: ведь электроэнергия, в отличие от других энергоносителей, не может храниться на складе.

Вторая особенность экономических рисков на энергетических предприятиях связана с незавершенностью и нестабильностью нормативно-правовой базы, регулирующей реформирование электроэнергетики, установление тарифов, формирование инвестиционных программ. Предприятия в своей деятельности должны опираться на устоявшиеся четкие правила и положения.

Третья особенность обусловлена тарифным регулированием электроэнергетики, которое в значительной мере определяет финансирование деятельности. Очевидно, что в среднесрочной перспективе тарифное регулирование будет по-прежнему оказывать определяющее влияние на доходы предприятий, а минимизация рисков, связанных с тарифным регулированием, не может быть осуществлена силами отдельной организации.

Кроме того, в энергетике, как и в других инфраструктурных отраслях, существует большой риск неплатежеспособности потребителей (населения и предприятий).

Выявленные особенности приводят к тому, что экономические риски в электроэнергетике являются весьма серьезными и трудноуправляемыми. Совершенствование риск-менеджмента – важная стратегическая задача для предприятий энергетического комплекса, выполнение которой будет способствовать предотвращению рискованных ситуаций, минимизации финансовых потерь, повышению эффективности, что должно привести к развитию и стабильной работе в долгосрочном периоде.

УДК 330.621

Экономическая эффективность вовлечения в топливно-энергетический баланс бурых углей

Нагорнов В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Вовлечение в топливно-энергетический баланс республики бурых углей позволит диверсифицировать структуру баланса и повысить энергетическую безопасность страны. Наиболее перспективными для этой цели являются бурые угли Житковичского месторождения.

Продукцию горно-химического комбината, построенного на базе Житковичского месторождения можно использовать в следующих главных направлениях.

1. Добываемый бурый уголь может непосредственно сжигаться в тоннах тепловых электростанций, являясь при этом конкурентным сырьем относительно других энергоносителей, таких как, например, каменный уголь, нефтепродукты, газ. Сжигание бурого угля целесообразно осуществлять в низкотемпературных вихревых тонких (НТВ). Внедрение топок с НТВ технологий позволяет:

- отказаться от использования мазута, газа и других легких топлив для «подсветки факела»;

- обеспечить полное сжигание угля в топке, снизив одновременно его недочеты в зоне при одновременном сжигании выбросов в атмосферу оксидов азота и серы;

- сжигать уголь с зольностью до 45...55 %, тем самым увеличив запасы добываемого угля.

2. Возможно энерготехнологическое использование, предусматривающее термохимическую переработку бурых углей с получением высококалорийных энергоносителей. Главным недостатком известных технологий термохимической переработки углей является относительно низкая производительность и жесткие условия их осуществления (высокие температура и давление). Для устранения этих недостатков в углепереработке применяются катализаторы и новые

каталитические процессы, позволяющие получать из угля разнообразные продукты топливного и химического назначения к основным каталитическим процессам можно отнести процессы пиролиза, газификации и гидрогенизации угля.

Получаемые из бурного угля синтетические топлива могут быть твердыми, жидкими и газообразными. К твердым синтетическим топливам можно отнести буроугольные брикеты, кокс и полукокс.

УДК 504 (076.5)

Проблемы и перспективы использования возобновляемых источников энергии во Вьетнаме

Тует Ань Нго

Белорусский национальный технический университет

Вьетнам является страной с большим потенциалом для развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ). По отчету Министерства промышленности и торговли Вьетнама, в 2013 году потенциал и эксплуатация возобновляемых источников энергии во Вьетнаме составили:

Вид ВИЭ	Ветер	Солнце	МГЭС	Биомас-са	Мусор	Био-газ	Геотермаль-ный источник
Эксплуатация	1800* МВт	4-5кВтч /м2/д	300 МВт	150 МВт	2,4 МВт	2 МВт	0 МВт
Потенциал	1,25 МВт	1,2 кВт	4000 МВт	800 МВт	350 МВт	150 МВт	340 МВт

*Потенциал ветра измеряли примерно 8~9% площади всей территории.

Потенциал ВИЭ во Вьетнаме довольно большой, но в настоящее время для эксплуатации и использования этих источников существуют определенные препятствия. Главным препятствием для развития ВИЭ является высокая стоимость энергии, производственной из таких источников. Кроме того, другими проблемами для развития ВИЭ АО Вьетнаме, являются: отсутствие государственной поддержки исследования, разведки и разработки потенциальных ВИЭ; отсутствие механизмов финансирования и эффективных механизмов управления проектами с использованием ВИЭ (подключение к сети и вне сети); отсутствие информации и баз данных; недостаточная развитость сопутствующих и вспомогательных услуг; трудность доступа к финансированию таких проектов; установление цен на электроэнергию, произведенную из ВИЭ. Правительство Вьетнама старается изменить сложившуюся ситуацию, в частности было принято решение о внедрении Программы возобновляемых источников энергии, реализация которой позволит стимулировать развитие ВИЭ в стране. В принятом Законе об электроэнергетике государство определило свою политику поддержки инвестиционных проектов с участием ВИЭ. Национальная цель развития

новых и возобновляемых источников энергии была в стратегии развития энергетики Вьетнама к 2030 году. Энергетики Вьетнама уже имеют механизм поддержки развития ветроэнергетики и расширяют его за счет вовлечения и других ВИЭ. Существующий механизм поддержки развития ВИЭ имеет ряд недостатков. Поэтому специалистам Вьетнама целесообразно исследовать аналогичный опыт использования ВИЭ других стран и разработать более эффективные механизмы поддержки ВИЭ в будущем.

УДК 621.315

Учет режима энергопотребления при формировании тарифов на электроэнергию

Левковская А.В.

Белорусский национальный технический университет

Совершенствование тарифной системы требует того, чтобы энергосистема предлагала потребителям различные тарифные планы, при которых устанавливается эффективная двусторонняя связь и существует определенный выбор режима потребления. Актуальным вопросом при взаимодействии потребителя и производителя электрической энергии становится участие потребителей в регулировании режимов электропотребления при рациональном режиме выработки и потребления.

График нагрузки включает в себя три режимные зоны: пиковую, полупиковую и базовую. При введении позонного тарифа существенно возрастают затраты на оплату электроэнергии в пиковой временной зоне. Позонным тарифом стимулируется снижение электропотребления именно в пиковой режимной зоне. По сравнению с двухставочным тарифом, который стимулирует потребителей к выравниванию режима только на основе снижения нагрузки в пиковой временной зоне, позонные тарифы стимулируют также смещение этой нагрузки на ночные часы. В настоящее время обеспечение прохождения ночного минимума электрической нагрузки имеет не менее большое значение, чем снижение максимальной нагрузки. Позонные тарифы призваны заменять действующие одноставочные и двухставочные тарифы. Помимо дифференциации по трем временным зонам, дифференциация может осуществляться и по двум временным зонам – ночной и остальному времени суток. Во втором случае стимулироваться будет только перемещение электропотребления на ночное время, которое может осуществляться перемещением электропотребления не только из пиковой, но и из полупиковой временной зоны. Дифференциация может осуществляться с сохранением оплаты по

основной ставке – двухставочные дифференцированные. В данном случае дифференцируется дополнительная ставка двухставочного тарифа по трем или двум временным зонам.

В пиковой зоне предприятие может осуществлять снижение электропотребления следующим образом: разгрузив оборудование, которое загружается в период пика энергосистемы, или другое оборудование, которое без ущерба для основного производственного процесса может быть в пиковое время отключено или разгружено.

УДК 658

Экономическая оценка эффективности энергосберегающих технологий

Маковская Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Варианты оценки эффективности внедрения энергосберегающих технологий следует рассматривать на основе анализа технико-экономической и экологической составляющих данной проблемы. Техничко-экономическую эффективность внедрения энергоэффективных технологий традиционно рассматривают исходя из рационализации использования топливо-энергетических ресурсов в соответствии с требованиями быстрого возврата инвестированного капитала. В числе определяющих показателей энергоэффективности, как правило, рассматриваются:

- стоимость вырабатываемой энергии и тепла;
- гибкость в конструкции, исполнения и использования, широкий выбор технологических схем для получения энергии и тепла;
- приспособляемость к различным условиям установки;
- окупаемость;
- расход топлива;
- моторесурс и долговечность;
- экологическая безопасность.

По мнению специалистов, использование этих показателей позволяет осуществлять выбор и расставлять рассматриваемые технологии по приоритетности практического внедрения и использования. При оценке планируемой технико-экономической эффективности энергосберегающих технологий следует учитывать тенденцию неуклонного роста цен на энергоносители. Согласно такому подходу в ожидаемый эффект от внедрения новых технологий нужно включать составляющую, связанную с перспективой удорожания энергоресурсов. Несмотря на то, что экологическая составляющая обычно включается в число технико-экономических показателей, в последнее время она приобретает и

самостоятельное значение, вследствие повышения технологических требований к охране окружающей среды. Выделяются два вида индикаторов: общеприменимые и специализированные. Общеприменимые индикаторы позволяют сравнивать между собой все без исключения технологии, независимо от вида области применения и территориальных особенностей. Специализированные индикаторы учитывают особые виды воздействия на окружающую среду и человека, характерные для данной технологии.

УДК 005.334(075.8)

Методология учета финансовых рисков в энергетике

Тымуль Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Управление рисками – это управление, направленное на снижение убытков, связанных с финансовыми рисками. При разработке программы управления рисками на уровне организации, в первую очередь, необходимо определить наиболее значимые риски для организации данного вида экономической деятельности. Для того чтобы оценить риск и принять соответствующее решение, необходимо собрать исходную информацию об объекте – носителе риска. Эта стадия называется «выявление риска» и включает два этапа: сбор информации о деятельности объекта и выявление опасностей или инцидентов. Основными методами получения исходной информации для выявления рисков предприятий являются: опросные листы; структурные диаграммы организации; анализ данных ежеквартальных и годовых финансовых отчетов.

Наиболее значимой при функционировании любого предприятия группой рисов являются финансовые риски. Процесс учета, как и управления, рисками имеет свои отраслевые особенности, которые в значительной мере должны влиять на формирование стратегии предприятия.

После распада СССР энергетический сектор постсоветских стран долгие десятилетия развивался по сложившимся «законам»: государственные субсидии, перекрестное субсидирование и полный государственный контроль. Однако в последнее время стала очевидной необходимость коренных изменений и прежде всего изменений в организационной структуре. Постепенное снижение государственного контроля с последующим переходом к рыночным отношениям приведет к необходимости самостоятельного функционирования энергетических предприятий на конкурентном рынке. Переход от государственной монополии к рынку приведет к ощутимому снижению участия государства

в покрытии возникающих финансовых осложнений. Поэтому энергетические предприятия уже на данном этапе реструктуризации энергетики должны разработать собственные методики распознавания и учета финансовых рисков. В основу данного процесса должен лечь, прежде всего, постоянный мониторинг ежеквартальных и годовых финансовых отчетов, а также внедрение новых форм внутренней отчетности, позволяющих отслеживать данные, непосредственно связанные с возможными финансовыми рисками.

УДК 338.488

Современные системы автоматизации управленческой деятельности на предприятии

Манюкевич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Современный этап функционирования экономической системы характеризуется ростом информационного нагрузки на управленческий персонал. Это и определяет актуальность проблемы комплексной автоматизации управленческой деятельности на основе современных информационных технологий и средств телекоммуникаций. Автоматизация управленческой деятельности – это объективный процесс, который должен охватить информационное, телекоммуникационное, программное обеспечение, информационные технологии, сети, базы данных и знаний, другие средства информации, которые дадут возможность на качественно новом уровне проводить как повседневную оперативную работу, так и анализ состояния и перспектив деятельности в целом, принимать научно-обоснованные управленческие решения. Основу деятельности по управлению любым экономическим объектом составляют информационные системы (ИС), состав которых зависит от рода деятельности и размера предприятия, организации, фирмы. Современные системы автоматизации управленческой деятельности условно можно сгруппировать по многим признакам. По сфере функционирования системы делятся на ИС промышленных предприятий, ИС предприятий транспорта, ИС бюджетных организаций, ИС предприятий связи, ИС предприятий сельского хозяйства. По уровню управления ИС делятся на отраслевые ИС, территориальные ИС, корпоративные ИС. По степени охвата задач учета, контроля и аудита ИС разделяют на комплексную автоматизацию учета, контроля и аудита, интегрированную с другими автоматизированными информационными системами, автоматизацию отдельных комплексов задач (отдельных участков учета), автоматизацию отдельных задач учета, контроля и аудита. По типу интерфейса

пользователя ИС разделяют на пакетные, диалоговые, сетевые. По способу передачи информации ИС разделяют на локальные, многоуровневые, интегрированные, распределительные. В настоящее время предприятия нуждаются в автоматизированной информационной системе учета, которая дает возможность обеспечить: выполнение контрольных и аудиторских задач с целью получения нужной информации об имеющихся отклонениях; анализ и прогнозирования хозяйственно-финансовой деятельности предприятия; получение на основе автоматизации эффективных управленческих решений.

УДК 657

Особенности управления затратами на предприятиях энергетической отрасли в период реструктуризации

Самосюк Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в энергетике Республики Беларусь функционирует вертикально интегрированная структура управления электроэнергетикой, включающая в себя: республиканский орган государственного управления – Минэнерго, – подчиненный ему ГПО "Белэнерго", осуществляющий управление входящими в состав объединения организациями и их производственно-хозяйственной деятельностью. Существующая система управления не стимулирует энергетические предприятия снижать себестоимость продукции и услуг. Актуальным направлением реформирования является выделение генерации, что даст возможность организовать конкуренцию между генерирующими источниками, а также будет способствовать снижению затрат на производство энергии и повышению инвестиционной привлекательности генерирующих источников. В целях формирования конкурентной среды на рынках электрической и тепловой энергии и повышения экономической эффективности работы энергоснабжающих организаций после реформирования Белорусской энергосистемы необходимо для ведения раздельного учета состава затрат и объема выпускаемой продукции (услуг) по следующим видам деятельности: производство электрической энергии (мощности); производство тепловой энергии; услуги по передаче электрической энергии (мощности); услуги по передаче тепловой энергии; деятельность по оперативно-диспетчерскому управлению; сбыт (реализация) электрической энергии; сбыт (реализация) тепловой энергии.

Наряду с такими понятиями как полезно отпущенная энергия и валовый отпуск энергии должно появиться понятие межгосударственный транзит электрической энергии, который включает: передачу

(перемещение) через территорию Республики Беларусь по ее электрическим сетям электрической энергии, произведенной на территории другого государства и предназначенной для территории третьего государства; передачу (перемещение) электрической энергии между двумя пунктами другого государства через территорию Республики Беларусь по ее электрическим сетям. После реформирования энергосистемы необходимо будет выделить дополнительные объекты калькулирования себестоимости энергии в целом по РУП-облэнерго: полезно отпущенная электрическая энергия на внутренний рынок; полезно отпущенная электрическая энергия для целей последующего экспорта.

УДК 658

Электроветроэнергетика России

Безруких П.П.

Московский энергетический институт

В настоящее время существует необходимость определить настоящую и перспективную роль возобновляемой энергетики в мировой экономике, что возможно осуществить, определив следующие составляющие ее эффективности, а именно: энергетическую, экологическую, режимную, социальную и экономическую эффективность. Рассмотрим этот вопрос применительно к ветростанциям (ВЭС).

Энергетическая эффективность – глобальное преимущество возобновляемой энергетики (ВЭ) перед топливной энергетикой. Энергетическая эффективность любой электростанции характеризуется периодом, в течение которого электростанция производит такое количество энергии, которое было затрачено на ее сооружение, включая энергетические затраты от «руды» до производства комплектующих изделий, на собственно изготовление оборудования, транспортные расходы, монтаж, эксплуатацию и утилизацию. Назовем эту энергию связанной энергией ($\mathcal{E}_{\text{СВ}}$ [кВт·ч]). Годовое производство электроэнергии энергоустановкой определяется как среднее годовое значение за весь срок службы ($\mathcal{E}_{\text{ПР}}$ [кВт·ч/год]), а период возврата затраченной энергии получил название: срок энергетической окупаемости (energy pay back time) – $T_{\text{ЭН.ОК}}$. Таким образом, срок энергетической окупаемости определяется по формуле: $T_{\text{ЭН.ОК}} = \mathcal{E}_{\text{СВ}} / \mathcal{E}_{\text{ПР}}$, [лет].

Энергия, затраченная на сооружение ветростанции, включает в себя расход энергии на производство материалов, используемых как в собственно ветроэнергетике, так и в аппаратах, приборах, кабелях, проводах и трансформаторах до точки присоединения к энергосистеме; расход энергии на производство оборудования из этих материалов и их

транспортировку на предприятия изготовители и от этих предприятий на завод, где осуществляется сборка ветротурбины; расход энергии на транспорт ветроустановки от завода изготовителя до места монтажа, монтаж и расход энергии на собственные нужды за весь срок службы. Определенная часть материалов, в основном черные и цветные металлы, отправляются на переплавку, т.е. утилизируются, расход энергии на их получение вычитается из баланса затраченной энергии на их производство. В энергетическом смысле ВЭС обладают глобальным преимуществом перед топливными электростанциями, так как в считанные месяцы возмещают энергию, затраченную на их создание, а топливные электростанции не возвращают её никогда.

УДК 338

Этапы внедрения управленческого аудита на предприятии

Манцорова Т.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Управленческий аудит – независимое исследование и оценка управленческой деятельности организации. Выделяют следующие виды аудита: бухгалтерский, финансовый, бюджетный, производственный, управленческий. Методология управленческого аудита призвана выявить, насколько эффективно работает организация, причем оценить это на основе анализа всех ее составляющих. На сегодняшний день управленческий аудит представляется наиболее полным, динамичным и гибким способом оценки эффективности системы управления и ориентирован на достижение следующих целей:

- оценка эффективности менеджмента организации;
- выявление "узких мест" в деятельности организации и разработка необходимых мероприятий, предотвращающих и уменьшающих их негативное воздействие;
- внесение рекомендаций, направленных на совершенствование системы менеджмента и профилактики кризисных ситуаций;
- исследование и разработка предложений по вариантам реформирования деятельности организации (реорганизация, реструктуризация, реинжиниринг, слияние, поглощение, ликвидация).

Управленческий аудит проводят как внутренние, так и внешние аудиторы. В их функциях есть как общее, так и отличия. В частности, внутренний аудитор является штатным сотрудником организации и выполняет свои обязанности с целью защиты ее интересов. Внешний аудитор защищает интересы клиентов предприятия (поставщиков, потребителей, кредиторов) и фискальных органов. Также внутренний

аудит направлен на оценку существующей системы контроля в организации и эффективности ее различных подразделений, а внешний аудит направлен на оценку достоверности финансовой отчетности организации. Аудиторы проверяют: результативность, эффективность, социальную значимость, деловую активность, уровень экономического развития производственных объектов. Кроме того, в процессе управленческого аудита может быть проведено рассмотрение перспектив и возможных темпов экономического развития и роста данной организации, а также анализ стратегии и тактики работы управленческой команды.

УДК 621.1; 62-637.8

Методологические аспекты оптимальной организации атомизации высоковязкого жидкого топлива

Ярмольчик Ю.П.

Белорусский национальный технический университет

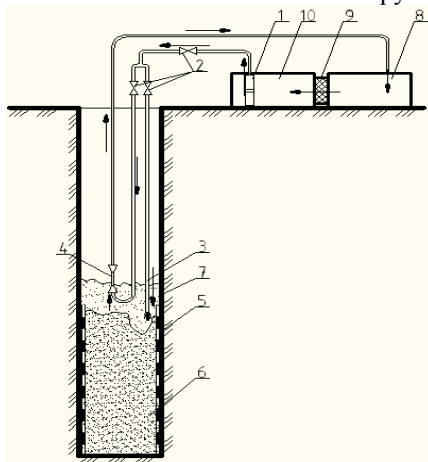
В последние годы отмечается устойчивый рост интереса к использованию в промышленной и коммунальной энергетике различных видов отходов масел и биологического топлива: животного жира, растительного, прежде всего рапсового, масла, биологического дизельного топлива, глицерина и т.п. Сжигание топлив такого рода сопряжено с рядом специфических факторов. Процессу горения предшествует непосредственный контакт молекул топлива и окислителя. Для воспламенения горючей смеси и поддержания устойчивого горения жидкое топливо перед сжиганием должно пройти ряд последовательных подготовительных процессов, в результате которых топливо будет доведено до "молекулярного" диспергирования (в настоящее время широко применяется термин «атомизация»). Существует три основных способа атомизации жидкого топлива: механический, паромеханический и ротационный. В результате проведенных исследований были определены основные факторы, влияющие на процессы горения. В качестве характерного параметра выбран максимальный диаметр частиц полностью сгорающих в организованном факеле в соответствии с тепловой мощностью для различных видов высоковязкого жидкого топлива. Определены энергетические затраты для атомизации топлив до требуемого уровня дисперсности в зависимости от применяемого метода. В результате получен ряд сравнительных графиков для высоковязких топлив, определяющих энергетические затраты на их подготовку для полного сгорания в зависимости от требуемой тепловой мощности. Данный метод позволяет определить оптимальный способ атомизации высоковязкого жидкого топлива в зависимости от его вида и заданной тепловой мощности.

Энергетическое строительство

Натурные испытания гидроэлеватора для извлечения песчаных пробок из скважин

Ивашечкин В.В., Автушко П.А., Кондратович А.Н., Машук Ю.С., Курч А.Н.
Белорусский национальный технический университет

Для удаления песчаной пробки из фильтра скважины №1/2011 в д. Узла Мядельского района был использован гидроэлеваторный метод, основанный на использовании струйного насоса (рисунок 1).



1 - насос; 2 - вентили; 3 - гидромониторный трубопровод; 4 - гидроэлеватор; 5 - фильтр скважины; 6 - песчаная пробка; 7 - пульпа; 8 - отстойник; 9 - сетка; 10 - резервуар

Рисунок 1 – Принципиальная схема гидроэлеваторного метода подъема песка из скважин

Гидроэлеваторный метод основан на том, что в фильтр скважины на трубах опускают специальный эжектор (гидроэлеватор 4), который устанавливают на поверхность песчаной пробки. В активный насадок (сопло) гидроэлеватора подают под давлением от высоконапорного насоса 1 чистую воду из резервуара 10. Одновременно по трубопроводу 3 подают воду в размывающий насадок, направленный в сторону песчаной пробки. Образующаяся при этом пульпа засасывается гидроэлеватором и подается по напорному пульповоду в отстойник 8. Песок отделяется в отстойнике от воды, которая через сетку поступает в резервуар 10 на вход насоса 1.

Гидроэлеваторная установка была специально изготовлена для удаления песка из фильтров скважин глубиной до 50 м с внутренним диаметром не менее 150 мм. Установка включала в себя высоконапорный насос ЭЦВ 6-10-120 с пультом управления, гидроэлеватор, полиэтиленовые трубы: пульповод $d=50$ мм; нагнетательный трубопровод $d=32$ мм и трубопровод на размыв $d=25$ мм, 2 кубовых емкости – резервуар и отстойник, шаровые краны для регулировки расхода, грузоподъемную ручную тросовую лебедку. 7 июня 2013 г. на скважине №2/2011 в д. Узла Мядельского района были проведены успешные испытания установки и выполнены работы по удалению песчаной пробки.

Параметры эксплуатационной надежности ограждающих дамб шламохранилищ

Круглов Г.Г., Богославчик П.М., Линкевич Н.Н.
Белорусский национальный технический университет

Важнейшей характеристикой качества любого объекта является надежность. Надежность дамбы обвалования – свойство дамбы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданную функцию в заданных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Надежность дамбы можно оценить следующими характеристиками: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и живучестью. Эти характеристики надежности являются основными понятиями математической теории надежности и определяются путем статистической обработки результатов наблюдений.

Об эксплуатационной надежности ограждающей дамбы можно судить, сравнивая фактические значения параметров качества с назначенными по условиям надежности. Параметры или показатели качества грунтовых дамб, характеризующие эксплуатационные требования, можно разделить на две группы: показатели назначения и показатели конструктивной надежности. Показатели назначения характеризуют свойства дамбы, определяющие выполнение технологической функции – поддержание заданного напора. К показателям назначения грунтовых дамб относятся значения максимального и минимального напоров, геодезические отметки гребня дамбы и отметки гребня противофильтрационного экрана.

Грунтовая дамба в целом, отдельные ее элементы и конструкции должны в процессе эксплуатации соответствовать следующим показателям конструктивной надежности: общей и местной прочности, общей и местной устойчивости, общей и местной фильтрационной прочности, трещиностойкости, морозостойкости, коррозионной стойкости, температурной устойчивости и биостойкости.

На стадии проектирования прочность грунтовых дамб обеспечивается выбором соответствующих конструкций дамбы, грунтов тела дамбы и технологии укладки; устойчивость – выбором грунтов, заложением откосов дамбы и их очертанием; фильтрационная прочность грунтов в теле дамбы – выбором соответствующей конструкции дамбы, ее дренажей, обратных фильтров, зернового состава грунтов, из которых предполагается их возвести, и технологии укладки грунтов; морозостойкость – выбором морозостойких материалов; биостойкость – выбором биостойких материалов, а также обработкой грунтов гербицидами и др.

**Статистический анализ причин отказов ограждающих дамб
шламохранилищ**

Богославчик П.М., Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н.
Белорусский национальный технический университет

Важнейшей характеристикой надежности является так называемая λ - характеристика, или интенсивность отказов, которая представляет собой отношение числа отказавших дамб " n " к среднему числу дамб " N ", исправно работающих за рассматриваемый отрезок времени Δt .

В Республике Беларусь за 45 лет эксплуатации дамб шламохранилищ ОАО "Беларуськалий" не было ни одного отказа. Отсутствует такая статистика и за рубежом. В литературе имеется описание одного случая разрушения дамбы шламохранилища, произошедшего в 1983 г. на Стебниковском калийном заводе в Львовской области. Причиной аварии явились грубые нарушения технологии возведения тела дамбы. В связи с отсутствием достаточной статистики отказов оградительных дамб шламохранилищ, представляют интерес данные о причинах аварий и повреждений грунтовых плотин, которые по конструкции и характеру работы практически полностью соответствуют дамбам шламохранилищ. По данным Мидлбрука (США), Грунера (Швейцария), Такаси (Япония), которые обобщили причины аварий 30...40 грунтовых плотин, основными причинами были: недостаточная пропускная способность водосбросных сооружений, что привело к переливу воды через гребень плотин – 30...38 %; фильтрационные деформации тела плотин и грунтов основания – 33...56 %; оползание и деформации откосов – 15 %; волновые воздействия – 5 %; землетрясения – 6...34 %; прочие (биоповреждения, воздействие льда) – 4...5 %.

М.И. Гогоберидзе на основе анализа аварий за рубежом и в СССР получены следующие значения интенсивности аварий λ в зависимости от времени эксплуатации t грунтовых плотин: при эксплуатации до 1 года $\lambda = 0,159$; при эксплуатации от 1 до 3 лет – 0,1; за 3...5 годы эксплуатации – 0,026; за 5...10 – 0,011; за 10...20 – 0,005; за 20...50 – 0,004; за 50...60 – 0,019. Анализ показывает, что наибольшая интенсивность отказов наблюдается в первые пять лет эксплуатации грунтовых плотин и, особенно в первый год. Через 10...15 лет эксплуатации отказы будут возникать на 4...5 плотинах из каждой тысячи находящихся в эксплуатации. Затем, рост числа отказов приходится на период после 50...60 лет эксплуатации, что связано с процессом старения и износа материалов. Кроме того, отмечается повышенная аварийность низких (до 15...20 м) плотин, что является

следствием недостаточной тщательности их проектирования, строительства и особенно эксплуатации.

УДК 620.92

Опыт Литвы при решении некоторых проблем использования возобновляемых источников энергии

Смирнов А.И.*, Гатилло С.П.^о, Моргунов С.В.^о

* НПООО «Малая энергетика»,

^о Белорусский национальный технический университет

Мировой опыт показал, что прогресс в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во многом зависит от имеющегося в стране законодательства.

Литва поддерживает развитие ВИЭ, так как это повышает ее энергетическую независимость, сокращает потребность импорта дорогого ископаемого топлива. Эффективное использование ВИЭ позволяет стране увеличить надежность энергоснабжения и соответствовать экологическим требованиям ЕС.

Закон «Об энергии из возобновляемых источников энергии» был принят Парламентом Литвы в 2011 году. Он определяет роль и функции правительства, различных министерств и других государственных учреждений. Основной целью Закона является гарантирование рационального использования ВИЭ и использование экономически обоснованного потенциала ресурсов в стране. Первой важной целью, определенной Законом, является достижение 23% доли ВИЭ в конечном энергопотреблении к 2020 году. Такая доля может быть достигнута путем использования ВИЭ при выработке электрической, тепловой энергии и на транспорте. Доли ВИЭ должны составить 20% в потреблении электроэнергии, 60% – в потреблении тепла и 10% – транспортного топлива, соответственно.

Поддержка выработки электроэнергии с использованием ВИЭ обеспечивается путем определения «зеленого» тарифа, который отличается для каждого вида технологии ВИЭ и мощности станций. Тариф устанавливается на 12-летний период национальным органом регулирования энергетики – Национальной комиссией по контролю над энергетикой и ценами. Законом предусмотрено два способа установки тарифа: 1) для всех энергетических компаний с мощностью менее 30 кВт Национальный регулятор устанавливает фиксированный тариф; 2) для крупных энергетических компаний система аукционов определяет тариф, а максимальный тариф устанавливается Национальной комиссией по контролю над энергетикой и ценами.

Например, для малых ГЭС, ВЭУ и СЭС мощностью менее 30 кВт тарифы составляют, соответственно 8,1 € за 100 кВт·ч, 10,7 € за 100 кВт·ч и 41,7 € за 100 кВт·ч.

УДК 620.92

Перспективы применения в качестве рабочего колеса гидротурбины «Винта Архимеда»

Гатилло С.П., Кохненко Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Во всех странах, обладающих хотя бы небольшим запасом гидроэнергоресурсов, идет поиск новых конструкций гидротурбин. При этом бывает, что те конструкции, которые были известны давно, получают новую жизнь.

Более двух тысяч лет известен такой механизм, как винт Архимеда, жившего в третьем веке до нашей эры. Обычно его использовали и используют, как насос для подъема жидкости. В частности, такие устройства до сих пор используются в Голландии для осушения полейдеров.

В последние годы винт Архимеда начали использовать в качестве рабочего колеса гидротурбин на малых гидроэлектростанциях. Уже построено несколько малых ГЭС (в частности, в Германии, Польше и Италии), где гидротурбина выполнена в виде винта Архимеда.

Основные характеристики таких турбин по данным фирм-изготовителей:

- расходы воды – 0,1-12 м³/с;
- напоры – 1,0-8,0 м;
- диаметр рабочего колеса – 720-4500 мм;
- угол установки гидротурбины – 22-36 градусов;
- мощность – 1-500 кВт.

Сравнительные данные по коэффициенту полезного действия «Винта Архимеда» и гидротурбины Каплана приведены в таблице.

Таблица – Зависимость КПД от расхода воды через турбину

Величина расхода в % от максимального	40	60	80	100
Винт Архимеда	79%	83%	85%	87%
Гидротурбина Каплана	88%	90%	90%	85%

Варианты компоновки такой гидротурбины могут быть различными. Гидротурбина может быть установлена в лотке или в закрытой трубе. Каждый из таких вариантов имеет свои преимущества и недостатки.

Для условий Беларуси «Винт Архимеда» рекомендуется использовать в первую очередь при открытой установке, то есть в лотке, вне трубы. Они будут предпочтительны при работе на теплой воде, например, на очистных

сооружениях населенных пунктов. Также они будут незаменимы при значительных колебаниях воды в нижнем бьефе малой ГЭС. Конкурирующие с ними в этом диапазоне напоров и расходов турбины Каплана имеют небольшую высоту отсасывания и сложности с их размещением в связи с требованием незатопления гидрогенераторов.

УДК 627.8.034.7+556.555.6

О возможности создания поперечного транспортера донных наносов

Рогунович В.П., Макеева Г.А., Карасик К.Г.
Белорусский национальный технический университет

Водный транспорт является самым дешевым видом транспорта. Стоимость перевозки грузов в три раза меньше чем по железной дороге и в десять раз меньше чем автотранспортом. Однако из 2000 км водных путей примерно 200 км составляют перекаты, по которым необходимо выполнять большие объемы землечерпательных работ. К примеру, в 2006 году объемы дноуглубления составили только по одному участку от Микашевичского канала до границы с Украиной около 1 млн. м³.

Основным средством для дноуглубительных работ являются землечерпательные и землесосные снаряды, гидромониторные установки. Эта техника в значительной степени физически и морально устарела. Снабжение горюче-смазочными материалами и обслуживание обходится дорого.

Главным недостатком использования имеющийся техники является большой экологический ущерб. Вода, насыщенная взвешенными наносами попадает в жабры, и на десятках километров гибнет все живое, особенно молодь рыбы.

В связи с решением правительства об увеличении перевозок водным транспортом, важность задач по уменьшению затрат на поддержание судового хода повышается, особенно в связи с планами перевоза калийных удобрений по Припяти и Днепру в Черное море. Работы по восстановлению и расширению воднотранспортных путей в различных районах Беларуси осуществляются интенсивно, что повышает актуальность работ по поддержанию габаритов судового хода эффективными технологиями.

В связи с изложенным целесообразно создавать устройства, позволяющие эффективнее и с минимальным ущербом поддерживать русла рек благоприятном для судоходства состоянии, с минимальным ущербом окружающей среде и биомассе. Поэтому начаты работы по созданию транспортеров донных наносов. Их конструкции представляют собой баржу, под которой или впереди которой в поперечном направлении

передвигаются ленты с закреплёнными щётками, которые передвигают в поперечном направлении наносы, прижимая их ко дну. Поэтому взмучивание наносов минимально. Ленты приводятся в движение тяговой лебёдкой с дизель-генератором. Если смотреть с кормы баржи, то транспортер, установленный с правой стороны, движется против часовой стрелки, а с левой стороны – по часовой. Глубина погружения судна, определяется при помощи датчиков давления. Опускание конструкции производится за счёт наполнения водой секторов днища баржи.

УДК 628.112

Теоретическое исследование кинетики растворения кольматирующих отложений при затрубной циркуляционной регенерации скважин

Автушко П.А., Ивашечкин В.В., Машук Ю.С., Курч А.Н.
Белорусский национальный технический университет

При регенерации скважин с затрубными системами промывки циркуляционно-реагентным способом в гравийную обсыпку по нагнетательным трубкам непрерывно подают реагент и одновременно вместе с продуктами растворения откачивают его из ствола скважины. Математическая модель процесса растворения отложений описывается системой двух уравнений: уравнение движения и сохранения массы (1) и уравнение кинетики (2):

$$\begin{cases} n_c \frac{\partial C}{\partial t} - \frac{q}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \rho_{oc} \frac{\partial b}{\partial t} = 0, & (1) \\ \frac{\partial b}{\partial t} = -\Phi \cdot (C_m - C), & (2) \end{cases}$$

$$\text{где } \Phi = \frac{B_i}{\rho_{oc}} \cdot f(b), \quad B_i = A_1 \cdot \left(\frac{D^4}{v}\right)^{\frac{1}{5}} \omega_0 \cdot \sqrt{\frac{v}{d_0}}, \quad A_1 \in [0,76 - 0,997], \quad f(b) = \sqrt{\frac{1 + \alpha \cdot b}{n_0 - b}}, \quad \alpha = (1 - n_0)^{-1};$$

D – коэффициент молекулярной диффузии; v – кинематический коэффициент вязкости; v – средняя скорость фильтрации жидкости в зернистом слое; d_0 – начальный размер частиц гравийной обсыпки; ω_0, n_0, n_c – начальные удельная поверхность и пористость гравийной обсыпки, среднее значение пористости обсыпки; b – удельный объем отложений, ρ_{oc} – плотность отложений, q – удельный расход, C, C_m – текущая и максимальная концентрации солей в реагенте; t – продолжительность процесса растворения кольматанта, r – радиус цилиндрического сечения кольматационного кольца.

Путем интегрирования обобщенного уравнения кинетики (2) была получена аналитическая зависимость для оценки времени полной регенерации T_0 слоя зерен грунта на внешнем контуре кольматационного кольца.

Для расчета продолжительности полной регенерации всей толщи

обсыпки предложено разбить период регенерации на ряд фаз последовательного выноса солей из грунта. Аналитическое решение системы уравнений, позволило рассчитать на временном участке $t \in (0; R)$ в процессе выщелачивания концентрацию солей в реагенте $C_1(t, r)$ и определить удельный объем отложений $b(t)$ в точке гравийной обсыпки в любой момент времени в процессе закачки реагента. Это позволило разработать методику поэтапного расчета продолжительности регенерации до достижения требуемой степени декольматации, реализованную на ЭВМ.

УДК 620.92

Восстановление Саяно-Шушенской ГЭС

Елисеев А.Е., Заяц М.А., Барскова А.С., Уляй Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Рассмотрен план восстановления Саяно-Шушенской ГЭС после аварии, произошедшей в августе 2009 года. Причиной аварии является разрушение шпилек креплений крышки турбины гидроагрегата, вызванное дополнительными динамическими нагрузками переменного характера, которому предшествовало образование и развитие усталостных повреждений узлов крепления. В результате разрушения гидроагрегата произошел выброс воды из кратера турбины. Поток воды был залит машинный зал, обрушены строительные конструкции, повреждено силовое, вспомогательное оборудование, а также вышли из строя все десять гидроагрегатов. Рассмотрены три этапа восстановления.

В рамках первого этапа были устранены прямые повреждения на ГЭС, такие как восстановление электроэнергии станции и разбор завалов в машинном зале. Была восстановлена работа четырех наименее пострадавших гидроагрегатов.

На втором этапе восстановительных работ был выполнен большой объем поверочных расчетов по несущей способности конструкций здания ГЭС. На аварийных гидроагрегатах было проведено лазерное сканирование конструкций и оборудования. Полученная трехмерная модель агрегатов позволила определить центр тяжести аварийных агрегатов и выполнить проект производства их демонтажа. Разработан прогноз ледообразования на отдельных частях сооружения и мероприятия по борьбе с ними. Были выполнены мероприятия по обогреву кровли, подобраны материалы для борьбы со льдом и проведено утепление аэрационных отверстий в плотине, а также введены в эксплуатацию три дополнительных гидроагрегата.

На завершающем третьем этапе ранее восстановленные гидроагрегаты

были заменены на новые, и к концу 2014 года планируется завершение восстановления. Срок службы новых гидроагрегатов увеличен до сорока лет при максимальном коэффициенте полезного действия 96,6%, улучшены ее энергетические и кавитационные характеристики. Турбины оснащены более эффективной системой технологических защит, автоматически останавливающей агрегат при недопустимых режимных отклонениях.

УДК 629.039.58

Современные системы оповещения населения о возможных авариях на АЭС

Казьмирук И.Ч., Иванова А.С., Эйсмонт Д.Г.
Белорусский национальный технический университет

В связи со строительством Островецкой АЭС в Республике Беларусь является актуальной проблема своевременного оповещения населения о чрезвычайных ситуациях, в том числе и о возможных аварийных выбросах радиоактивных веществ в окружающую среду.

Система оповещения населения предназначена для передачи экстренных сообщений в случае аварий, техногенных и природных катастроф. Оповестить население означает своевременно предупредить его о надвигающейся опасности, а также проинформировать о порядке поведения в этих условиях. Речевая информация должна быть лаконичной, понятной и содержательной. Существуют несколько уровней оповещения населения в зависимости от расстояния до потенциально опасного объекта и масштабов техногенной аварии. Одной из важнейших задач является оповещение ответственных должностных лиц, от которых зависит принятие решений и проведение мероприятий по защите населения. Во многих странах мира системам оповещения отдается приоритетное значение. Управление сиренами осуществляется как по проводным линиям связи, так и по радио. Также для оповещения населения могут быть использованы квартирные телефоны. На них срабатывает специальный сигнал, предупреждающий о необходимости срочного включения радиоприемников и телевизоров для приема экстренной информации.

Наша страна должна извлечь опыт из самых масштабных аварий на атомных станциях последних десятилетий: на АЭС Три-Майн Айленд (США, 28 марта 1979), Чернобыльской АЭС (СССР, 26 апреля 1986) и АЭС Фукусима-1 (Япония, 11 марта 2011). Отсутствие необходимой информации у населения, а также умышленное ее сокрытие может обернуться масштабными человеческими жертвами, такими как гибель и необратимая потеря здоровья людей.

Своевременность срабатывания тревоги является важнейшим фактором в устройстве системы оповещения населения. Большое внимание следует уделить информативности и доступности сообщения о надвигающейся угрозе. В совокупности правильная организация оповещения позволит свести к минимуму гибель среди гражданского населения, проживающего в близлежащих населенных пунктах, а также снизить риск приобретения серьезных заболеваний.

УДК 626.862.9

Влияние смачивания геотекстилей на работу дренажных систем

Митрахович А.И.¹, Опанасенко О.Н.², Казьмирук И.Ч.³

¹ РУП «Институт мелиорации»,

² ГНУ «Институт общей и неорганической химии»,

³ Белорусский национальный технический университет

Для ведения высокоинтенсивного сельскохозяйственного производства территория Республики Беларусь, нуждается в проведении осушительных мелиораций, включающих закрытый горизонтальный дренаж, выполненный из пластмассовых труб. Для защиты дренажа от заиления рекомендуется использовать геотекстили. Перед применением, они проходят всесторонние испытания в РУП «Институт мелиорации». При проведении полевых испытаний возникла необходимость определения смачивания геотекстилей, производства ОАО «ПИНЕМА», т.к. наблюдалось отсутствие стока, при достаточном напоре над осью дрены. В ГНУ «Институт общей и неорганической химии» были проведены исследования смачивания. Смачиваемость волокон измерялась в процессорных тензиометрах К100 фирмы KRUSS, на основании теории Вошборна. Сущность метода заключается в определении скорости, с которой жидкость с известными характеристиками смачивает волокнистый материал путем увеличения массы образца как функции времени. Изменение массы образцов при смачивании тестовыми жидкостями определяли в автоматическом режиме с использованием измерительной системы для определения углов смачивания волокнистых материалов. Расчет осуществлен с использованием программы LabDesk™ («Krus», Германия). На первом этапе определялась константа капиллярности, которая составила для ПНМ-ППВ-И-150 без гидрофильной добавки $2,17 \times 10^4 \text{ см}^5$, ПНМ-ППВ-И-130 с гидрофильной добавкой – 1,35, ПНМ-ППВ-Т-150 с гидрофильной добавкой – 0,88. На втором этапе были получены кинетические кривые смачивания гексаном и водой образцов полотна нетканого мелиоративного ПНМ-ППВ-И-130 с гидрофильной добавкой, ПНМ-ППВ-Т-150 с гидрофильной добавкой и ПНМ-ППВ-И-150 без гидрофильной добавки.

По результатам проведенного исследования в ГНУ «Институт общей и неорганической химии» можно заключить, что полотно «ПИНЕМА» с гидрофильной добавкой в представленном композиционном составе хорошо смачивается водой. Полотно ПНМ-ППВ-И-150 без гидрофильной добавки – не достаточно быстро. Ведущиеся всесторонние исследования ЗФМ помогут дифференцировано подходить к их применению в почвенно-грунтовых условиях Республики Беларусь.

УДК 681.518.3: 551.501

Многоканальная лабораторная измерительно-информационная система

Евдокимов В.А.

Белорусский национальный технический университет

Создание измерительно-информационных систем (ИИС) сбора и обработки данных является одним из приоритетных направлений развития науки и техники.

Сложившуюся ситуацию в ряде областей научных знаний можно охарактеризовать как «инструментальный кризис», то есть имеющееся в распоряжении лабораторий НИИ и вузов оборудование не всегда отвечает современным требованиям и не может быть использовано при изучении сложных природных процессов.

Современные ИИС призваны улучшить положение дел в сфере мониторинга за объектами промышленности, а также за экологическим состоянием природных экосистем.

В работе ИИС для сбора информации применяются датчики различных типов, что требует разработки аппаратно-программных средств, которые необходимы для подключения и преобразования их выходных сигналов в цифровую форму с последующей передачей для обработки на ЭВМ.

Многоканальная лабораторная ИИС, базовый элемент которой является модуль сбора данных (МСД) обеспечивает подключение широкой номенклатуры аналоговых и импульсных датчиков, выходные сигналы которых представляют собой электрический заряд, напряжение или ток.

При обработке принятых данных осуществляется их перевод в физические величины, рассчитываются числовые параметры, и проводится их статистическая обработка. Принятые и обработанные данные можно сохранить в формате, поддерживаемом Microsoft Office Excel.

Положительным примером практического применения ИИС могут служить экспериментальные исследования процесса распространения прерывной волны, образующейся при разрушении напорных гидротехнических сооружений.

Необходимо отметить, что результаты исследований характеризуются высокой степенью достоверности, подробно описывают быстропотекающий процесс и позволяют выявить малоизученные стороны этого явления.

Многоканальная лабораторная ИИС в перспективном отношении может рассматриваться как элемент более сложных систем мониторинга объектов различной сложности и протяженности бассейнов рек.

УДК 620.92

Обзор конструкций современных гидротурбин малых ГЭС

Коревицкий Г.А., Моргун С.В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие нетрадиционной энергетики, в общем, и гидроэнергетики в частности набирает темпы в Республике Беларусь. В послании Президента страны народному собранию подчеркнута важность развития нетрадиционных источников энергии; особо отмечено, что уже в ближайшее время в Беларуси необходимо достичь 20 % генерируемой энергии за счет собственных ресурсов. В последние годы построено большое количество ГЭС, однако технический и экономический гидроэнергетический потенциал Беларуси до конца далеко не исчерпан.

Вместе с тем, высокая стоимость строительства ГЭС с использованием "классического" типа гидросилового оборудования тормозит дальнейшее развитие гидроэнергетики. Зачастую срок окупаемости таких ГЭС превышает 20-25 лет.

Современные конструкции гидротурбин создают предпосылки для уменьшения стоимости строительства малых ГЭС. В частности применения вертикальных турбин с открытой турбинной камерой с разряжением позволяет расположить рабочее колесо выше отметки НПУ, увеличить длину отсасывающей трубы, что в конечном итоге позволяет значительно уменьшить заглубление подошвы здания ГЭС и, как следствие, сократить издержки на строительное водопонижение и объемы земляных работ.

Современные конструкции сифонных гидротурбин позволяют их размещать на затворы существующих паводковых водосбросов. Такая компоновка гидроагрегатов позволяет отказаться от строительства таких дорогостоящих элементов ГЭС как водозабор, водовыпуск, рисберма, подводящий и отводящий каналы и др.

В Беларуси уже имеется опыт строительства ГЭС с турбинами подобного рода, например Жодинская ГЭС, ГЭС Сычевичи, ГЭС Горенечи, ГЭС "Дрозды".

Применение новых, современных гидроагрегатов, безусловно, придаст новый дополнительный импульс в развитии гидроэнергетики и укрепит энергетическую безопасность нашей страны.

УДК 624.1

Экспериментально-теоретическое обоснование определения несущей способности буронабивных свай

Повколас К.Э., Корбут О.Б.

Белорусский национальный технический университет

В районах с плотной городской застройкой свайное основание под вновь возводимые здания выполняется из буронабивных свай по методу «полого шнека».

Изучение взаимодействия свай с грунтом является основой точного прогноза развития осадок и взаимных кренов сопряженных частей здания.

Перед авторами стояла задача построения пространственной конечно-элементной 3D информационной модели, наиболее точно отражающей фактическую работу как буронабивных свай, так и всех конструкций здания.

При использовании программного комплекса «Lira» моделирование осуществлялось методом конечных элементов в физически-нелинейной постановке. Неоднородное грунтовое основание заменялось объемными конечными элементами, что позволило оценить взаимное влияние сооружений, разделенных температурно-деформационными швами, и получить численные значения осадок и кренов на различных этапах строительства.

Для оценки достоверности созданной 3D модели сооружения смоделированы виртуальные испытания свай статическими нагрузками, и выполнены расчеты по определению зависимости нагрузки на оголовок сваи от его вертикального перемещения. Сравнение результатов расчетов с фактическими наблюдениями показало хорошую сходимость: расчетные данные по перемещению головы сваи, расположенной по центру высотной части здания, в диапазоне нагрузок до допустимой по прочности величины $F=2125$ кН расходятся с данными испытаний не более чем на 3,44%. Созданная 3D модель отражает реальную работу грунтового основания.

Расчет ветроустановки методом конечных элементов

Повколас К.Э., Корбут О.Б.

Белорусский национальный технический университет

Для ветроустановки с тремя лопастями высотой 70 м и средним диаметром опоры 2,75 м рассмотрены два расчетных случая: работа ветроколеса в оптимальном режиме и остановка колеса при наиболее неблагоприятном положении лопастей – две лопасти в верхнем положении, третья смотрит вниз и немного смещена в сторону относительно опоры для полного восприятия ветрового давления вместе с ней. Геометрические характеристики фундамента установки определены при помощи программного комплекса SCAD STRUCTURE.

Для проверки условий взаимодействия фундамента с грунтом определены максимальное, минимальное и среднее давления под подошвой, а также расчетные сопротивления грунтов в основании ветроустановок. Все три условия допустимости давлений под подошвой фундамента, требуемые ТКП, выполнены.

Напряженно-деформированное состояние фундамента исследовалось методом конечных элементов при помощи программного комплекса «LIRA». Фундаментная плита моделировалась пластиной с учетом радиального изменения геометрии (толщины плиты). Грунтовое основание моделировалось объемными конечными элементами с учетом его пространственной изменчивости в плане и по высоте.

Основные результаты расчета на ПК «LIRA» представлены в виде изополей вертикальных перемещений, изгибающих моментов в плите, вертикальных перемещений и сжимающих напряжений на вертикальном разрезе грунтового массива, эпюры изгибающих моментов и полей распределения площади рабочей арматуры на 1 м.п. сечения.

Выводы. Из приведенных изополей вертикальных перемещений и сжимающих напряжений следует, что размеры грунтового массива превышают границы сжимаемой толщи грунта. Максимальная осадка фундамента составляет 1,55 см, что меньше предельной 40 см. Крен фундамента составляет 0,000464, что меньше предельного 0,005. Отрыва подошвы фундамента не происходит.

Применение процесса флотации для подготовки жидких отходов молочного производства к утилизации

Медведев С.В., Кравцов А.М., Шахрай Д.С.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Согласно прогнозным показателям развития животноводства на период 2011-2015 гг. валовое производство молока должно достигнуть 10 млн. т в год. С наращиванием производства молочных продуктов возрастает объем отходов в виде сточных вод и молочной сыворотки. Рост объема жидких отходов молочного производства и нерешенность проблемы утилизации органических примесей создает угрозу окружающей среде.

При решении данной проблемы перспективным направлением является использование отходов молочного производства в качестве биотоплива для биогазовых установок. Такой опыт утилизации молочной сыворотки и сточных вод молочного производства уже имеется на предприятии Вилейский филиал ОАО «Молодечненский молочный комбинат», где установлены очистные сооружения и биогазовая установка. Сооружения предназначены для переработки до 100 т/день сточных вод, загрязненных органическими веществами, и до 150 т/д молочной сыворотки. В технологическую схему данных сооружений заложен процесс коагуляции.

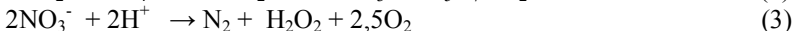
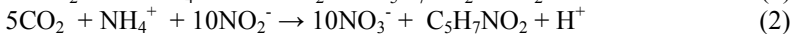
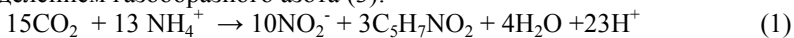
При подготовке биотоплива необходимо от общей массы жидких отходов отделить полезную биомассу. Одним из перспективных и целесообразных методов является процесс безреагентной флотации, который не требует применения реагентов и содержания реагентного хозяйства. В процессе флотации в смеси сточных вод и молочной сыворотки генерируются пузырьки газа. При движении на поверхность они сталкиваются с суспендированными частицами биомассы, которые прикрепляются к пузырькам и извлекаются в виде пены. Эффективность флотационной очистки в основном зависит от размера частиц и пузырьков газа. Для получения мелких пузырьков заданного размера можно использовать напорную флотацию. Сочетание напорной и струйной флотации использовано в локальных сооружениях для очистки нефтесодержащих сточных вод. На основе известных очистных сооружений, которые прошли внедрение и эксплуатируются на предприятиях Республики Беларусь, предполагается разработать сооружения для обработки жидких отходов молочного производства с последующей утилизацией извлеченных органических примесей на биогазовой установке.

Альтернативные методы удаления азота при биологической очистке сточных вод

Ануфриев В.Н., Чудина О.А., Немченко А.С.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с требованиями ТНПА из сточных вод на очистных сооружениях мощностью более 10 000 эквивалентов населения, а также очистных сооружений производственных сточных вод должны удаляться соединения азота. В настоящее время традиционным способом удаления соединений азота из сточных вод является биологическая денитрификации, которая основана на использовании такого свойства микроорганизмов как нитратное дыхание, заключающееся в ассимиляции связанного кислорода нитратов с выделением газообразного азота. Процесс проходит в несколько стадий. На первой стадии происходит окисление аммония (1), на второй полученный нитрит перерабатывается в нитрат (2). После происходит процесс деструкции нитратов при дыхании микроорганизмов, с поглощением связанных форм кислорода и выделением газообразного азота (3):



Для реализации данного процесса требуется довольно продолжительное время пребывания сточной воды смеси в сооружениях. Кроме того, для удаления азота по данному способу требуется значительное содержание органических веществ для питания денитрифицирующих бактерий с соотношением ХПК/TKN около 5,5, а также большого расхода воздуха для окисления органических соединений и аммония. Поэтому несмотря на достаточную изученность процесса и повсеместное его распространение интенсивно продолжают исследования направленные на повышение экономичности технологий удаления азота из сточных вод. В этом отношении весьма перспективными считаются микробиологические процессы, основанные на частичном окислении аммонийных соединений до получения нитритов и проведение стадии удаления азота в молекулярном виде денитритацией, а также процессы деаммонификации. В последнем случае удаление азота происходит за счет жизнедеятельности авторофных бактерий с анаэробном окислении аммонийных соединений в присутствии нитрита.

Приведенные выше процессы позволяет снизить расход кислорода до 25%, а также уменьшить и потребность в органических веществах для удаления азота.

**Перспективы использования грунтово-растительных площадок
для очистки сточных вод в условиях Республики Беларусь**

Ануфриев В.Н., Мурина А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Грунтово-растительные площадки предназначены для биологической очистки в воде или грунте с сопутствующим использованием влаголюбивой растительности. К грунтово-растительным площадкам относят сооружения, весьма отличающиеся по исполнению. Это – биопруды, в которых очистка сточных вод производится с применением биоценоза свободноплавающих растений или растений, произрастающих на грунте под водой или на берегах. Кроме того это сооружения, использующие для очистки сточных вод слой фильтрующей загрузки и влаголюбивую растительность, которая высаживается на почвенном слое над фильтрующей загрузкой.

Грунтово-растительные площадки с очисткой сточных вод в грунте имеют собственную классификацию в зависимости от направления движения фильтрационного потока воды в грунте. Различают площадки с горизонтальным и вертикальным потоком в грунте. При использовании площадок с горизонтальным потоком предварительно осветленная в септике вода может подаваться самотеком на площадку с фильтрующей загрузкой (мелкий гравий, крупнозернистый песок). Распределение сточной воды по площадке производится путем устройства слоя щебня, расположенного наклонно во внутренней части сооружения. Дренаж, который собирает профильтрованную воду, выполняется аналогичным способом с противоположной стороны сооружения. На площадках с вертикальным потоком предварительно осветленная в септике вода забирается насосом и подается в верхнюю распределительную систему трубопроводов, которая распределяет сточную воду по площади фильтрационной загрузки. Профильтровавшаяся вода собирается дренажными трубопроводами в нижней части загрузки. В отличие от других типов сооружений для очистки сточной воды в грунте, в данном случае не предусматривается последующее просачивание воды, профильтровавшейся через загрузку, в нижележащие слои грунта. Для предотвращения просачивания фильтрующая загрузка размещается над слоем гидроизоляции, который делают из полимерной пленки. Учитывая требования по сокращению количества полей фильтрации грунтово-растительные площадки могут стать основными сооружениями для замены полей фильтрации поскольку при простой исполнении они характеризуются высокой степенью очистки, надежностью работы и

простотой эксплуатацией.

УДК 628.161.2

Особенности биохимического удаления сероводорода из подземных вод

Седлухо Ю.П., Станкевич Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

Обширные регионы РФ обладают подземными водными ресурсами, содержащими сероводород. Однако использование данных запасов сероводородных вод для хозяйственно-питьевых целей весьма ограничено. Это приводит к необходимости поиска альтернативных источников водоснабжения, что для многих населенных пунктов весьма затруднительно. Решение данной проблемы лежит в использовании местных запасов сероводородных вод после соответствующей обработки.

Существующие методы удаления сероводорода из воды можно подразделить на следующие группы: физико-химические и биохимические. При использовании физико-химических методов происходит образование коллоидной серы, придающей воде мутность и опалесценцию, нарушение сульфидно-карбонатного равновесия. Требуется большие расходы реагентов и сложное реагентное хозяйство. Сдерживающим фактором широкого применения биохимического метода является его недостаточная изученность и необходимость проведения технологических изысканий конкретно на источнике водоснабжения.

На основании исследований С.Н. Виноградского и проведенных на реальной сероводородной воде ст. Староминская Краснодарского края лабораторных экспериментов по установлению влияния аэрационных процессов на состав и свойства сероводородных вод были разработаны технологические схемы биохимического удаления сероводорода. Технологические и конструктивные особенности схем базировались на предположении, что если производить умеренное насыщение воды кислородом воздуха, обеспечивающее только достаточные аэробные условия для серобактерий, то можно реализовать эффективный процесс двух стадийной биохимической очистки сероводорода с фиксацией образовавшейся серы внутри микробных клеток с последующим окислением ее до серной кислоты. Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы: 1) двухступенчатый биохимический метод удаления сероводорода способен снизить его концентрацию до нормативных требований (0,003 мг/л) в отличие от физико-химических методов; 2) отсутствие необходимости применения химических реагентов, энергоемкого оборудования ставят биохимический

метод в ряд наиболее ресурсо- и энергосберегающих; 3) использование природных биохимических процессов не продуцирует токсичных веществ или опасных для человека микроорганизмов.

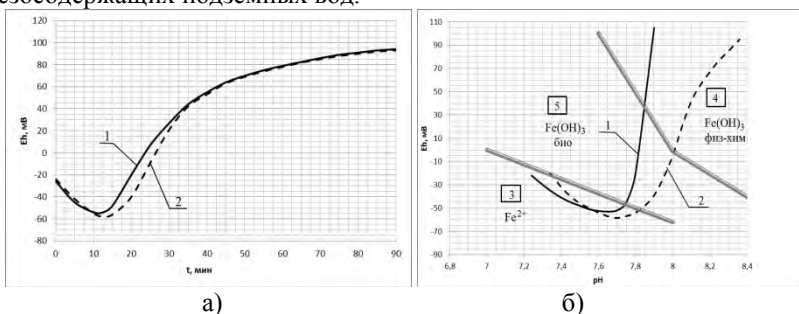
УДК 628.1:579.68

Исследование изменения окислительно-восстановительного потенциала при аэрационно-дегазационных процессах

Седлухо Ю.П., Лемеш М.И.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что скорость окисления растворенных форм железа и марганца зависит от многих факторов, в первую очередь, от величины pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и концентрации кислорода. Эти параметры в значительной степени можно изменять и регулировать аэрационно-дегазационными процессами на стадии предварительной подготовки воды. Характер изменения этих параметров в процессе аэрации исходной воды определяет способность к окислению находящихся в ней веществ и эффективность их удаления безреагентными методами. Поэтому для определения влияния процесса аэрации на эти параметры была выполнена серия экспериментов на подземных водах водозабора «Петровщина» г. Минска, результаты которых представлены на рисунке 1. Полученные зависимости характерны для большинства железосодержащих подземных вод.



1 – аэрация 15 мин; 2 – аэрация 90 мин; 3 – зона стабильности Fe^{2+} ; 4 – зона физико-химического окисления железа; 5 – зона биологического окисления железа
Рисунок 1 - Зависимость изменения Eh воды от продолжительности аэрации (а) и диаграмма стабильности железа в воде водозабора «Петровщина» (б)

Эти опыты показывают, что содержащееся в воде железо находится в легко окисляемой форме и может быть эффективно удалено безреагентными аэрационными методами, например, методом упрощенной аэрации или биологическим методом.

Исследование работы насосных агрегатов насосных станций оборотных рассолов ОАО «Беларуськалий»

Шейко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для исследования работы насосных агрегатов, транспортирующих рассол, был проведен анализ работы существующих насосных станций оборотных рассолов ОАО «Беларуськалий».

Плотность рассола, взятого из шламохранилища карты № 6 при температуре в 6 С, определялась весовым методом и составила 1173 кг/м^3 . Вязкость рассола при температуре пробы в 6°С определялась вискозиметром капиллярным типа ВПЖ-4 в лаборатории и составила $\nu = 1,61 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$. Химический состав рассолов следующий: содержание $\text{KCl} = 7,7 \%$, $\text{NaCl} = 17,4 \%$. Для расчета коэффициент абсолютной шероховатости Δ_3 принимался равный 0,5 мм для стальных труб.

Путем наложения характеристики сопротивления сети и напорной характеристики были определены фактические параметры H_a и Q_a насосного агрегата ЦНС 180-1050, работающего на рассол (рисунок 1).

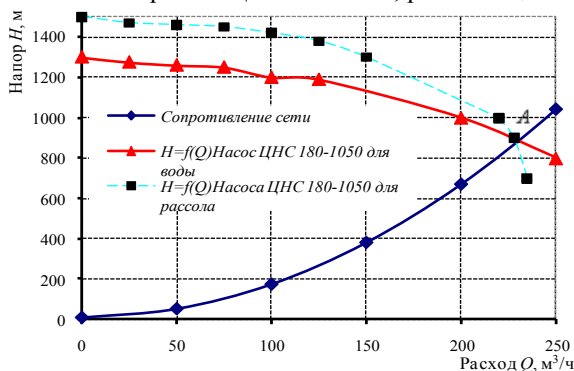


Рис. 1 – Характеристика насоса ЦНС 180-1050 и сети

В результате пересечения напорной характеристики насоса, работающего на рассол (штриховая линия на рисунке 1), и сопротивления сети определяется рабочая точка А и фактический напор и расход. Для данного насоса также наблюдается резкое снижение напоров в

конце напорной характеристики. Анализ работы насосов показал, что с увеличением плотности перекачиваемого рассола, характеристика насоса изменяется в сторону увеличения напора в начале кривой и резкого снижения в конце. Данный факт необходимо учитывать при подборе насосного оборудования для транспортировки рассолов хвостов обогащения.

Пропуск строительных расходов на Немане и Западной Двине

Сапожников Е.Г.², Майорчик А.П.¹

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Филиал БНТУ «Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала»

При строительстве Гродненской (на Немане) и Полоцкой (на Западной Двине) ГЭС использовались следующие схемы пропуска строительных расходов:

- с отводом воды из естественного русла;
- без отвода воды из естественного русла;
- комбинированный способ.

В состав временных сооружений для пропуска строительных расходов на Западной Двине входили обводной канал, низовая и верховая поперечные земляные перемычки, площадки складирования излишков грунта. Пропуск строительных расходов осуществлялся с помощью обводного канала, устраиваемого с левого берега реки. Глубина врезки обводного канала в левый берег диктовалась отметками дна. Канал выполнен таким образом, чтобы оставить нетронутым грунтовый массив со стороны котлована, который служит продольной ограждающей перемычкой.

Ширина обводного канала по дну составляет 73 м, длина 950 м, максимальная глубина в его центральной части 18,7 м, крепление откосов и дна канала на входе выполнено слоем щебня (фракции 50-80 мм) толщиной 300 мм.

Поперечные земляные перемычки, предотвращающие поступление воды из реки в котлован со стороны нижнего и верхнего бьефа, с правого берега сопрягаются с естественными отметками земли, с другой стороны – с целиком грунтового массива, оставленного при разработке обводного канала. Подводная часть перемычек устраивается путем пионерной отсыпки в воду каменного материала с примесью местного грунта (5%), надводная часть – из местного грунта насухо с послойным уплотнением.

Максимальная высота перемычек составляет 14 м, ширина по гребню – 6 м, заложение откосов со стороны котлована и со стороны реки – 1:2,5. Для уменьшения фильтрации через тело перемычек, а также во избежание развития контактной фильтрации между перемычками и основанием в их теле устраивается шпунтовая диафрагма из шпунта ШП-1.

При строительстве Гродненской ГЭС пропуск строительных расходов выполнялся без отвода воды из естественного русла с использованием двухрядной шпунтовой перемычки.

**Создание учебно-методического комплекса по дисциплине
«Инженерная экология» для студентов специальности
«Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»**

Бракович И.С., Золотарева И.М.

Белорусский национальный технический университет

Учебно-методические комплексы (УМК) разрабатываются в соответствии с Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26 июля 2011 г. N 167 «Об утверждении положений об учебно-методических комплексах по уровням основного образования».

УМК предназначен для реализации требований образовательных программ и образовательных стандартов высшего образования и создается по учебной дисциплине, в данном случае по дисциплине «Инженерная экология», которая преподается на 3 курсе студентам специальности «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

Структурными элементами научно-методического обеспечения, которые могут объединяться в УМК, являются:

- 1) учебно-программная документация образовательных программ высшего образования: учебный план учреждения высшего образования по специальности и учебные программы по учебной дисциплине;
- 2) учебно-методическая документация: методики преподавания учебной дисциплины, методические рекомендации;
- 3) учебные издания, необходимые для реализации образовательных программ.

Теоретический раздел УМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины в объеме, установленном типовым учебным планом по специальности.

Практический раздел УМК содержит материалы для проведения лабораторных, практических, семинарских и иных учебных занятий и организовывается в соответствии с учебным планом учреждения высшего образования по специальности.

Раздел контроля знаний УМК содержит материалы текущей и итоговой аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Создание УМК включает в себя следующие этапы: разработку, рецензирование, согласование, утверждение.

УМК по дисциплине «Инженерная экология» создан и проходит стадию согласования и утверждения.

Особенности формирования микроклимата в помещении при его расположении на нижнем, среднем и верхнем этажах здания

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

В данном исследовании рассмотрено влияние этажа, на котором расположено помещение, на формирование параметров микроклимата.

Использован программный комплекс собственной разработки, предназначенный для расчета нестационарных многомерных полей параметров микроклимата в помещениях. Математическая модель учитывает теплопередачу в ограждениях, естественную конвекцию в воздухе помещения, лучистый теплообмен между внутренними поверхностями ограждений, остеклением и наружной средой.

Расчетная область представляет собой вертикальный разрез по окну ограждающих конструкций и воздушной среды помещения. Расчеты проведены для четырех видов отопительных приборов: радиатора, конвектора, подоконной отопительной панели и напольного отопления. Тепловые нагрузки приборов заданы в соответствии с тепловым балансом помещений, рассчитанным по традиционной методике.

Помещение на среднем этаже граничит с аналогичными помещениями, имеющими заданную температуру в 20°C. Помещение нижнего этажа расположено над подвалом с температурой +5°C. На верхнем этаже потолок представляет собой совмещенное покрытие.

Анализ результатов показал, что поля температуры и скорости воздушной среды в условиях применения одного и того же отопительного прибора в помещениях всех этажей имеют подобный характер. Отличия в численных значениях параметров вызваны, главным образом, различающейся мощностью приборов.

В случае применения радиатора, конвектора и подоконной панели наблюдаются сходные картины движения воздуха, поскольку приборы компактны и расположены под окном у наружной стены. При напольном отоплении формируются отличающиеся поля скоростей и температур воздушных потоков. Охлаждаемый окном и наружной стеной воздух не встречает препятствия в виде нагретого отопительным прибором восходящего потока воздушной среды. Подогрев настилающейся холодной струи осуществляется далее теплым полом.

Таким образом, применение численного моделирования позволяет выбрать наиболее подходящий нагреватель для конкретных условий размещения помещения, его геометрических характеристик и прочих определяющих факторов.

Исследование и разработка многокомпонентных составов топлива с возможностью их использования в котельных установках в качестве местных видов топлива

Хрусталёв Б.М., Пехота А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Во всём мире и Республике Беларусь одним из направлений повышения экономической эффективности производства признано эффективное использование сырьевых, возобновляемых и вторичных ресурсов (отходов).

В настоящее время в качестве местных видов топлива активно используется биомасса в виде твердого топлива (дров, брикетов, щепы, пеллет).

Однако существует ряд низкосортного сырья – древесных отходов и углеводородсодержащих отходов (УВСО), – использование которых не находит технологического применения. Поиск путей эффективного использования этих отходов в качестве топлива, позволяет использовать их значительный энергетический потенциал.

Одной из основных целей данной научной работы, является изучение технической возможности создания различных компонентных составов твёрдого топлива с оптимальным технологическим и экологическим содержанием малоиспользуемых УВСО. Для расчета энергетической эффективности технологического объединения древесных и УВСО и оценки их энергетической ценности топлива использовался эксергетический метод термодинамического анализа.

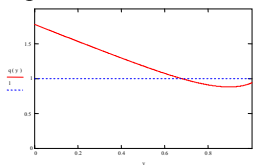


Рисунок 1. График зависимости безразмерной концентрации q от доли первого компонента топлива для котла мощностью 18МВт

Совместное рассмотрение уравнения регрессии, описывающей зависимость производительности котельной установки, её расчетной нагрузки, КПД и формул, связывающих экологические параметры котельной установки при сжигании в нем твёрдого топлива многокомпонентного и доли этом топливе нефтепродуктов, позволяет рассчитать оптимальные с энергетической и экологической точки зрения составы топлива твёрдого многокомпонентного.

Основная цель выполненной научной работы достигнута в виде разработки эффективного способа получения топлива и построения математической модели, позволяющей рассчитывать оптимальные с энергетической и экологической точек зрения составы. Разработанная технология и составы топлива, позволяют использовать низкосортные древесные и углеводородсодержащие отходы для получения топлива твёрдого многокомпонентного, что позволяет расширить гамму местных видов топлива и способствует повышению их удельного веса в топливно-энергетическом балансе.

К вопросу о расчете газопроводов из полиэтиленовых труб

Артихович В.В., Киселева М.С., Курило Е.В., Малыш А.А., Тунчик А.Г.
Белорусский национальный технический университет

При расчете газопроводов из полиэтиленовых труб используются номограммы для труб диаметром до 225 мм с абсолютной шероховатостью $k_3 = 0,0007$ см. В Республике Беларусь рекомендуется использовать для строительства распределительных газопроводов полиэтиленовые трубы диаметром до 315 мм с $k_3 = 0,002$ см. Поэтому возникла необходимость в построении номограмм для расчета газопроводов из таких труб.

Распределительные газопроводы работают в турбулентном режиме.

Газопроводы низкого давления работают в области гидравлически гладких труб. Для определения потерь давления в полиэтиленовых газопроводах низкого давления с $k_3 = 0,002$ см может быть использована формула [1]:

$$\Delta P = 43,39 \frac{V_p^{1,75}}{d^{4,75}} \rho_0 \nu^{0,25} \cdot l, \quad (1)$$

где ΔP – потери давления на участке газопровода, Па; V_p – расчетный расход газа, м³/ч; d – внутренний диаметр газопровода, см; ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях, кг/м³; ν – коэффициент кинематической вязкости газа, м²/с; l – длина участка газопровода, м.

Распределительные газопроводы среднего и высокого давления работают в режиме гидравлически шероховатых труб. Для расчета потерь давления в полиэтиленовых газопроводах среднего и высокого давления из полиэтиленовых труб с $k_3 = 0,002$ см может быть использована формула [1]:

$$P_n^2 - P_k^2 = 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{V_p^2}{d^{5,25}} \cdot \rho_0 \cdot l_p, \quad (2)$$

где P_n и P_k – соответственно начальное и конечное давление на участке газопровода, МПа; l_p – расчетная длина участка, км. По выражениям (1) и (2) определены удельные R , Па/м, и среднеквадратичные A , МПа²/км, потери давления для полиэтиленовых газопроводов всех давлений с $k_3 = 0,002$ см. Анализ результатов расчетов показывает, что различие удельных потерь давления в газопроводах с $k_3 = 0,002$ см по сравнению с газопроводами с $k_3 = 0,0007$ см составляет от 10 до 30 %.

Литература:

1. ТКП 45-4.03-68-2007. Распределительные газопроводы. Порядок гидравлического расчета / Минск, 2008. – 50 с.

Истечение газа через сверхзвуковые сопла

Акельев В.Д., Калининченко Е.С., Лонская Т.Г.
Белорусский национальный технический университет

В зависимости от технического назначения сверхзвукового сопла возникают специфические задачи расчёта: например, в системе пожаротушения необходимо обеспечить создание потока газа низкой температуры в выходном сечении сопла. Задачей исследования является определение наиболее эффективной формы сверхзвукового сопла при его заданных габаритных размерах и термодинамических характеристиках сред для возможности применения сопла Лавала в пожаротушении. Эти и другие технические задачи привели к бурному развитию теории сопла, учитывающей наличие в газовом потоке жидких и твёрдых частиц, неравновесных химических реакций, переноса лучистой энергии и др., что потребовало широкого применения компьютерных технологий для решения указанных задач, а также для разработки сложных экспериментальных методов исследования сопла Лавала. Схематически оно состоит из двух усечённых конусов, сопряжённых в сечении с минимальными размерами.

Целью расчёта являлось определение оптимальных конструктивных параметров сверхзвукового сопла, при которых будет наблюдаться наиболее значительное снижение температуры смеси газа на выходе из сопла Лавала. Выбор оптимального для заданной системы сопла Лавала представляет собой сложную задачу, связанную с газодинамическим расчетом вязкого и невязкого течения внутри сопла с учетом его взаимодействия с внешним потоком. В рамках этой модели течения (смесь газа определенного состава) при отсутствии отрыва потока представляется возможным с достаточной точностью определить оптимальное сверхзвуковое сопло для заданных условий.

Применение *сопла Лавала* позволяет получить повышенную скорость газа, за счет чего улучшается качество распыления и уменьшается расход газа.

Сравнение термодинамических параметров аэрозольной смеси, полученных расчётным путём и с использованием программы показывает их близкое совпадение.

На основании рассчитанных термодинамических параметров построены графические зависимости, которые позволяют анализировать состояние газа по длине сопла и при необходимости корректировать термодинамические параметры на входе в конфузор и диффузор и их локальные зависимости.

Параметры потока воздуха в поперечных сечениях струи, истекающей из сопла Лавалия

Акельев В.Д., Калиниченко Е.С., Кравчук К.А., Лонская Т.Г.
Белорусский национальный технический университет

Струи – потоки капельных, газообразных жидкостей (изотермические, неизотермические, компактные, плоские, кольцевые с конечными поперечными размерами). Геометрическая форма приточного насадка определяет форму и закономерности развития истекающей из него струи.

Рассматривались струи воздушной смеси, истекающих из сопла Лавалия в объем, находящийся в условиях пожара, характеризующиеся высокими температурами воздуха $T_{\infty,2}$ и активным теплообменом между истекающей воздушной смесью и источниками теплоты.

Исследуемая струя имеет низкую температуру $T_{\infty,1}$, сверхзвуковую скорость и истекает из сопла цилиндрического сечения, является компактной, турбулентной, неизотермической, слабо охлажденной. Анализ профиля температур в сечениях струи выполнялся с использованием выражения

$$\vartheta = \frac{N}{x} \exp\left(-\left(6,1 \frac{y}{x}\right)^2\right),$$

где ϑ – избыточная температура в поперечном сечении струи;

N – тепловая характеристика осесимметричной струи;

x, y – координаты характерной точки в сечении струи.

Графическая интерпретация уравнения представлена на рисунке 1.

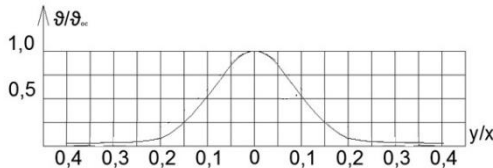


Рисунок 1. Профиль избыточной температуры в поперечном сечении струи

Аналогичные эпюры построены для температур воздуха $T_{\infty,2}$ в диапазоне от 100°C до 800°C и для сечений при различных расстояниях от локального сечения струи до выходного сечения сопла (параметр X); представлены функциональные зависимости избыточной температуры на оси струи от x при постоянных значениях температуры внутреннего воздуха в объеме и на оси струи относительно различных значений температуры воздуха при неизменных значениях x .

**Анализ методик расчёта воздухообмена и воздухораспределения
в помещениях зданий с большой площадью
светопрозрачных конструкций**

Борухова Л.В., Шибeko А.С.

Белорусский национальный технический университет

Системы вентиляции общественных зданий, в том числе с большой площадью светопрозрачных конструкций, должны поддерживать требуемые метеорологические условия в помещениях при минимальных затратах на подготовку и подачу воздуха. Это достигается определением оптимального соотношения количества, способа подачи и распределения воздуха в помещении.

Воздухообмен в помещениях рассчитывается на основании баланса количества выделяющихся вредностей (избыточной теплоты, влаги, вредных газов) и ассимилированных приточным воздухом. Однако для некоторых помещений требуемый воздухообмен в холодный период года рассчитывается исходя из санитарно-гигиенической нормы приточного воздуха на одного человека. На основании этого количества воздуха определена кратность воздухообмена, которая показывает количество воздуха, которое должно поступать или удаляться из помещения в час, отнесённое к внутреннему объёму помещения. В настоящий момент ТКП 45-3.02-209-2010 «Административные и бытовые здания» для рабочих кабинетов устанавливает величину кратности воздухообмена для рабочих кабинетов $1,5 \text{ ч}^{-1}$. Однако исследования показывают, что кратности, определённые для холодного периода года, не учитывают теплопоступления от установленной оргтехники, а в тёплый период года не учитываются теплопоступления от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции. В результате расчётов было установлено, что требуемая для ассимиляции избытков теплоты кратность воздухообмена в $5 \dots 8$ раз (в зависимости от ориентации) выше нормативной. Таким образом, необходима корректировка существующих кратностей.

Расчёт воздухораспределения основан на теории турбулентных струй, разработанной Г.Н. Абрамовичем и приближённой к решению задач вентиляции М.И. Гримитлиным, В.Н. Талиевым, И.А. Шепелевым. Воздух, выходя из воздухораспределителей, формирует струи с различным распределением параметров в них. В зависимости от типа и конфигурации воздухораспределителя, схемы подачи воздуха в помещение можно получить различные сочетания параметров в струе и в воздухе помещения. Тем самым можно достичь требуемых метеорологических условий в

рабочей (обслуживаемой) зоне помещения.

УДК 697.1.003.1

Системы противопожарной защиты в высотных зданиях

Борухова Л.В., Бедрицкая Е.П.

Белорусский национальный технический университет

Высотные здания представляют собой сложные объекты, в которых имеет место специфический воздушно-тепловой режим. В Беларуси нет необходимого опыта проектирования, строительства и эксплуатации таких зданий. К системам вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий предъявляются повышенные требования. Также в высотных зданиях должно уделяться большое внимание системам противодымной защиты. На сегодняшний день разработан ряд точных методик проектирования специальных систем вентиляции, предназначенных для защиты при пожаре. В связи с этим хотелось бы отметить ряд рекомендаций, недавно принятых ассоциациями NFPA (National Fire Protection Association – Американская ассоциация пожарной защиты) и ASHRAE (Американское общество инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха) в отношении организации систем противодымной защиты (особенно для высотных зданий как наиболее подверженных неконтролируемому распространению дыма при пожаре). Такие системы должны выполнять следующие задачи:

- предотвращать распространение дыма из очага возгорания на другие помещения;
- предотвращать распространение дыма в направлении основных путей эвакуации (обеспечить безопасные пути отступления максимальной протяженности);
- одновременно обеспечивать на смежных к очагу возгорания участках приемлемую среду для персонала служб спасения и пожаротушения;
- предусмотреть защищенную от дыма и пожара зону безопасности на каждом этаже здания;
- обеспечить подпор воздуха в лестничной клетке (положительный) и лифтовой шахте (регулируемый);
- предусмотреть огнезащитное зонирование каждого отдельного этажа.

С развитием высотного строительства много вопросов возникает при проектировании систем противопожарной вентиляции, которые могут быть как самостоятельными (работающими только во время пожара), так и гибридными (совмещенными с общеобменной вентиляцией). Поэтому принятое решение должно быть обосновано как техническими, так и экономическими расчетами.

Тепловая аккумуляция в теплоснабжении

Станецкая Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

В целях развития теплоснабжения в Беларуси разработана Концепция развития теплоснабжения в Республике Беларусь на период до 2020 года, в которой определены основные направления развития теплоснабжения. Среди них максимальное использование возможности комбинированной выработки тепловой и электрической энергии. Одним из способов дальнейшего улучшения концепции когенерации является применение тепловых аккумуляторов.

Центральные вытеснительные тепловые аккумуляторы на объектах объединенной энергосистемы Республики Беларусь практически не используются, в то время как в большинстве европейских стран, и в частности в Дании, в настоящее время почти все системы централизованного теплоснабжения со станциями комбинированного цикла оснащены одним или несколькими тепловыми аккумуляторами. Тепловые аккумуляторы, используемые в энергетических системах Дании, предназначены для кратковременного хранения энергии. При этом содержание воды в аккумуляторной емкости постоянно по весу и не зависит от запаса тепловой энергии. Температуры зарядки и разрядки являются важнейшим фактором, определяющим размеры аккумулятора. Применение тепловых аккумуляторов позволяет в часы пиковых нагрузок за счет разгрузки паровых турбин по тепловой мощности вырабатывать дополнительную электрическую мощность. Существующие отдельные тарифы на пиковую, полупиковую и базовую электроэнергию в Дании позволяют получить высокий экономический эффект от строительства аккумуляторов тепла.

Объединенная энергосистема Республики Беларусь характеризуется большим удельным весом паротурбинных ТЭЦ, что обуславливает в ряде случаев их использование в регулировании генерации электроэнергии. Для устранения пережога топлива, который имеет место в настоящее время, предлагается метод регулирования мощности, основанный на тепловом аккумуляровании. Суть метода такова: за счет тепловых аккумуляторов увеличить неравномерность генерации электроэнергии на ТЭЦ в соответствии с неравномерностью графика электрических нагрузок. При этом сохраняется суточный отпуск тепловой энергии из отборов турбин без привлечения пиковых котлов к покрытию нагрузок. В результате уменьшается прямое сжигание газа в котлах, а конденсационные мощности заменяются теплофикационными.

Особенности центрального качественного регулирования теплоснабжения при независимом присоединении систем отопления абонентов

Копко В.М., Волохович Д.А.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция перехода к подключению систем отопления зданий к тепловым сетям по независимой схеме, через эффективные пластинчатые теплообменники. Системы зависимые с элеваторным смешением уходят в прошлое как неэффективные, с бесполезной потерей энергии сетевой воды в соплах элеваторов. Появляются группы зданий, кварталы застройки с независимым подключением систем отопления к существующим теплосетям и источникам теплоты, центральное качественное регулирование теплоснабжения в которых осуществляется по отопительному графику как для систем отопления подключенных по зависимой схеме.

Чтобы обеспечить расчетный тепловой режим в системах отопления зданий, подключенных по независимой схеме, в тепловой сети необходимо увеличить температуру сетевой воды в подающем трубопроводе на входе в теплообменник на $(4\div 6)^\circ\text{C}$ по сравнению с температурой сетевой воды в подающем трубопроводе при зависимом подключении систем отопления, так как в теплообменнике неизбежна величина недогрева вторичного теплоносителя на $(4\div 6)^\circ\text{C}$.

Это возможно осуществить без проблем при использовании индивидуальных источников теплоты, например, крышных котельных, или квартальных котельных, обеспечивающих группу зданий с независимым подключением систем отопления.

В реальных случаях, при уплотнении существующей застройки строительством новых зданий и групп зданий с независимыми схемами присоединения систем отопления к существующим теплосетям и теплоисточникам, осуществляющим подачу теплоты по отопительному графику для зависимых схем отопления, почти во всех случаях во вновь вводимых зданиях наблюдается «недотоп».

Одним из способов недопущения «недотопа» является дополнительное местное количественное регулирование в индивидуальном тепловом пункте (ИТП) увеличением расхода первичного теплоносителя – сетевой воды через отопительный теплообменник.

Некоторые результаты определения коэффициентов потенциалопроводности массопереноса строительных материалов

Лешкевич В.В., Черванева Е.А.

Белорусский национальный технический университет

В теории массопереноса распространенными являются следующие виды записи уравнения массопереноса

$$c_{\theta}\rho \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = d \operatorname{div} (\lambda_{\theta} \nabla \theta + \lambda_{\theta} \delta \nabla t) \quad (1) \qquad c_m \rho \frac{\partial u}{\partial \tau} = d \operatorname{div} (\lambda_m \nabla u + \lambda_m \delta \nabla t) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = d \operatorname{div} (a_{\theta} \nabla \theta + a_{\theta} \delta \nabla t) \quad (2) \qquad \frac{\partial u}{\partial \tau} = d \operatorname{div} (a_m \nabla u + a_m \delta \nabla t) \quad (4)$$

где a_m – коэффициент диффузии влаги – является основным коэффициентом массопереноса. При использовании шкалы потенциала влажности применяется коэффициент потенциалопроводности массопереноса a_{θ} . Известно около двадцати методов определения a_m , реализация большинства которых требует специально изготовленного оборудования, поддержания точного значения влажности воздуха, поддержания точного значения температуры на гранях образца и др. Избавлены от указанных недостатков методы, разработанные А.В. Лыковым, В.Д. Ермоленко, А.Г. Перехоженцевым [1; 2].

В данной работе для определения коэффициента a_m использовался основанный на методе В.Д. Ермоленко метод А.Г. Перехоженцева с некоторыми усовершенствованиями – сушка образцов производилась в эксикаторах над концентрированным раствором серной кислоты, помещенных в термостат, что позволило избежать влияния конвективных токов в помещении, а также значительных колебаний температуры. Авторами получены значения a_m для ячеистого бетона плотностью 400 кг/м³ при температуре +25 °С и +6 °С. Выполнен анализ полученных данных и сравнение результатов с данными других исследователей. Установлено, что наблюдается высокая сходимость полученных значений с данными А.Г. Перехоженцева, и А.Н. Стерлягова [3].

Литература:

1. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: Издательство АН БССР, 1961. – 519 с.
2. Перехоженцев, А.Г. Вопросы теории и расчета влажностного состояния неоднородных участков ограждающих конструкций зданий / А.Г. Перехоженцев. – Волгоград: ВолгГАСА, 1997. – 273 с.
3. Стерлягов, А.Н. Совместный тепло- и влагоперенос в ограждающих конструкциях зданий из газобетона: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.03 / А.Н. Стерлягов. – Новосибирск, 2007. – 138 с.

Методика подбора трехходовых смесительных регулирующих клапанов систем теплоснабжения

Покотилов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Трехходовой регулирующий орган (РО) применяется для разделения или смешивания регулируемых потоков теплоносителей. При автоматическом смешивании потоков осуществляется качественное регулирование, а именно изменение температуры теплоносителя при постоянном его расходе. Гидравлический расчет регулируемого участка выполняется на расчетный расход теплоносителя при полном открытии РО, сопротивление которого характеризуют *авторитетом клапана* a_v или *модулем* n_v . Одной из основных регулировочных характеристик регулируемого участка является *форма расходной характеристики* РО при различных значениях авторитета клапана a_v (или модуля n_v). Для обеспечения надежной работы системы автоматического регулирования в пределах всего диапазона рабочего хода штока РО необходимо, чтобы форма расходной характеристики РО для проектируемого регулируемого участка была линейной или близкой к ней. Можно отметить такой диапазон расходных характеристик, в котором данный тип клапана будет обеспечивать качественное регулирование:

- клапаны с *линейной пропускной характеристикой* следует применять, задаваясь авторитетом клапана $a_v > 0,4$ (или модулем $n_v < 1,5$);
- клапаны с *равнопроцентной пропускной характеристикой* следует применять, задаваясь авторитетом клапана $0,1 < a_v < 0,3$ (или модулем $3 < n_v < 10$).

В крайнем положении штока трехходовой РО перекрывает сетевую воду, и общий циркуляционный поток проходит через полностью открытый клапан подмешивающего трубопровода. Данная гидравлическая схема циркуляционного кольца является расчетной в методике подбора трехходового РО для узла смешения. В этом случае данное циркуляционное кольцо является расчетным регулируемым участком.

Для трехтрубной системы отопления методика подбора трехходового смесительного клапана отличается от методики для узлов смешения. Методика его подбора является схожей с методикой подбора трехходового регулирующего органа для схемы с разделением потока. Реализуется режим качественного регулирования, при котором с целью автоматического изменения регулируемого параметра изменяется температура теплоносителя за счет подмешивания обратного теплоносителя.

Гелиосистемы горячего водоснабжения многоквартирных жилых домов

Покотилов В.В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Условно гелиосистемы подразделяют на небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в конструкции этих гелиосистем.

Конструкция гелиосистемы зависит от задаваемых исходных данных (рисунок 1).

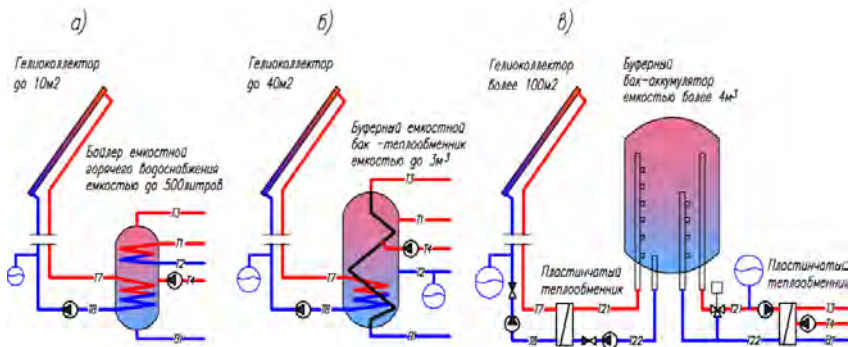


Рисунок 1 Конструкция гелиосистемы в зависимости от площади гелиоколлектора.

Для систем с гелиоколлектором примерно до 40 м² применяют бак-аккумулятор со встроенными поверхностями нагрева. Таким образом, с помощью одного устройства обеспечивается температурное расслоение по высоте бака, суточное аккумулирование тепловой энергии, нагревание воды от гелиосистемы и от дополнительных источников энергии. При этом небольшие системы (рис. 1а) используют емкостной бойлер горячего водоснабжения, сочетающий в себе функции бака-аккумулятора.

Так называемые средние гелиосистемы (рис. 1б) с необходимостью применения аккумуляторов до 3 м³ используют буферную ёмкость с размещением в ней теплообменных змеевиков контура гелиоколлектора и контура горячего водоснабжения.

Для крупных гелиосистем применяют скоростные пластинчатые теплообменники, отделяющие контур гелиоколлектора от контура горячего водоснабжения с помощью промежуточного между ними контура с буферным баком-аккумулятором ёмкостью более 4 м³.

**Методика расчета гелиосистемы отопления
с естественной циркуляцией**

Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Расчет гелиосистемы с естественной циркуляцией при применении воздушных гелиоколлекторов рекомендуется производить в следующей последовательности:

1. Выявляют расчетный период и соответствующие ему параметры;
2. Определяют температуру воздуха на выходе из гелиоколлектора (t_k);
3. Определяют величину располагаемого циркуляционного давления ($P_{ц}$);
4. Определяют значение определяющего критерия (B), предварительно приняв значение (G/F). Рекомендуется принимать данное значение в пределах $0,006-0,008 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Следует учитывать, что с увеличением (G/F) необходимо будет при аэродинамическом расчете соответственно увеличить размеры воздухопроводов;
5. Вычисляют эффективность гелиоколлектора и определяют расчетный тепловой поток на нагревание теплоносителя и полную расчетную теплопроизводительность гелиосистемы;
6. Определяют расчетный расход воздуха в гелиосистеме;
7. По заданным значениям $P_{ц}$ и G выполняют аэродинамический расчет гелиосистемы с целью определения размеров воздухопроводов. При невозможности конструктивной увязки элементов системы с конструкцией здания, а также по иным причинам, требующим изменения размеров воздухопроводов, необходимо повторить расчет при других значениях (G/F);
8. По расчетным значениям B , Θ_k , $\Theta_{н}$, q_c определяют значение характеристики сопротивления;
9. Вычисляют значения эффективности гелиоколлектора для каждого месяца отопительного периода;
10. Для каждого месяца отопительного периода определяют среднесуточную теплопроизводительность коллектора;
11. Для каждого помещения вычисляют расчетную интенсивность теплопотерь;
12. Определяют расчетную мощность системы отопления от традиционного источника теплоты;
13. Для каждого месяца отопительного периода определяют среднесуточные теплопотери отдельных помещений и здания в целом. Определяют по месяцам годовой тепловой баланс здания с целью выявления годовой эффективности использования гелиосистемы для отопления здания.

Взаимное влияние параметров микроклимата ледовых арен

Сомова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Отличительной чертой функционирования любых крытых ледовых арен является их разнообразность использование. В один и тот же день в них могут проводиться тренировки, хоккейные матчи и массовые катания. Меняющийся характер мероприятия влечет за собой изменение параметров микроклимата. Необеспечение последних вызывает дискомфорт людей, находящихся в обслуживаемых зонах, а также проблемы, связанные со льдом и конструкциями.

Практика и многочисленные исследования помогли определить параметры микроклимата, которые позволяют избежать обозначенных выше проблем: для исключения появления тумана в зоне льда и конденсации влаги на ограждающих конструкциях, необходимо поддерживать влагосодержание воздуха ниже 4 г/кг; относительная влажность внутри ледовых сооружений должна быть не выше 60%; температура воздуха – в пределах 8-15°C.

Настоящее исследование посвящено выявлению взаимного влияния таких параметров микроклимата, как температура и влагосодержание воздуха на действующей ледовой арене. В качестве температуры использовалась абсолютная температура точки росы над ледовым покрытием. В результате эксперимента варьировались освещенность ледового поля, присутствие людей, количество заливок, радиационная температура ограждающих конструкций. Обработка экспериментальных данных проводилась с использованием уравнения регрессии, в результате получена эмпирическая зависимость влагосодержания воздуха X , г/кг:

$$X = 622 / [P \cdot \exp(-(g/T)) - h - k \cdot T - l \cdot T^2 - m \cdot T^3 - n \cdot T^4 - q \cdot \ln(T) - 1]$$

где:

 h_g – удельная энтальпия насыщенных водяных паров при 0°C;

$$g = -5,6745359 \cdot 10^3, \quad k = -9,677843 \cdot 10^{-3},$$

$$l = 6,22115701 \cdot 10^{-7}, \quad m = 2,0747825 \cdot 10^{-9},$$

$$n = -9,484024 \cdot 10^{-13}, \quad q = 4,1635019,$$

$$T = t_{dp} + 273,15, \text{ К;}$$

 t_{dp} – температура точки росы; P – атмосферное давление.

Коэффициенты g , k , l , m , n , q учитывают влияние варьируемых величин.

Подземное хранение природного газа в мире и Беларуси

Янчук Л.Ф.¹, Могилат Г.А.², Липская С.А.²

¹ Государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров в области газоснабжения «Газ-Институт»,

² Белорусский национальный технический университет

Природный газ в ближайшие десятилетия будет играть ключевую роль в энергопотреблении всех стран, особенно Евросоюзе (ЕС), и значение его будет только возрастать ($\approx 30\%$ в 2035 г.).

С целью повышения надёжности и гибкости поставок газа на рынки разработана программа по созданию Единой Транснациональной системы Газоснабжения (ЕТСГ), которая на качественно новом уровне обеспечит поставки газа потребителям в любых ситуациях. Россия является основным поставщиком газа на территории европейских государств. Для создания Единой системы ЕТСГ, кроме строительства новых газопроводов, предусматривается реконструкция и модернизация существующей системы с возможностью подачи газа в обоих направлениях (аверс и реверс); особенно важным способом повышения гибкости поставки газа служат подземные хранилища газа (ПХГ), которые представляют собой универсальный способ регулирования неравномерности газопотребления и резервирования.

Большая часть ПХГ в мире имеет газовый сезонный цикл. Газ закачивается в них с апреля по октябрь, когда добыча превышает реальные потребности, а отбирается с ноября по март, когда существует необходимость в дополнительных поставках.

Система подземного хранения газа выполняет следующие функции: регулирование сезонной неравномерности газопотребления; хранение резервного газа; регулирование неравномерности экспортных поставок газа; обеспечение подачи газа в случае нештатных ситуаций; создание долгосрочных резервов газа на случай форс-мажорных обстоятельств при добыче или транспортировке газа.

Расширение мощностей ПХГ – одно из важнейших и стратегических задач «Газпрома». В настоящее время ОАО «Газпромтрансгаз Беларусь» эксплуатирует два подземных хранилища газа, созданных в водоносных отложениях – Осиповичское и Мозырское ПХГ в соленосных отложениях. Развитие Мозырского ПХГ будет продолжено до 2020 года и далее до максимального объема – 2 млрд.м³, – а в 5-ти км от него будет построено еще одно ПХГ с аналогичными запасами. Затраты на создание мощностей подземного хранения газа в 5-7 раз ниже затрат на создание соответствующих резервных мощностей в добыче и транспортировке газа.

Расчет процессов теплообмена в ОС Linux

Кудрявцев П.А.

Белорусский национальный технический университет

Рынок труда сегодня предъявляет высокие требования к молодым специалистам в области владения инженерными компьютерными программами в области расчета, проектирования и визуализации различных тепловых процессов. Потому встает необходимость внедрения в обучающий процесс систем автоматизации инженерных расчетов (CAE, computer-aided design). Среди огромного числа подобных программных комплексов, представленных на рынке, особо выделяется CAELinux.

Основными преимуществами данной совокупности программ является:

- 1) бесплатность;
- 2) нетребовательность к вычислительным ресурсам компьютера;
- 3) отсутствие вирусов;
- 4) большая стабильность;
- 5) гибкость в настройках;
- 6) онлайн-поддержка от квалифицированного сообщества;
- 7) наличие мощных вычислительных программ и приложений;
- 8) возможность сразу же запускать программы без установки через LiveCD/LiveDVD/LiveUSB.

К недостаткам можно отнести следующее:

- 1) для большинства платформ требуется знание основ программирования (C++, Python, MATLAB);
- 2) восприятие англоязычной документации к совокупности программ отягощено узкоспециализированной терминологией.

В состав дистрибутива CAELinux входят:

- 1) пакет для моделирования и анализа протекания термодинамических процессов SALOME_MECA 2013.1;
- 2) системы 2D и 3D проектирования (САПР) и технологической подготовки производства: Salome, Freecad и OpenSCAD (3D CAD), LibreCad, SagCad (2D CAD), CURA (3D-печать)
- 3) системы пре- и постобработки данных: Paraview, Discretizer, EnGrid, Helyx-OS, Elmer GUI, Netgen, Tetgen, CGX, GMSH, Salome v.6., Meshlab;
- 4) пакеты по вычислительной гидродинамике OpenFOAM, Gerris и Code-Saturne;
- 5) системы симуляции физических процессов: Elmer v, Calculix;
- 6) пакеты для научных расчётов: OpenModelica, Scilab, ciPy, LaTeX.

Разработка новой конструкции многослойной стеновой панели, ее преимущества и недостатки

Сизов В.Д., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В результате выполнения научно-исследовательской работы ГБ 11-120 была разработана новая конструкция многослойной стеновой панели, в которой расположение нескольких перфорированных слоев алюминиевой фольги между слоями из микромодулей увеличивает термическое сопротивление слоя утеплителя за счет уменьшения радиационной составляющей при наличии нескольких экранов и, в то же время, не препятствует удалению парообразной влаги из панели в целом. Вместе с тем, расположение неперфорированного слоя фольги на внутреннем слое панели препятствует проникновению водяных паров из помещений в слой утеплителя.

Преимущество предлагаемого конструктивного решения можно подтвердить расчетом тепловлажностного режима конструкции, проведенным для температуры холодного месяца для условий г. Минска. Характеристики материалов следующие: 1. Железобетон ($\lambda_B = 2,04$ Вт/(м²·°С), $\mu = 0,03$ мг/(м·ч·Па)); 2. Трехслойный микромодуль $\delta = 30$ мм ($\lambda = 0,04$ Вт/(м²·°С), $R_{П} = 0,5 \cdot 3 \cdot 7,3 = 11$ (м²·ч·Па)/м).

Для алюминиевых экранов $R_{П} = 11$ (м²·ч·Па)/м. Для алюминиевой фольги без перфорации $R_{П} = 100$ (м²·ч·Па)/м.

Результаты расчета представлены в виде графиков 1...3, где на графике 1 – влажностный режим для стены с перфорированными экранами, на графике 2 – первый слой без перфорации, остальные с перфорацией, на графике 3 – первый слой с перфорацией, остальные – без.

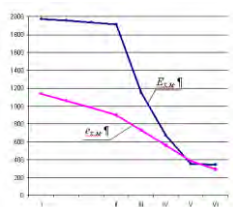


Рисунок 1

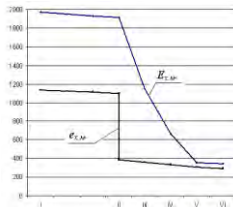


Рисунок 2

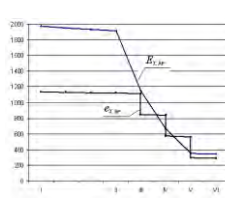


Рисунок 3

Как видно из графиков, наиболее рациональным является расположение неперфорированного алюминиевого экрана между внутренним слоем бетона и микромодулем (рисунок 2).

Энергоэффективные технологии

К вопросу исследования формы и устойчивости магнитожидкостной перемычки между горизонтальными пластинами

Баштовой В.Г.¹, Климович С.В.¹, Налетова В.А.², Рекс А.Г.¹

¹ Белорусский национальный технический университет, г. Минск, РБ

² НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, РФ

Жидкая перемычка между твердыми поверхностями интересна с точки зрения создания жидких контактов между твердыми поверхностями для локальной передачи акустической либо тепловой энергии. Данная проблема может быть решена за счет использования магнитной жидкости и магнитных полей.

В работе изучены условия формирования и устойчивости жидкой перемычки в виде капли магнитной жидкости между горизонтальными пластинами в однородных и неоднородных магнитных полях.

Формирование магнитожидкостной перемычки в магнитном поле между двумя горизонтальными пластинами определяется двумя механизмами. Во-первых, это магнитный скачок давления на поверхности магнитной жидкости, обусловленный нормальной составляющей намагниченности магнитной жидкости. Вторым механизмом является действующая на магнитную жидкость объемная магнитная сила, вызывающая перемещение объема жидкости в область максимального поля и удерживающая его в этой области.

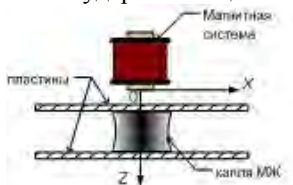


Рисунок 1

Пример реализации формирования перемычки в неоднородном поле электромагнита показан на рисунке 1.

Источник магнитного поля расположен над пластинами. Капля между пластинами находится под конкурирующим действием силы тяжести pg , направленной вниз и объемной магнитной силы $F = \mu_0 M \text{grad} H$,

действующей вверх.

Установлено, что перемычка существует в некотором диапазоне градиентов поля. Получены кривые устойчивости перемычки, а также зависимости, описывающие ее форму, при различных направлениях, изменения градиента поля.

Выполненными исследованиями показано, что существенную роль в образовании устойчивой перемычки играет конфигурация неоднородного магнитного поля и его направление по отношению к пластинам. Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Методы анализа энергопотребления и эффективности принятых решений

Милаш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Энергетический менеджмент на промышленном предприятии невозможно производить без анализа энергопотребления, который основывается на централизованных и децентрализованных государственных статистических наблюдениях. Каждый вид отчетности имеет бланк (форму) и указания по заполнению. На бланке указано, какие предприятия либо организации обязаны предоставлять данный вид отчетности, куда её направлять, периодичность предоставления.

Особый интерес представляет форма 4-энергосбережение (Госстандарт) «Отчет о выполнении мероприятий по экономии ТЭР и увеличению использования местных видов топлива, отходов производства и других вторичных и возобновляемых энергоресурсов». Отчетность является поквартальной с нарастающим итогом и отражает эффект, выраженный в тоннах условного топлива, который достигнут за счет выполнения энергосберегающих мероприятий. Заполнение данного вида отчета тесно связано с выполнением мероприятий, включенных в программу по энергосбережению конкретного предприятия.

Отчет, в котором отражается потребление топливно-энергетических ресурсов по видам – котельно-печное топливо, отходы производства, электрическая и тепловая энергия – называется «Отчет о расходе ТЭР». Он заполняется ежемесячно с нарастающим итогом по форме 12-ТЭК. Особенностью этой формы еще является и то, что в ней приводится значение расчётной величины целевого показателя по энергосбережению, которое сравнивается с заданием на данный период.

Выполнение утвержденных норм расхода ресурсов отслеживается в отчете, который называется «Отчет о результатах использования топлива, тепловой электрической энергии», заполняемом по форме 4-нормы ТЭР (Госстандарт). Если на выпуск определенного количества продукции затрачено больше ресурсов, чем это было бы по действующей утвержденной норме, то этот перерасход отражается в отчете в определенной графе не только цифрой, но и со знаком плюс либо минус, если произошла экономия ТЭР по сравнению с действующей нормой.

Для правильного выбора направления энергосбережения, предложения наиболее приемлемого варианта в первую очередь и служит имеющаяся на предприятии статистическая отчетность.

УДК 621.311 (620.9)

Децентрализованная генерация с использованием возобновляемых источников энергии

Милаш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Мировая энергетика в настоящее время взяла курс на переход к рациональному сочетанию традиционных и новых источников энергии. Характерной тенденцией развития мировой экономики в этот период будет систематическое снижение доли органического топлива и компенсирующий рост доли возобновляемых энергетических ресурсов.

Согласно Программе освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2011–2015 годы и на период до 2020 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 04.04.2011 г. № 431, по мероприятию «Наращивание собственного топливно-энергетического потенциала...» с общим объемом финансирования 14,8 млрд. руб. предусмотрена подготовка атласа геотермальных ресурсов Беларуси.

В указанном документе по мероприятию «Изучение геотермальных условий недр отдельных участков территории Беларуси» с общим объемом финансирования 3,3 млрд. руб. предусмотрено определение геотермальных параметров в пробуренных или используемых в качестве теплообменников скважинах.

Ресурсы внутриземного геотермального тепла целесообразно разделить на два направления: локализованные гидротермальные и повсеместно распространенные петротермальные. Отдельный интерес представляет извлечение тепловой энергии, заключенной в твердых «сухих» горячих горных породах. С учетом того, что в земной коре на глубинах, превышающих 3–4 километра, температура твердых пород превышает 100–150 °С, увеличиваясь до 300–400 °С при глубинах свыше 6 километров, использование такого теплоэнергетического потенциала представляется весьма перспективным.

Российской некоммерческой организацией «Фонд поддержки освоения и развития петротермальной энергетики «ТЕРМОЛИТЭНЕРГО» разработана технология утилизации тепла глубинной скальной породы земной коры, известной как «усиленная (инженерная) геотермальная система». Извлечение и использование теплоты, аккумулированной в «сухих» горячих горных породах земной коры, с целью выработки на ее основе электроэнергии и тепла целесообразно рассматривать для локальных (децентрализованных) потребителей, расположенных в отдаленных и энергодефицитных районах

Теоретическое исследование формы капли магнитной жидкости вокруг постоянного магнита во внешнем магнитном поле

Моцар А.А.

Белорусский национальный технический университет

В работе теоретически исследована форма поверхности капли магнитной жидкости вокруг постоянного магнита в условиях гидроневесомости. Рассмотрено влияние внешнего магнитного поля на форму такой капли. Постоянный цилиндрический магнит приклеен ко дну кюветы, расположенной в зоне вертикального однородного магнитного поля. Магнит покрыт каплей магнитной жидкости. Распределение жидкости вокруг магнита рассчитано численно с использованием следующих допущений: постоянный магнит однородно намагничен, силы тяжести и поверхностного натяжения пренебрежимо малы по сравнению с объемной магнитной силой, т.е. жидкость распределена вдоль линий постоянной напряженности поля $H=const$, намагниченность жидкости не вносит искажение в поле магнита. В случае наличия внешнего магнитного поля, результирующее магнитное поле магнита определялось по принципу суперпозиции. Получены зависимости безразмерной высоты капли на ее вертикальной оси симметрии (рис. 1) и безразмерного диаметра (рис. 2) от безразмерного объема жидкости в полях с различной величиной напряженности $H_{uniform}$. Безразмерные высота капли и диаметр определялись как отношение этих величин для капли к соответствующим величинам для магнита. Безразмерный объем капли определялся как отношение объема жидкости к объему самого магнита. Результаты представлены на рис. 1, 2.

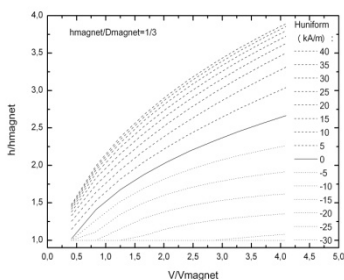


Рис. 1

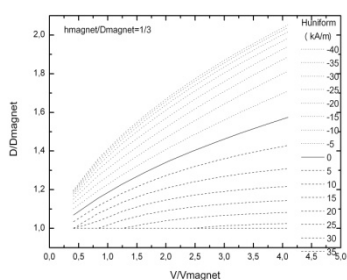


Рис. 2

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Иващенко Е.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Наряду с рядом преимуществ, использование биомассы (в виде отходов деревообработки, отходов очистки лесов и лесных хозяйств, в виде древесного топлива) требует тщательного анализа и оценки. Во внимание должны быть приняты следующие факторы:

- наличие источника биомассы вблизи с потребителем топлива (котельной). Зачастую дорогостоящее энергетическое оборудование закупается без учета возможностей сырьевой топливной базы и стабильности ее на весь срок эксплуатации данного оборудования;

- необходимость оценить потенциал используемого топлива при переводе котельных на древесные отходы, также как и при строительстве новых котельных, не только на данный момент, но и в перспективе (на 15 лет), так как предсказать количество и качество потребляемого древесного топлива достаточно точно является затруднительным;

- оценку возможности переработки древесных отходов в топливо, пригодное для сжигания в котельных, например, производство древесной щепы; речь идет о применении старых технологий топливообеспечения и малоприспособленной для этого техники, большом объеме ручного труда. Отсюда – низкая производительность, а значит, и высокая себестоимость производства древесного топлива. То же следует сказать и о многочисленном энергетическом оборудовании, работающем на древесных отходах, которое сегодня эксплуатируется с низким КПД;

- затраты, связанные с организацией процесса переработки древесных отходов в топливо, приемлемое для сжигания в котлоагрегате (производство щепы, брикетов, пеллет и т.д.);

- стоимость транспортировки топлива от источника к месту хранения у потребителя, хранения топлива, подачи его непосредственно в топочную камеру котлоагрегата.

- влияние цен: т.к. отходы биомассы пользуются все большим спросом; цена на данный ресурс может неожиданно возрасти.

Одним из основных условий повышения эффективности использования древесных отходов при получении энергии является правильный выбор технологии и оборудования для производства и подачи древесного топлива к энергоустановкам. Этот выбор диктуется, прежде всего, характеристикой используемого древесного топлива, хотя немаловажную роль играют мощность энергоустановки, плечо доставки, проходимость лесосек и дорог и т.д.

Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии на базе органического цикла Ренкина

Иващенко Е.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Когенерационная установка (КГУ) применяется для одновременной выработки электрической и тепловой энергии. При этом полученное тепло может использоваться для производства горячей воды с параметрами 70/90°C, пара или низкопотенциального тепла 40/60°C, а также холода с уровнем температуры 12,5...7,0 °С (тригенерация). Выработка электроэнергии когенерационной установкой может быть осуществлена: с применением классического цикла Ренкина или органического цикла Ренкина (далее ORC). Основным различием между ORC и циклом Ренкина-Клаузиуса является рабочее тело. В классической паровой турбине в качестве рабочего тела используется водяной пар. В установке с применением ORC водяной пар заменяется на высокомолекулярные органические жидкости, которые имеют более низкую температуру кипения. Схема органического цикла Ренкина ORC представлена на рисунке.



Рисунок. Схема органического цикла Ренкина

Основные преимущества ORC по сравнению с классическим паровым циклом: высокой КПД цикла; высокий КПД турбины; низкая механическая нагрузка; низкая скорость вращения турбины, обеспечивающая прямое подключение к генератору без редуктора; отсутствие эрозии лопастей турбины; длительный срок службы и эксплуатации машины; отсутствие необходимости в подготовке воды, отсутствие потерь при дегазации подаваемой воды, деминерализации, сбросе ила и практическое их отсутствие при конденсации; простота процедуры запуска; автоматическая и непрерывная работа; отсутствие

необходимости в присутствии оператора; минимальные требования к техобслуживанию.

УДК 621.548

Проектирование генератора на постоянных магнитах для ветроустановки малой мощности

Червинский В.Л., Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в связи с подорожанием тарифов на электроэнергию возросло внимание к использованию альтернативных источников энергии, в первую очередь энергии ветра и энергии солнца для отопления и электроснабжения.

Наиболее простым и доступным вариантом применения энергии ветра для частных домовладений является использование ветроустановок малой мощности (ВММ) мощностью до 1 кВт, способных работать достигать номинальной мощности при небольших скоростях ветра 5-7 м/с, характерных для условий Республики Беларусь.

Для оптимизации параметров ВММ были проведены исследования различных типов ветроколес с горизонтальной и вертикальной осью. В дальнейшем исследования проводились для репеллерного ветроколеса с горизонтальной осью, дающего более высокие обороты по сравнению с ветроколесом с вертикальной осью (ротатором Савониуса).

Так были проведены исследования двухлопастного репеллерного ветроколеса диаметром 2,6 м и плоским профилем шириной 0,11 м с углом наклона 14 град., которое при скорости ветра 4 м/с выдает расчетную механическую мощность около 300 Вт при скорости вращения около 200 об/мин.

Эти данные стали исходными для проектирования генератора ВММ. Для снижения механических потерь и электрических потерь генератор проектировался на постоянных магнитах прямого привода с диапазоном рабочих скоростей вращения до 200 об/мин.

Генератор выдает трехфазное переменное напряжение, частота которого прямо пропорциональна частоте вращения ротора. Для такой скорости вращения необходимо получать выпрямленное напряжение около 14-15 В, достаточное для зарядки аккумуляторной батареи.

Для разработки генератора было исследовано два варианта катушек обмотки: первый – 80 витков провода сечением 1,5 кв. мм, второй – 150 витков медного провода сечение 0,75 кв.мм.

Инновационные методы термохимической конверсии растительной биомассы

Пальчёнок Г.И., Хутская Н. Г., Лейчёнок Н.С.

Белорусский национальный технический университет

В результате ряда проведенных экспериментов была установлена зависимость выхода твердого углерода (на сухую массу) от продолжительности пиролиза и от температуры. В частности, выход твердого продукта, близкий к равновесному, получен с использованием метода скоростной карбонизации при повышенном давлении. При среднем давлении 0,5 МПа максимальный выход твердых продуктов пиролиза составил 42–44,7 % при температурах 250–350 °С [1]. На рисунке 1 показано сравнение экспериментальных данных по выходу угля (на сухую массу) при пиролизе древесины под давлением с равновесным выходом твердого углерода, рассчитанным при тех же температурах и давлениях 0.12 и 1.2 МПа. Равновесный выход углерода при пиролизе практически не зависит от давления в исследованном диапазоне температур пиролиза. Решающую роль в данном процессе играет не рабочее давление, а герметичность системы, позволяющая удерживать газообразные продукты пиролиза в реакторе в течение всего процесса, что приближает его к равновесному.

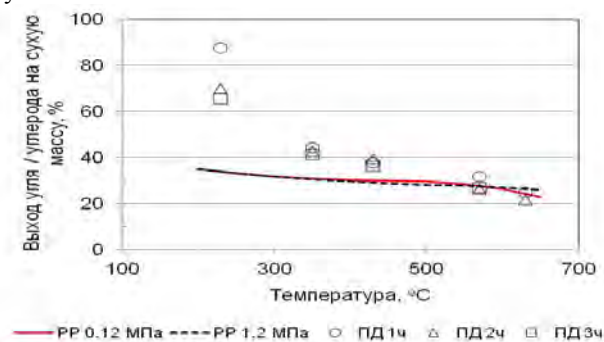


Рисунок 1 – Сравнение экспериментальных данных по выходу угля (на сухую массу) при пиролизе древесины под давлением с равновесными расчетами выхода твердого углерода при аналогичных условиях

РР – равновесные расчеты; ПД – экспериментальные данные.

Литература:

1. Заявка на изобретение «Способ получения древесного угля» № а2012 1781 от 20.12.2012.

**Управление кредитными рисками при направлении средств
на энергосберегающие мероприятия**

Милаш А.А.

Белорусский государственный экономический университет

При финансировании энергосберегающих мероприятий предприятия используют инвестиционное кредитование, целевым назначением которого является модернизация, реконструкция производства. Со стороны банка инвестиционное кредитование как услуга становится одним из основных инструментов завоевания наиболее привлекательного сегмента рынка – крупных и кредитоспособных клиентов страны и, как следствие, формирования и поддержания клиентской базы банка. Это служит дополнительным катализатором развития всех кредитных операций, а также сопутствующих услуг клиентам. Увеличение объемов долгосрочных кредитных продуктов, инвестиционного кредитования и проектного финансирования будет определяться необходимостью строгого соблюдения установленных нормативов ликвидности и потребностями реального сектора экономики. Возможно привлечение на обслуживание и расширение операций по инвестиционному кредитованию энергосберегающих мероприятий более широкого круга клиентов, включая предприятия среднего и малого бизнеса, а также предприятия, осуществляющие жилищное, офисно-торговое и гостиничное строительство. Нашли применение следующие методы управления кредитными рисками: а) перекладывание риска на имущество заемщика или третьих лиц (гарантов, поручителей) оформлением залога; б) передача риска страховой компании. Как правило, страхуется не риск невозврата кредитов, а объект кредитования и (или) его залоговое обеспечение. Страхование производится за счет заемщика, но выгодоприобретателем может выступать банк; г) при кредитовании энергосберегающего мероприятия иностранным инвестором иногда происходит выделение займа под гарантии правительства Республики Беларусь.

Анализ белорусского рынка свидетельствует о том, что уровень ставок в секторе корпоративного кредитования будет зависеть от нескольких составляющих: 1) влияние динамики спроса и предложения на кредитные ресурсы; 2) макроэкономическая ситуация в Республике; 3) политика Нацбанка на рынке ресурсов в национальной валюте.

Однако по отчётности банков можно наблюдать увеличивающуюся задолженность реального сектора перед банками, что свидетельствует об острой необходимости в совершенствовании методов управления кредитными рисками.

Повышение эффективности работы гелиоколлекторных модулей водонагревательных установок

Снежко Э.К.

Белорусский национальный технический университет

Над проблемами снижения себестоимости и повышения энергоэффективности гелиотехнического оборудования и, в частности, гелиоколлекторных водонагревателей, работают инженеры и ученые многих стран мира.

Гелиоводонагревательное оборудование в основном используется в комбинации с электроподогревом, что позволяет снизить удельный расход электроэнергии. При этом для повышения эффективности работы оборудования применяют контроллерную автоматизацию процесса нагрева и используют вакуумированные гелиоколлекторные модули (ВГКМ), что позволяет уменьшить тепловые потери, успешно эксплуатировать оборудование даже в холодное время года и получать воду с температурой более 40 °С в зимний период при понижении температуры окружающей среды ниже 0 °С. Особенно высок коэффициент полезного действия в вакуумированных трубках модулей, работающих по принципу «тепловой трубы», однако их стоимость пока еще довольно высока. Модульный принцип подключения коллекторов (параллельное соединение однотипных элементов) позволяет нам на основе унифицированных блоков создавать установки требуемой производительности. В условиях сельского хозяйства нашей страны нашли применение разработанные при нашем участии многомодульные гелиоводоподогреватели для молочно-товарных ферм и гелиодушевые (на 150–300 л) для бытовых нужд сельского населения, снабженные более дешевыми плоскими гелиоколлекторными модулями (ПГКМ) как с термосифонной циркуляцией теплоносителя, так и проточные, спирального типа (для предварительного подогрева воды в котлах-парогенераторах и в инкубационных цехах рыбхозов). В настоящее время в агропромышленном комплексе страны внедряются ВГКМ, снабженные вакуумными теплоприемниками и двухконтурной системой циркуляции теплоносителей (первый контур – на антифризе), что позволяет значительно интенсифицировать процессы теплообмена, снизить потери тепла и повысить энергоэффективность ВГКМ (особенно с применением селективного светопоглощающего покрытия рабочих поверхностей ВГКМ). Это дает возможность успешно эксплуатировать гелиоколлекторные модули и водонагревательное оборудование в целом в течение года.

**Использование доломитов для повышения качества
пиролизных газов**

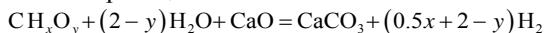
Василевич С.В.

Белорусский национальный технический университет

Для получения высококалорийных топливных газов для применения в газопоршневых установках для предприятий лесопромышленного комплекса, сельского хозяйства, ТЭК в процессе термохимического разложения биомассы необходимо обеспечение эффективного вторичного разложения смол и очистка пиролизного газа от негорючих компонентов, в первую очередь – углекислого газа. Эти задачи наиболее эффективно могут быть решены применением специальных катализаторов и адсорбентов. Особое внимание привлекают неметаллические каталитические материалы природного происхождения, или побочные продукты перерабатывающей промышленности.

В связи с наличием в Беларуси значительных природных запасов доломитов и осуществлением добычи в объеме более 3 млн. т. в год, особый интерес представляет их применение в каталитических реакторах. Ранее авторами были проведены исследования по изучению динамики потери массы частиц доломита при обжиге в кипящем слое, результаты которых представлены в работе.

В идеальном случае равновесный процесс паровой газификации биомассы в присутствии обожженного доломита описывается следующим суммарным уравнением реакции



Единственным газообразным продуктом процесса является водород, а твердым продуктом - $CaCO_3$, который должен непрерывно выводиться из реактора и, по возможности, регенерироваться (при обжиге) с получением оксида кальция и CO_2 . Применение доломита в качестве катализатора конверсии смол приводит к повышению содержания водорода на 40-55%. Установлено, что доломит по эффективности в процессе конверсии смол сравнимы с другими катализаторами, производимыми в настоящее время. Кроме того, использование доломита открывает возможность утилизации или секвестрации диоксида углерода. К недостаткам доломитовых катализаторов следует отнести невысокую механическую прочность после обжига и, вследствие этого, необходимость постоянной замены. Однако широкая распространенность доломитов в Беларуси позволяет достаточно легко решить данную проблему.

Экспериментальный стенд для исследования солнечного пиролиза биомассы

Пальченко Г.И., Хутская Н.Г., Лейченко Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Основным элементом лабораторного стенда является бытовой параболический солнечный концентратор COOKUP 200 (производство IDCOOK, SUNITED Groop, Франция) с диаметром зеркала $D = 1\text{ м}$ и высотой параболы $h = 0.2\text{ м}$ (рис. 1) [1]. Зеркальный солнечный рефлектор концентратора типа S-REFLECT изготовлен из полимерной (ПЭТ) пленки толщиной 0.175 мм, покрытой тонким слоем полированного алюминия. Отражательная способность зеркала по данным изготовителя превышает 90%. На горизонтальной решетке, расположенной на расстоянии 0.1 м от вершины параболоида, размещались стеклянные реторты с обрабатываемыми частицами древесины, закрытые с обоих торцов (рис.2). Реторта предотвращала доступ кислорода к обрабатываемой биомассе в процессе пиролиза, а также снижала конвективно–кондуктивные потери тепла. Пробка на одном из торцов была неплотно пригнана, что обеспечивало выход газообразных продуктов конверсии.



Рис.1 -



Рис.2

Через пробку в реторту вводилась хромель-копелевая термопара в оплетке с открытым спаем для измерения температуры. Зависимость температуры в реторте от времени регистрировалась измерителем-регулятором температуры "Сосна-002", подключенным к персональному компьютеру. Максимальная температура в реторте составляла от 230 до 340 °С и устанавливалась через 20-40 мин после начала опыта. Интенсивность падающего (неконцентрированного) солнечного излучения на уровне решетки измерялась пиранометром YD2302.0 (Delta OHM SRL, Италия) и

составляла в ходе экспериментов от 700 до 780 Вт/м².

УДК 621.577

Разработка стенда теплового насоса типа «Воздух-Воздух»

Жук Н.П., Сафронов В.А.

Белорусский национальный технический университет

Теловой насос является перспективным и уже широко используемым устройством, поэтому квалифицированному инженеру необходимо четко знать конструкцию и принцип работы данного устройства. Для повышения уровня обучения студентов требуется не только теоретическая база, но и практическая, поэтому разработан учебный стенд: тепловой насос «Воздух-Воздух». На рис. 1 представлена технологическая схема теплового насоса.

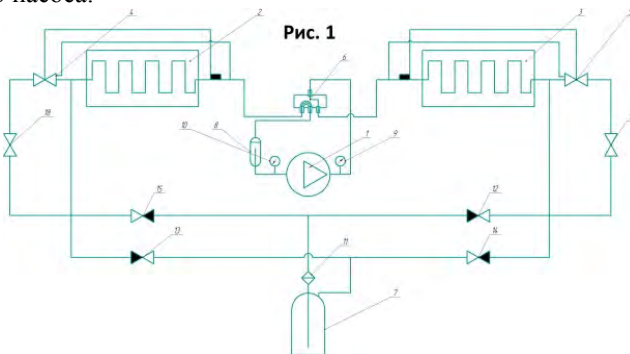


Рисунок. 1 Технологическая схема теплового насоса.

1-компрессор; 2 - теплообменник (испаритель-конденсатор); 3-теплообменник(испаритель-конденсатор); 4-терморегулирующий вентиль; 5-терморегулирующий вентиль; 6-четырёхходовой клапан; 7-ресивер; 8-отделитель жидкости; 9-манометр высокого давления; 10- манометр низкого давления; 11-фильтр-осушитель; 12,13,14,15- обратный клапан; 17,18-запорный вентиль.

В процессе обучения на данном стенде студенты смогут осуществлять:

- Изучение принципа работы машины
- Изучение режимов охлаждения и нагрева
- Замер рабочих параметров (температура, давление, влажность)
- Настройка устройства на рабочие параметры
- Изучение типичных неисправностей путем искусственного создания их на стенде (слабый испаритель, слабый конденсатор, преждевременное дросселирование и др.)

Применение данного стенда в учебном процессе позволит изучить тепловой насос на максимально высоком уровне и дать реальное представление о данном устройстве

УДК 620.9

К вопросу проведения экспресс-энергоаудита зданий

Червинский В.Л., Климович С.В., Янецвич И.В.

Белорусский национальный технический университет

Один из видов энергоаудита – экспресс-энергоаудит – позволяет оперативно определить в здании основных потребителей по видам энергии, установить фактические значения потоков энергии в результате прямых измерений, ее распределение по основным потребителям, установить класс энергоэффективности здания и необходимые технические мероприятия по его повышению. В настоящее время большинство зданий в Республике Беларусь, в частности в Минске, оснащено теплосчетчиками. Однако по их показаниям нельзя установить места неэффективного использования тепла в здании и в его инженерных системах, показания теплосчетчика не могут отражать качество микроклимата в зданиях [1-4]. Для получения картины распределения тепловых потоков в здании, расходов тепла, состояния микроклимата необходимо провести их прямые физические измерения, в первую очередь, в «проблемных» зданиях, где расход тепла существенно превышает значения аналогичных требующих быстрой санации. Экспресс-энергоаудит включает следующие основные этапы:

- расчетное определение контрольных показателей энергопотребления по нормативным требованиям, проектным характеристикам или показателям аналогичных зданий;
- проведение комплекса экспресс-измерений и их обработка с приведением к «стандартным» климатическим условиям;
- сопоставление контрольных показателей с расчетными, на основе измерений и составление рекомендаций по повышению энергоэффективности здания.

Результаты экспресс-энергоаудита позволяют выявить резервы энергосбережения и разрабатывать мероприятия по повышению энергоэффективности здания и его инженерных систем.

Литература:

1. Standard Methods of Measuring and Expressing Building Energy Performance. ANSI/ASHRAE 105.
2. Комплексная методика по обследованию и энергоаудиту

реконструируемых зданий. Пособие по проектированию. МДС 13-20.2004. ОАО «ЦНИИПромзданий». М., 2004.

3. Energy Process Assessment Protocol. IEA ECBCS. Annex 46. US Army Corps of Engineers. 2009.

4. ГОСТ 30494 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

УДК 538.4

Исследование влияния магнитного поля на разбрызгивание и распыление магнитной жидкости в акустическом поле

Аль-Джаиш Таха Малик Мансур

Белорусский национальный технический университет

В работе исследовано влияние магнитного поля на условия фонтанирования и разбрызгивания магнитной жидкости в акустическом поле. Характер деформирования свободной поверхности магнитной жидкости существенно зависит не только от величины поля, но и от его направления. Поэтому исследование было выполнено для вертикального и горизонтального направления магнитного поля. Плоский слой магнитной жидкости со свободной поверхностью в квадратной кювете размером 70x70x50 мм располагался над излучателем со сферической фокусировкой. Излучатель установлен так, что направление распространения ультразвуковой волны – вертикально вверх перпендикулярно к поверхности слоя магнитной жидкости. Кювета с магнитной жидкостью помещалась в иммерсионную среду (дистиллированную воду) для создания акустического контакта между излучателем и жидкостью. Вся описанная система затем устанавливалась в рабочую область источника однородного магнитного поля – катушек Гельмгольца. Параметры ультразвукового излучения определялись с помощью пьезодатчика. В экспериментах использовались магнитные жидкости на основе керосина МК-52 и МК-72. В исследованиях осуществлялись два варианта изменения параметров магнитного и акустического полей. В первом варианте при постоянном значении напряженности магнитного поля медленно квазистатически производилось увеличение мощности ультразвука и велось наблюдение за формой поверхности слоя магнитной жидкости. В соответствии со вторым вариантом медленно увеличивалась напряженность магнитного поля при постоянных значениях мощности ультразвука. Установлено, что магнитное поле оказывает влияние на условия фонтанирования поверхности магнитной жидкости. Вертикальное магнитное поле способствует усилению деформации поверхности

жидкости, и поэтому высота горба при одновременном воздействии ультразвука больше, чем в отсутствие магнитного поля. Горизонтальное магнитное поле препятствует развитию возмущений поверхности вдоль своего направления, и тем самым стабилизирует эту поверхность.

УДК 538.4

Способ рентгенологического исследования пищевода с помощью рентгеноконтрастного средства на основе магнитных жидкостей

Шарлай В.И.¹, Сулоева Л.В.², Рекс А.Г.², Моцар А.А.², Балабанова О.В.³

¹ Медицинский радиологический научный центр РАМН, г. Обнинск, РФ,

² Белорусский национальный технический университет,

³ УЗ «10-я городская больница г. Минска»

Рентгеноконтрастное средство на основе магнитных жидкостей (МЖ) может быть использовано для изучения рентгеноморфологических особенностей пищевода и его функций. Предлагаемый способ имеет преимущество перед применяемым в настоящее время рентгенологическим исследованием пищевода, так как расширяет возможности изучения рентгеноморфологических особенностей пищевода и его функций. Это достигается тем, что в качестве рентгеноконтрастного средства используют вещество, состоящее из вазелинового масла, олеиновой кислоты и частиц магнетита размером 50-150 А. Это вещество гомогенно распределяют и фиксируют по внутренней поверхности пищевода посредством задания направления величины напряженности магнитного поля, источником которого может быть магнит под контролем рентгенотелевидения. Создается возможность длительного контрастирования пищевода, а изменяя направление вектора напряженности магнитного поля и для каждого направления его величину, можно по амплитуде и частоте сокращений судить о его функции. Использование МЖ позволяет исключить повреждения пищевода, расширяет возможности изучения его рентгеноморфологических особенностей и функций. Проведенные исследования с использованием предлагаемого контрастного средства были проведены на кроликах. Контрастированный пищевод имел ровные и четкие контуры, контрастное вещество в нем распределено однородно. Проведенные гистологические исследования пищевода и желудка после введения в них рентгеноконтрастного магнитного средства не выявили в этих органах признаков повреждения. Предлагаемый способ имеет преимущество перед применяемым в настоящее время рентгенологическим исследованием пищевода с помощью сернокислого бария. Эти преимущества заключаются в том, что становится возможным в условиях длительного

контрастирования изучать рентгеноморфологические особенности пищевода и его функции. Сокращаются сроки и упрощается проведение исследования. Способ может быть использован не только для рентгенодиагностики, но и для лечения свищей и различных язв пищевода, при кровотечениях и наличии инородных тел в нем, а также для лечения опухолей пищевода.

УДК 621.47

Перспективы использования автономных систем слежения за солнцем для гелиоколлекторных установок

Баштовой В.Г., Капустин Н.Ф., Снежко Э.К.
Белорусский национальный технический университет

Нами разработан типоразмерный ряд гелиоколлекторных установок с принудительной и с естественной (термосифонной) циркуляцией жидкого теплоносителя (воды), поступающей в бак-аккумулятор. Перспективными направлениями повышения их эффективности и производительности являются использование концентраторов солнечной энергии, применение вакууммируемых коллекторов на тепловых трубах, а также оснащение гелиоколлекторных установок автономными системами слежения за солнцем. В ряде случаев повышение стоимости таких установок окупается ростом их тепловой производительности.

В последнее время учеными запатентован ряд систем слежения за солнцем и автогелиоустановок, использующих энергию солнца, в том числе разработчиками гелиотехники в России.

Однако, в одних технических решениях в качестве двигателя используются термочувствительные элементы, использующие эффект деформации материалов (биметаллов и т.п.) при нагреве, в других – металлы, обладающие эффектом памяти формы. Все эти системы развивают недостаточные усилия для перемещения гелиоколлекторных моделей в процессе их слежения за солнцем.

Нами предложена гелиосистема (патент ПМ № 9539 от 8.11.2013 г.), в которой за счет энергии солнца (с помощью теплового двигателя) вода прокачивается через гелиоколлектор и одновременно под действием мощных капиллярных сил, возникающих в процессе испарения и конденсации теплоносителя в капиллярно-пористых пластинах емкостей переменного объема, происходит постоянная ориентация рабочих поверхностей гелиоколлектора в сторону солнца.

Перемещающее устройство состоит из эксцентрично установленных обечаек, радиально и равномерно по окружности которых размещены указанные емкости. Величина и направление эксцентриситета обечаек

зависят от интенсивности и направленности потока солнечной радиации, соответственно.

УДК 538.4

Синтез магнитных жидкостей на различных дисперсионных средах с использованием метода эмульгирования

Сулоева Л.В.¹, Баштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Моцар А.А.¹, Кужир П.П.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Университет Ниццы-София Антиполис (Франция)

Магнитные жидкости находят широкое применение в медицине, приборостроении, радиотехнике и представляют собой устойчивый коллоид, состоящий из магнитной феррофазы (магнетит, кобальт, железо и т.д.), жидкости-носителя (вода, углеводороды, минеральные и кремнийорганические масла, фторорганические жидкости и т.д.) и поверхностно-активного вещества (ПАВ). Способ получения магнитных жидкостей оказывает огромное влияние на их физико-химические свойства, такие как вязкость, плотность, намагниченность насыщения, агрегативная устойчивость и т.д. Поэтому достаточно важным, является выбор способа получения магнитной жидкости, который обеспечивал бы их качество. Для ускорения процесса синтеза МЖ на основе магнетита предлагается осуществлять осаждение магнетита и его пептизацию одновременно методом эмульгирования. Эмульсии представляют собой дисперсные системы, состоящие из мелких капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде). Методы получения эмульсий, как и любой другой дисперсной системы, можно разделить на конденсационные и диспергационные. При синтезе МЖ, эмульсии получали диспергированием смеси ПАВ и жидкости – носителя, в растворе солей двух- и трехвалентного железа методом взбалтывания. Диспергирование взбалтыванием производилось путем возвратно-поступательного движения сосуда, в котором находится смесь жидкостей. Данный процесс получения МЖ позволяет увеличить их намагниченность насыщения и седиментационную устойчивость, как в магнитных, так и в центробежных полях. Магнитные жидкости, полученные методом эмульгирования, обладают высокой намагниченностью насыщения (70-90 кА/м), а так же устойчивы к действию центробежных, магнитных и гравитационных сил. Метод позволил увеличить производительность синтеза магнитных жидкостей более чем в 1,5-2 раза.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Литература:

1. А.С. № 568598, МКИ C01G49/08, 1975.
2. А.С. № 833545, МКИС01G49/08, H01F1/28, 30.05.81.

УДК 625

Энергосбережение в дорожном хозяйстве как одно из направлений повышения эффективности работы предприятий в отрасли

Ходан Е.П.

Белорусский национальный технический университет

В дорожной отрасли рост цен на топливо оказывает существенное влияние на решение задач приведения автомобильных дорог в соответствие с нормативными требованиями. Изучение нормативно-технической базы отрасли, технологии производства асфальтобетонных смесей, энерговооруженности дорожных хозяйств, системы планирования топливно-энергетических затрат, эффективности использования энергоносителей позволяет утверждать, что причинами такого положения являются: традиционное представление о неисчерпаемости запасов топлива и отсутствие понимания высокой доли затрат на топливо и электроэнергию в общей стоимости работ; отсутствие системы экономического стимулирования энергосбережения для дорожных хозяйств; сохраняющаяся высокая энергоёмкость технологии производства асфальтобетонных смесей (значительное количество энергии затрачивается на сушку минеральных материалов, подготовку битума); несовершенство норм расхода топлива автомобилями и дорожными машинами в дорожном хозяйстве; увеличение доли затрат, связанных с эксплуатацией машин и механизмов (наряду с ростом цен на энергоносители она оказывает влияние на техническое состояние машинного парка); отсутствие приборов учета и контроля расхода тепловой энергии на асфальтобетонных заводах, камнедробильных помещениях дорожных хозяйств; относительно малый срок службы дорожных конструкций (прежде всего – покрытий проезжей части автомобильных дорог); недостаточное использование местных малопрочных строительных материалов (что приводит к значительным затратам энергии на транспортировку прочных каменных материалов); малое использование энергосберегающих технологий; нерациональная структура, состав и численность парка автомобилей и дорожных машин дорожных хозяйств. Социальный эффект энергосбережения проявляется в уменьшении загрязнения окружающей природной среды продуктами сгорания топлива в энергоустановках, используемых в отрасли; экономии

топливных ресурсов; снижение удельной энергоемкости отрасли. Эффективное энергосбережение позволяет уменьшить себестоимость продукции и затраты на производство, за счет чего дорожные предприятия могут получать дополнительную прибыль.

УДК 538.4

Моделирование процесса капиллярного распада на капли цилиндрической струи магнитной жидкости

Бекмуханбетов Алтынбек Идрыс-улы
Белорусский национальный технический университет

Струйные и пленочные течения жидкостей с цилиндрической формой поверхности очень широко используются в различных технических приложениях. В связи с этим вопросы устойчивости таких течений вызывают интерес к их изучению. Процесс распада струи быстропротекающий, и поэтому при исследовании существуют проблемы с регистрацией развивающихся возмущений на поверхности струи и ее распада на отдельные капли. Выполненные исследования показали, что капиллярный распад струйных течений удобно моделировать с помощью неподвижного цилиндрического слоя магнитной жидкости, образованного вокруг цилиндрического проводника с током в условиях гидроневесомости. Формируется неподвижный цилиндрический слой магнитной жидкости под действием объемной магнитной силы в радиально неоднородном магнитном поле, возникающем при пропускании электрического тока через цилиндрический проводник. Градиент поля направлен к оси проводника. Магнитная жидкость стремится попасть в область с большей напряженностью магнитного поля и равномерно располагается вокруг проводника в виде цилиндрического слоя. Цилиндрический слой магнитной жидкости находится под конкурирующим действием двух сил. Объемная магнитная сила стремится придать жидкости цилиндрическую форму, а капиллярная – сферическую, т.е. привести к распаду слоя на отдельные капли. При отключении электрического тока магнитная сила исчезает, и цилиндрический слой подобно струе распадается на капли. Сравнение характеристик распада цилиндрического слоя магнитной жидкости (длины волны наиболее опасных возмущений) с характеристиками распада обычной жидкости в вязкой среде показало хорошее их совпадение. Выполнено моделирование начальных возмущений поверхности слоя магнитной жидкости на характеристики распада.

Информационные системы и технологии

Параметрическая идентификация системы фазового управления

Саид Ж.М.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Рассматривается задача параметрической идентификации (оценки параметров) системы фазового управления (СФУ) на основе имеющейся априорной информации об уравнениях объекта в пространстве состояний и статистического анализа входных и выходных сигналов. Состояние СФУ описывается уравнением в форме Ланжевена со случайными параметрами.

$$\dot{X}^{(s)}(t) = \varphi(X, D, s, t) + \sigma(X, D, s, t)U(t) + H(X, D, s, t)\xi(t). \quad (1)$$

при начальных условиях $X^{(s)}(t_0) = X_0$, $s = \overline{1, n_s}$ – номер состояния (структуры) системы. В данном случае $D = D(t)$ – блочный вектор в общем случае случайных параметров СФУ.

Задача идентификации состоит в том, чтобы на основе экспериментальных данных определить значение вектора параметров, $D^{(s)}(t)$ при котором разность $\Delta D^{(s)}(t) = D^{(s)}(t) - \hat{D}^{(s)}(t)$ принимает наименьшее значение. Вектор $D^{(s)}(t)$ представляется в виде $D^{(s)}(t) = D_{ii}(t) + d^{(s)}(t)$, где $D_{ii}(t)$ – вектор номинальных значений параметров СФУ, $d^{(s)}(t)$ – вектор малых отклонений параметров системы.

При такой постановке задачи производится совместное оценивание и идентификация процесса (объекта) на основе использования уравнений фильтрации, в которых вектор оценок фазовых координат $X^{(s)}(t)$ необходимо заменить расширенным вектором $X_{\delta}^{(s)T}(t) = [X^{(s)}(t), d^{(s)}(t)]$.

В качестве примера рассмотрен процесс идентификации параметров СФУ, описываемую уравнением (1). Математическое моделирование данного примера идентификации параметров СФУ производилось в среде Mathcad. Для обеспечения некоррелированности шумов процесса и измерителя, представленных в модели, интегрирование дифференциальных уравнений производилось методом Эйлера.

Представленные результаты моделирования показали работоспособность алгоритма идентификации. Расхождения в оценке параметров элементов СФУ незначительны.

Для случая неизменного состояния (структуры) а также линейных уравнений объекта и измерителя алгоритм идентификации принимает вид оптимального фильтра.

Эффективность беспилотного авиационного комплекса

Бенкафо А.С.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Рассмотрены общие принципы оценки эффективности применения беспилотных авиационных комплексов (БАК) при мониторинге земной поверхности в условиях наличия недостоверности информации на основе элементов теории вероятностей, с учётом иерархического построения и влияния человеческого фактора. Проведено обоснование показателей эффективности информационной системы и вероятностных характеристик оценки информации, необходимой для принятия решений.

Сформулированы основные характерные задачи БАК и определены показатели эффективности их выполнения. Одной из основных задач является определение координат внезапно появляющихся наземных объектов. При этом положение этих объектов может характеризоваться соответствующими статистическими характеристиками неопределённостей. Примером такой задачи является задача определения очага пожара в лесной местности.

Показателем эффективности (выполнения задачи) может служить приращение вероятности недопущения экономических потерь или математического ожидания сохраненных ресурсов, получающегося в результате обработки соответствующей информации. Вероятность недопущения потерь $W_i^{(\dot{e})}$ и математическое ожидание сохраненных ресурсов $m_c^{(\dot{e})}$ с учетом соответствующего информационного обеспечения можно записать в следующем виде

$$W_i^{(\dot{e})} = W_i \cdot W^{(\dot{e})}, m_n^{(\dot{e})} = m_n \cdot W^{(\dot{e})}.$$

где W_n , m_c — вероятность недопущения потерь и математическое ожидание сохраненных ресурсов, получаемые БАК, в состав которого входит БЛА. $W^{(u)}$ — вероятность выполнения задачи БАК по получению и обработке соответствующей информации.

Для случая, когда $P_{m,n}$ — вероятность того, что из n БЛА, входящих в БАК, только m смогут определить очаг пожара в лесу, а $W^{(u)}(m)$ — условная вероятность выполнения БАК задачи определения очага пожара. Тогда вероятность выполнения задачи БАК получается по формуле полной вероятности

$$W^{(u)} = \sum_{m=1}^n P_{m,n} W^{(u)}(m).$$

Комплексирование навигационных систем в условиях случайной смены режимов работы

Лобатый А.А., Бенкафо А.С.

Белорусский национальный технический университет

На основе теории систем случайной структуры рассматривается задача комплексирования инерциальной навигационной системы (ИНС) и спутниковой навигационной системы (СНС) с идентификацией режимов работы и оптимальной оценкой выходных сигналов измерителей.

Основой комплекса ориентации и навигации (КОН) подвижного объекта являются высокоточные ИНС, обычно бесплатформенного типа (БИНС) и СНС. При этом БИНС и СНС работают одновременно, дополняя друг друга. Изменение режимов работы системы ИНС-СНС (переключение) происходит в случайные моменты времени. В то же время каждый из возможных режимов (выход из строя навигационного искусственного спутника Земли или шумовая помеха) могут быть априорно описаны соответствующей математической моделью. В таком случае обработка принятых сигналов и извлечение из них полезной информации должна производиться с учетом статистических характеристик самих сигналов, сопровождающих их помех и законов подключения каналов к источникам информации.

Алгоритмы оптимальной обработки, обеспечивающие реализацию потенциальных возможностей выделения полезной информации, решают связанные между собой две задачи: определяют режим работы системы и выделяют полезную информацию. В системе комплексирования ИНС-СНС необходимо кроме фильтра, выделяющего полезную информацию из всей совокупности входных сигналов, иметь идентификатор, с помощью которого определяется тип (номер) режима, в котором работает система. Поскольку структура и параметры фильтра существенно зависят от режима работы системы, то работой фильтра должен управлять идентификатор. В то же время идентификатор должен использовать информацию с выхода фильтра, так как его работа (идентификация режима) основана на различии в характере выделяемой информации.

Применение в комплексе ориентации и навигации подвижного объекта алгоритмов идентификации режима в дополнение к калмановским алгоритмам фильтрации ошибок ИНС и СНС позволяет повысить устойчивость КОН к внезапным изменениям режимов работы, что повысит эффективность применения подвижных объектов, к которым относят все более широко применяемые дорогостоящие беспилотные авиационные комплексы.

Нечеткий регулятор автопилота подвижного объекта

Аль-Машхадани М.А.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение заданного качества работы автопилота подвижного объекта в переходном режиме достигается введением в прямую и обратную цепь дифференцирующих звеньев, что позволяет формировать сигнал управления $u(t)$ с прогнозом. Если амплитуда сигнала ошибки $\varepsilon(t)$ увеличивается, производная $\dot{\varepsilon}(t)$ положительна и сигнал $u(t)$ в этом случае увеличивается. При уменьшении $\varepsilon(t)$ производная $\dot{\varepsilon}(t)$ отрицательна и сигнал управления $u(t)$ уменьшается более интенсивно, чем при пропорциональном управлении. Закон управления в данном случае имеет вид

$$u(t) = K_1 \varepsilon(t) + K_2 \dot{\varepsilon}(t). \quad (1)$$

Наличие в сигнале управления второй производной $\ddot{\varepsilon}(t)$ может еще больше улучшить качество управления в переходном режиме.

В реальных условиях реализовать такой регулятор практически невозможно из-за не реализуемости в чистом виде дифференцирующего звена.

Получить приближенное решение задачи синтеза регулятора типа (1) позволяет применение так называемых нечетких регуляторов. При этом первую производную от ошибки обычно вычисляют как первую разность по приближенной формуле:

$$\dot{\varepsilon}(t) = [\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)] / h, \quad (2)$$

где $\varepsilon(k)$ - ошибка квантования сигнала $\varepsilon(t)$ по уровню.

Математическое моделирование нечеткого регулятора удобно производить с помощью пакета Matlab-Simulink. При этом имеется возможность использовать функции принадлежности не только треугольного вида, но и другого, в зависимости от поставленной задачи. В частности, при обработке случайных сигналов удобно использовать гауссову аппроксимацию функции принадлежности.

Результаты исследований показывают, что применение в системах управления нечетких регуляторов, основанных на использовании теории нечетких множеств, позволяет успешно решать задачи обеспечения требуемых динамических свойств системы, так как в этих регуляторах происходит автоматическая подстройка коэффициентов усиления параметров, используемых для управления системой.

Оптимизация управления беспилотным летательным аппаратом

Лобатый А.А., Аль-Машхадани М.А.

Белорусский национальный технический университет

Поскольку одной из основных задач беспилотного летательного аппарата (БЛА) является мониторинг отдельных участков земной поверхности, то представляет интерес наведение БЛА по траектории, заданной опорными точками в инерциальной системе координат $(O^{(k)}X^{(k)}Y^{(k)}Z^{(k)})$, где k – номер точки пространства, через которую должна пройти траектория БЛА, $O^{(k)}$ – точка начала отсчёта. Таким образом, траектория БЛА состоит из отдельных интервалов, на которых необходимо обеспечить оптимальное наведение БЛА с учётом выполнения требований точности и устойчивости наведения. Особенностью данной постановки задачи является задание на каждом интервале наведения новой инерциальной системы ординат $(O^{(k)}X^{(k)}Y^{(k)}Z^{(k)})$.

На каждом интервале начало системы координат $O^{(k)}$ совпадает с исходной точкой траектории. Ось $O^{(k)}X^{(k)}$ направлена на следующую точку траектории. Ось $O^{(k)}Y^{(k)}$ направлена вертикально вверх. Ось $O^{(k)}Z^{(k)}$ составляет с осями $O^{(k)}X^{(k)}$ и $O^{(k)}Y^{(k)}$ правую систему координат.

Определим оптимальное управление (ускорение) БЛА на k -м интервале наведения в горизонтальной плоскости. Критерий оптимизации будем рассматривать обычный для задач наведения квадратичный.

$$J = \frac{1}{2} \left[c_1 (V_z - V_{зад})^2 + c_2 (Z - Z_{зад})^2 \right]_{t=t_f} + \frac{1}{2} \int_{t_0}^t c_3 a_z^2 dt,$$

где t_f – момент встречи БЛА с требуемой точкой пространства. $V_{зад}$ – заданное значение проекции скорости БЛА на ось $O^{(k)}Z^{(k)}$ соответствующей инерциальной системы координат в конце наведения на k -м интервале. $Z_{зад}$ – боковая координата заданной точки траектории. c_1, c_2, c_3 – коэффициенты оптимизируемого функционала. Задача определения оптимального бокового ускорения $a_z(t)$ решается путём применения методов аналитического конструирования.

Предложенный метод аналитического синтеза закона управления на этапе предварительной разработки системы управления БЛА позволяет получить оптимальный для заданного критерия качества закон управления при наведении БЛА по траектории, проходящей через заданные точки пространства. Последующая практическая реализация данного закона управления в автопилоте беспилотного или пилотируемого летательного аппарата представляет собой известную задачу синтеза регулятора.

Особенности расчета энтропии системы с релевским распределением состояний

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.
Белорусский национальный технический университет

При проектировании и анализе систем защиты информации возникает задача оценки качества шума, генерируемого активными средствами защиты (генераторами преднамеренных помех). Для решения этой задачи целесообразно иметь представление об энтропии шумового сигнала, огибающая которого распределена по закону Релея с дисперсией σ^2 и плотностью вероятности

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right).$$

Как известно, при определении энтропии системы, состояния которой являются непрерывной случайной величиной, необходимо ввести в рассмотрение отрезок неопределенности Δx . В пределах данного отрезка состояния системы неразличимы и можно непрерывную систему приближенно заменить дискретной, для которой энтропия определяется формулой

$$H = H^* - \log \Delta x = - \int_0^{\infty} f(x) \log f(x) dx - \log \Delta x.$$

Входящий в выражение несобственный интеграл может быть найден аналитически и выражен через постоянную Эйлера $\gamma \approx 0,5772$. В итоге энтропия H может быть выражена в виде

$$H \approx 1,359 + \log \frac{\sigma}{\Delta x} = 1,359 + \log N.$$

Зависимость энтропии системы от числа N приведена на рисунке.

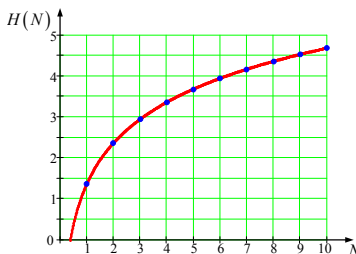


Рисунок. Зависимость энтропии от числа N

О реализации технологии программированного обучения

Мармыш А.О., Борисевич Е.А., Найдок А.В.

Белорусский национальный технический университет

Переход к информационному обществу требует от системы образования решения принципиально новой задачи подготовки студентов, которые будут способны не только воспринимать, хранить и воспроизводить информацию, но и управлять информационными данными и эффективно их обрабатывать. Это связано с появлением новых теоретических и практических задач, отличающихся системным и междисциплинарным характером, нестандартностью, не имеющих однозначных и простых решений.

В настоящее время идет активная разработка компьютерных обучающих технологий. Применение средств электронно-вычислительной техники и современных информационных технологий в учебном процессе позволяет эффективно осуществлять необходимое справочно-информационное обеспечение учебных занятий, соблюдать определенную логику представления учебного материала, создавать ситуации выбора правильного ответа из некоторой совокупности предлагаемых его вариантов или же его формулирование и ввод в компьютер для сравнения с образцом.

С этой целью в рамках курсового проекта по дисциплине «Основы алгоритмизации и программирования» был разработан программный продукт, представляющий собой программную реализацию методической разработки по теме: «Приемы факторного анализа: способ цепной подстановки, способ абсолютных разниц, способ относительных разниц».

Рассмотренная тема была разбита на модули. По каждому из них студентам предлагается ознакомиться с теоретическим материалом, выполнить практическую задачу, с возможностью проверки своих вычислений, и пройти тест.

В случае успешного прохождения теста пользователь имеет возможность перейти к следующему модулю. В заключение пользователь выполняет итоговый заключительный тест, от которого и будет зависеть его оценка.

Данная программа способствует выработке у студентов автоматизированных практических навыков, крепких однозначных и систематизированных знаний материала изучаемой учебной дисциплины и формировании у них соответствующих умений по решению конкретных задач.

Оптимизация модели учебного процесса

Тараскин Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Обязательным элементом любого учебного процесса является контроль знаний. Методы контроля выполняют контрольно-корректирующую функцию в учебном процессе, связанную с его диагностикой и управлением. Они призваны обеспечить внешнюю обратную связь (контроль педагога) и внутреннюю (самоконтроль обучающегося) в процессе обучения.

Рассматривая высшее учебное заведение как систему управления, необходимо особо отметить область проверки знаний и навыков студентов. Принятие решений в данной области традиционно практически целиком возлагается на преподавателя, несмотря на возможность частичной автоматизации этого процесса. Широкое внедрение инструментальных средств, позволяющих автоматизировать процесс проверки знаний и навыков, помогло бы решить часть проблем системы высшего образования.

Чаще всего автоматизация принятия решений в области контроля знаний обеспечивается средствами тестирования, и наибольшее распространение получило компьютерное тестирование. В настоящее время при компьютерном тестировании знаний студентов преподаватели если и ранжируют вопросы по уровню сложности, то чаще всего, опираясь на профессиональную интуицию. Однако чтобы повысить объективность тестирования, необходимо применение автоматического ранжирования вопросов. Идея проста: чем больше студентов ответит на тот или иной вопрос, тем меньший вес будет иметь правильный ответ на этот вопрос и наоборот. Предполагается, что система сбора и хранения результатов тестирования уже реализована, и в качестве входных данных система получает матрицу (a_{ij}) размерности $n \times m$. В этой матрице j -й столбец будет содержать ответы j -го студента, i – номер вопроса. Значение a_{ij} будет равно 1 в случае правильного ответа j -го студента на i -й вопрос, или будет равно 0 в противном случае. Всего имеется n вопросов и m студентов:

Оценка для j -го студента получается по формуле:

$$M_j = \sum_{i=1}^n p_i^* a_{ij}$$

Нормальный вес вопроса – величина, равная произведению веса вопроса на коэффициент нормализации

$$p_i^* = \alpha p_i.$$

Аналитический метод параметрической идентификации линейных динамических объектов

Симаньков В.И.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «ОКБ ТСП»

Описывается метод параметрической идентификации линейных моделей объектов автоматики по экспериментальным частотным характеристикам, отличающийся от описанных в классической литературе. Предложен двухэтапный метод параметрической идентификации по частотным характеристикам: сначала аппроксимация фазочастотной характеристики (ФЧХ) объекта, затем аппроксимация амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) объекта.

Производится краткий обзор, сравнение и выбор численного метода решения задачи наименьших квадратов для аппроксимации ФЧХ объекта аналитическим выражением. На первом этапе идентификации рекомендуется применять метод сопряженных градиентов в модификации Полака-Рибьера, на втором этапе – алгебраический метод определения экстремума квадратичной функции. Производится параметрическая идентификация реального объекта управления по экспериментальным данным предложенным методом. Выполняется сравнение разработанного метода и метода “*Process models estimation*”, реализованного в САПР *MATLAB*.

Предложенный метод может использоваться для параметрической идентификации динамических объектов, и имеет преимущество в точности идентификации ФЧХ перед методом «*Process models estimation*» при незначительном снижении точности аппроксимации АЧХ и амплитудно-фазочастотной характеристики объекта. Достоинствами метода являются высокая скорость сходимости, сбалансированная точность аппроксимации частотных характеристик, сравнительная простота. Высокая скорость сходимости обусловлена тем, что точность вычислений градиента и целевой функции по аналитическим выражениям выше точности численной аппроксимации. Это позволяет делать точные шаги в точном направлении, что уменьшает количество итераций. Недостатком является сложность аналитических записей целевых функций и их градиентов, кусочно-заданные функции ФЧХ колебательных и форсирующих второго порядка звеньев. Это увеличивает вычислительную сложность алгоритма и снижает универсальность метода. Однако повышенная вычислительная сложность компенсируется снижением числа итераций и меньшим машинным временем.

Особенности широтно-импульсного способа управления двухфазным асинхронным двигателем при питании обмоток одно- и многократными ШИМ последовательностями

Стрижнев А.Г., Симаньков В.И., Шихов А.А.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «ОКБ ТСП»

Рассмотрена сущность одно- и двухобмоточного широтно-импульсного способа управления двухфазным асинхронным двигателем (ДАД) при питании обмоток одно- и многократными (четырёхкратными) ШИМ последовательностями с замыканием обмоток в паузе при регулировании. Для исследований был создан испытательный стенд, состоящий из задающего устройства, цифрового усилительно-преобразовательного устройства, двухфазного двигатель-генератора ДГ-2ГА, исполнительного механизма, нагрузки и цифрового датчика положения. С помощью стенда сняты временные диаграммы напряжений и токов, питающих обмотки двигателя, и определены их спектры. С помощью идентификационной программы, разработанной в среде MATLAB, построены регулировочные характеристики и измерено энергопотребление при регулировании скорости ДАД, а также определена передаточная функция привода и ее параметры. Осуществлен сравнительный анализ способов управления ДАД и показано преимущество временного и фазового способов перед широтно-импульсным (снижение на 11–26% постоянной времени T). Особенностью широтно-импульсного способа является наличие зоны чувствительности, хорошая линейность и высокая крутизна регулировочной характеристики на начальном участке.

Применение многократной ШИМ позволяет улучшить спектральный состав напряжений и токов, питающих обмотки двигателя (для гармоник с номером $n=1-5$ спектральный состав не зависит от параметра регулирования q и коэффициент несинусоидальности составляет 99,9%), и снизить энергопотребление на 14%. Однообмоточный способ управления в сравнении с двухобмоточным обеспечивает меньшую в 7 раз зону нечувствительности, но большее до 3-х раз энергопотребление. Применение однообмоточного способа позволяет увеличить на 41% коэффициент усиления K и уменьшить на 48% постоянную времени T привода, что приводит к подъему АЧХ (на 1,5–8 дБ) и ФЧХ (на 1–13 град) во всем диапазоне частот. Полученные данные позволяют произвести расчет корректирующих устройств и осуществить моделирование работы привода в составе системы управления.

Моделирование управления беспилотным летательным аппаратом

Кузнецов Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) являются не просто новым классом летательных аппаратов, а качественно новым, более высоким уровнем не только военной, но и гражданской авиации. Работы по созданию БЛА проводятся в связи с постоянным повышением требований к их летным характеристикам. В сложившихся условиях очень важным является всестороннее теоретическое исследование БЛА с использованием системного подхода, а также применение новых моделей и алгоритмов для решения проблемных вопросов, неизбежно возникающих в процессе его проектирования.

БЛА имеют ряд преимуществ перед пилотируемыми аппаратами:

- нет необходимости в оснащении их системами жизнеобеспечения;
- если аппаратом управляют с земли, то один оператор может управлять несколькими машинами;
- не требуется дорогостоящая подготовка для пилотов – здесь используются исключительно тренажеры и симуляторы;
- БЛА потребляют сравнительно меньше топлива, предъявляя существенно более низкие требования к аэродромам, меньше по размерам и более маневренны. Они могут совершать такие фигуры пилотажа, которые с высокой вероятностью могли бы привести к гибели летчика на пилотируемой машине.

Разработка математической модели движения БЛА относится к одному из первых этапов процесса создания системы управления полетом. При этом их полнота и точность зависит от назначения разрабатываемых моделей. Процесс разработки и исследования алгоритмического обеспечения системы управления полетом подразумевает наличие математической модели летательного аппарата, используемой для синтеза законов управления и выбора алгоритмов формирования сигналов управления.

Выделяют четыре основные задачи, стоящие перед разработчиками систем управления БЛА: обеспечение надёжной связи БЛА со станцией управления полетом; обеспечение ориентации БЛА в пространстве; обеспечение возможности обнаружения БЛА динамических и статических объектов в пространстве; обеспечение непосредственного взаимодействия БЛА с этими объектами. Решение данных задач составляет основу разработки БЛА.

Методика оптимизации распределенных информационных систем

Бичко Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность темы «Информационная система» (ИС) является неотъемлемой частью любого современного предприятия. С развитием системы увеличивается объем информации, вследствие чего усложняется ИС за счет увеличения количества ее компонентов как программных, так и аппаратных, их разнообразия, а также вариантов архитектуры, используемых технологий и т.п.

Распределенная информационная система (РИС) является основой системы управления и играет важную роль в работе предприятия. Она состоит из множества компонентов; разделение функций между компонентами привело к появлению различных архитектур ИС, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки, что определяет особенности ее использования в зависимости от требований предприятия-заказчика.

Перечисления достоинств и недостатков программно-аппаратных компонентов, архитектур или технологий недостаточно для принятия обоснованного решения в пользу того или иного решения; при этом используется также большое количество критериев выбора, которые к тому же отличаются степенью важности и приоритетами в зависимости от требований к РИС.

В настоящее время при формировании РИС все-таки прибегают обычно к простому сравнению компонентов по их возможностям, описанным производителями или полученным на основе тестирования. К тому же следует подчеркнуть, что при этом обычно проверяется только один из критериев, например надежность или производительность.

Ситуация обусловлена тем, что недостаточно разработаны специальные методики, позволяющие совместно учесть все рассматриваемые критерии и степень их важности в зависимости от требований к РИС. Формирование и развитие таких методик поможет не только разработчикам при создании и обслуживании РИС, но и производителям соответствующих компонентов.

Таким образом, выявление, формулировка и реализация неформализованных процедур этапов синтеза РИС на основе методов и алгоритмов современных неклассических информационных технологий в виде обобщенной методологии автоматизации системных исследований приведет к более последовательному и эффективному результату в исследовании сложных систем.

Измерение и расчет параметров схемы замещения m -фазной электрической машины

Стрижнев А.Г., Коновалов С.И., Войтенко К.Ю., Доницков О.В.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «ОКБ ТСП»

Теоретически известна схема замещения фазы электрической машины (трансформатора, асинхронного двигателя и т.д.) и методика расчета её параметров для напряжения синусоидальной формы номинальной частоты. Однако возможны режимы работы электрических машин в заданном диапазоне рабочих частот. На примере трехфазного трансформатора для различных частот были проведены опыты холостого хода и короткого замыкания, необходимые для расчета параметров схемы замещения.

Для рабочего диапазона частот и различных опытов выполнено моделирование схемы замещения в среде MicroCap, результаты которого совпали с точностью до 2% с экспериментальными данными осциллограмм токов и напряжений цепи.

Для проверки полученных результатов в диапазоне частот от 25 до 800 Гц T-образная схема замещения трансформатора для режима короткого замыкания была приведена к упрощенной схеме двухполюсника и с помощью измерителя иммитанса E7-25 определены входные параметры трансформатора.

Проведено сравнение иммитансов, полученных расчетным и измеренным способами для номинальной частоты 400 Гц. Расхождение результатов составило 30 % для активного сопротивления и 20 % для индуктивного, что вызвано зависимостью параметров цепи от амплитуды приложенного переменного напряжения и нелинейностью характеристик магнитопровода. Это необходимо учитывать при оценке параметров электрических машин, в том числе и асинхронных двигателей.

Полученные результаты могут быть использованы при исследовании динамических свойств различных m -фазных электрических машин. Важным является то, что такие машины могут управляться от частотных преобразователей, формирующих импульсные напряжения, содержащие гармоники различных частот.

Установлено, что параметры схемы замещения частотно зависимы, в том числе и активное сопротивление. Причем активное сопротивление зависит линейно от частоты, а реактивные сопротивления нелинейно, что необходимо учитывать в научной и инженерной практике.

Программная реализация помехоустойчивого кода Хэмминга

Зайко Г.В., Пентегов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является разработка программного приложения для изучения студентами помехоустойчивого кодирования в рамках курса «Основы информационных технологий». Код Хэмминга относится к типу корректирующих кодов. Корректирующие коды обладают свойством не только обнаруживать, но и исправлять ошибки. Код Хэмминга применяется для контроля информации, при передаче данных, в оперативной памяти, в запоминающих устройствах, на магнитных дисках и лентах.

Код Хэмминга – это систематический код с проверкой на четность. Он позволяет обнаруживать одиночные и двойные ошибки, исправлять одиночные ошибки. Исходя из неравенства $2^k - 1 \geq Q$, где Q – объём кода, определяется число информационных разрядов k , необходимое для передачи заданного числа сообщений обычным двоичным кодом. Пользуясь соотношением $2^{n-k} - 1 \geq n$, определяем общее число разрядов кода n , соответственно количество контрольных (проверочных): $m = n - k$.

Проверочные разряды разбивается на контрольные группы. Каждый контрольный разряд закрепляют за определенной группой. Перед передачей в контрольные разряды записываются 0 или 1, являющиеся признаками четности соответствующих групп. После передачи числа в приемном устройстве производится проверка на четность всех контрольных групп и записывается результат проверки. Полученная последовательность нулей и единиц образует двоичное число, называемое корректирующим, которое должно указывать номер разряда слова, в котором появилась ошибка. Корректирующее число, состоящее из одних нулей, указывает на отсутствие ошибки при приеме данных.

Программа реализована в среде Delphi. Интерфейс программы позволяет определить количество информационных и проверочных разрядов, а также выполнить преобразование безизбыточного кода в избыточный и обратное преобразование с исправлением одиночных ошибок. Разработанное приложение прошло апробацию при проведении лабораторно-практических занятий в Гродненском филиале кафедры «Информационные системы и технологии» Международного института дистанционного образования. Для удобства работы студентов приложения имеет справочную систему, которая содержит теорию построения кода Хэмминга и описание интерфейса программы.

Моделирование процессов в твердотельном высоковольтном модуляторе

Коновалов С.И., Доницков О.В., Войтенко К.Ю.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью
«ОКБ ТСП»

В последнее время в радиолокации часто используют сложно модулированные сигналы с высокой частотой повторения и широкой полосой рабочих частот. Для усиления таких сигналов, как правило, используются лампы бегущей волны (ЛБВ) или клистроны. Напряжения питания таких устройств составляют 10-40 кВ, что при высоких частотах повторения импульсов затрудняет использование для них анодной модуляции.

В таких приборах используется сеточная модуляция. Управление лампой происходит путем подачи на управляющий электрод либо отрицательного запирающего напряжения смещения, либо положительного открывающего напряжения превышения. Рабочие напряжения сеточных модуляторов составляют 1-5 кВ, что позволяет получить высокие частоты повторения импульсов. Нагрузкой в этом случае выступает паразитная емкость управляющего электрода лампы и монтажа схемы.

Замена электровакуумных ключей твердотельными элементами типа MOSFET или IGBT позволяет повысить надежность и долговечность передающего устройства. Однако твердотельные ключевые элементы – MOSFET и IGBT транзисторы – имеют ограниченное рабочее напряжение, зачастую меньшее, чем рабочее напряжение электровакуумного прибора. Поэтому была разработана схема многомодульного твердотельного модулятора на MOSFET транзисторах. В модуляторе исключаются перенапряжения на отдельных транзисторах за счет использования гальванически развязанных источников питания в каждом модуле.

Особенностью разработки является повышенная надежность, т.к. при выходе из строя отдельных силовых ключей модулятор сохраняет работоспособность. Имеется возможность повышения КПД модулятора за счет включения модулей с задержкой относительно друг друга.

При использовании трех модулей КПД повышается на 25%. Были проведены исследования процессов в многомодульном твердотельном модуляторе с использованием среды MicroCap. Результаты исследований доведены до инженерной практики и используются в действующей аппаратуре.

Методология автоматизации предоставления ИТ-услуг

Ковелько А.И.

Белорусский национальный технический университет

ИТ-услуга включает в себя информационные технологии, процессы и людей. ИТ-услуга, ориентированная на заказчика, непосредственно поддерживает бизнес процессы одного или более заказчиков; её целевые показатели должны быть определены в соглашении об уровне услуг. Другие ИТ-услуги, называемые поддерживающими, не используются бизнесом непосредственно, но необходимы поставщику услуг для предоставления услуг, ориентированных на заказчика.

Для достижения корпоративных целей и удовлетворения потребностей бизнеса организации становятся все более зависимыми от ИТ. Эта зависимость приводит к повышению спроса на качественные ИТ-услуги, причем уровень качества должен соответствовать требованиям бизнеса и пользователей по мере их развития. Это справедливо для организаций всех типов и размеров, будь то национальное правительство, межнациональный консорциум, компания с множеством представительств, где услуги ИТ оказываются как централизованно, так и на местном уровне, поставщик услуг на условиях аутсорсинга или компания с одним офисом и единственным сотрудником, занимающимся ИТ. В любом случае необходимо предоставлять максимально качественные и надежные услуги, удовлетворяющие требованиям заказчиков. Управление ИТ-услугами включает в себя предоставление и поддержку услуг ИТ, отвечающих потребностям организации.

Целью исследования является методология предоставления ИТ-услуг, позволяющая предоставлять услуги более высокого качества, обосновать качество услуг с точки зрения затрат, создать соответствие услуг требованиям бизнеса, заказчика и пользователя, интегрировать централизованные процессы, предоставить наглядные показатели эффективности предоставления сервисов.

Задачей исследования является реализация методологии автоматизации предоставления ИТ-услуг в организации, а также внедрение программного обеспечения, позволяющего наиболее эффективно реализовать решения, полученные в ходе исследования, а также организация работы службы ServiceDesk. При этом предполагается использование инструментов для отслеживания запросов пользователей, поиска корневых причин инцидентов, снижения повторяющихся сбоев в работе ИТ; накопление базы знаний готовых решений.

Система «Умный дом» на основе платформы Arduino.

Плахотникова О.В.

Белорусский национальный технический университет

Система «Умный дом» — это комплекс программно-аппаратных средств, основной задачей которого является обеспечение надежного и гарантированного управления всеми системами жизнеобеспечения и безопасности здания.

В простейшем случае такая система должна уметь распознавать конкретные ситуации, происходящие в доме, и соответствующим образом на них реагировать: одна из систем может управлять поведением других по заранее выработанным алгоритмам. Кроме того, от автоматизации нескольких подсистем возрастает эффективность всего комплекса в целом.

В работе разработана единая, взаимосвязанная система, которая обеспечивает удаленный доступ, автоматизированный мониторинг и управление системами освещения, вентиляции, водоснабжения, электропитания и пожарно-охранной системы. Такая система не только упрощает управление, но и обеспечивает существенную экономию энергетических ресурсов.

При конструировании такой системы используется аппаратно-вычислительной платформы Arduino. Это небольшая плата на базе микроконтроллера «все в одном». Arduino представляет собой линейку электронных плат, которые можно подключать к компьютеру по USB, а в качестве периферии — любые устройства от светодиодов до механизмов радиоуправляемых моделей и роботов. Arduino — доступная, удобная и дешевая платформа для автоматизации.

Самая распространенная версия — «Arduino Uno» имеет 8-битный 16MHz процессор на базе AVR, 2Kb RAM, 32Kb flash.

Для контроля системы отопления и вентиляции используются датчики температуры и влажности AM2302. Для системы защиты от протечек воды используется High Sensitivity Water Sensor. Для управления системами освещения используются Arduino photoresistance light sensor и инфракрасный датчик движения для Arduino. Датчик движения позволяет обнаруживать движение человека или домашнего животного на расстоянии до 7 метров.

Для обнаружения утечек промышленного газа и задымления используется датчик газа, построенный на базе газоанализатора MQ-2. Он позволяет обнаруживать наличие в окружающем воздухе углеводородных газов (пропан, метан, н-бутан), дыма (взвешенные частицы, являющиеся результатом горения), водорода.

Особенности моделирования компрессорно-конденсаторных агрегатов

Красновская С.В., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

При активном применении радиоэлектронной аппаратуры встает вопрос об использовании эффективной охлаждающей системы, примером которой является компрессорно-конденсаторный агрегат.

Некоторые элементы компрессорно-конденсаторного агрегата могут вызывать механические колебания системы в целом, что может привести к поломке и выходу машины из строя. Несущим и опорным элементом конструкции агрегата является рама. Она должна обладать достаточной жесткостью для обеспечения целостности механической системы, предотвращая по возможности явления паразитных колебаний.

При анализе спектра собственных частот рам компрессорно-конденсаторных агрегатов встает вопрос о допустимой степени упрощения модели. Расчетная модель должна быть рационально построена исходя из времени расчета, точности и надежности получаемых результатов.

Для облегчения создания конечно-элементной модели на основе созданной геометрической модели определялись элементы конструкции, не влияющие существенно на распределение частот собственных колебаний компрессорно-конденсаторного агрегата. Разработанная упрощенная геометрическая трехмерная модель компрессорно-конденсаторного агрегата представлена на рисунке 1.

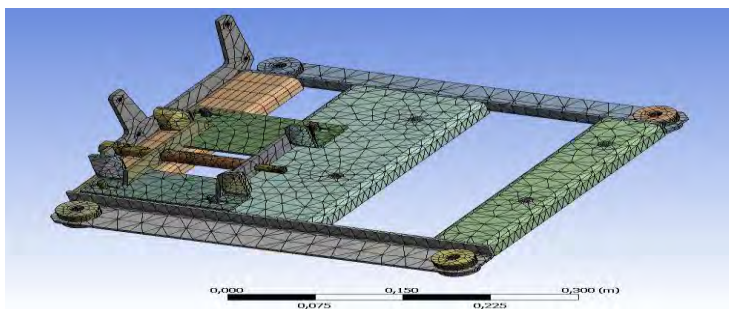


Рисунок 1 - Упрощенная конечно-элементная модель рамы и агрегатов в виде присоединенных масс

Вариант рациональной конечно-элементной модели рамы был выбран по критериям времени расчета, точности и надежности получаемых результатов.

Оптимизация конструкции центробежной форсунки на основе моделирования в ANSYS

Жевняк В.И., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

В автоматических линиях подготовки поверхностей к окраске применяются центробежные форсунки, изготавливаемые из стального сплава с подбираемой толщиной стенок после тщательных расчетов при действии эксплуатационных нагрузок.

В данной работе рассматривается построение параметрической модели центробежной форсунки и создание на ее основе оптимизационной модели и выбор наилучшего варианта конструкции. При выполнении моделирования и оптимизации конструкции использовалась академическая лицензионная версия программного комплекса ANSYS WORKBENCH, любезно предоставленная разработчиками. В результате исследований построена параметрическая геометрическая модель, выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния конструкции и факела распыливания жидкости под действием рабочих давлений, проведена оптимизация конструкции по критерию материалоемкости.

На рисунке 1 слева представлена исходная геометрия конструкции форсунки, в центре новая геометрия и справа пример факела распыливания. Приложены нагрузки, соответствующие реальным эксплуатационным условиям, при которых рассчитаны прочность и жесткость форсунки в период эксплуатации.

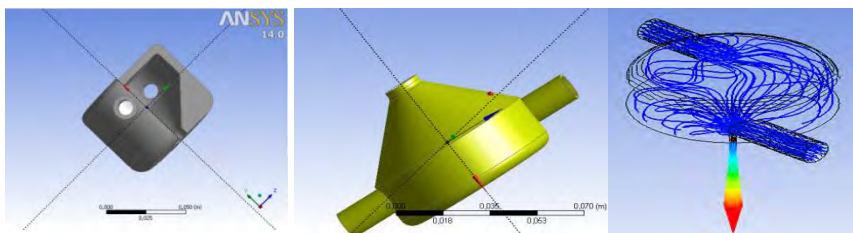


Рисунок 1. Исходная геометрия конструкции форсунки (слева), новая геометрия (в центре) и пример факела распыливания (справа)

Оценивая результаты оптимизации, можно сделать вывод о том, что при изменении конструкции удалось уменьшить массу форсунки до 0,222 кг при исходной массе в 0,661кг, сохранив необходимый запас прочности.

Исследование долговечности рамы двухкузовного полуприцепа при динамических нагрузках

Шахнова Т.А., Камран Каземпур Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

Многие детали машин и сооружений в эксплуатационных условиях подвергаются действию переменных нагрузок, многократно изменяющихся во времени. Предел прочности и предел текучести, полученные из статических испытаний, не могут являться характеристиками прочности материала при переменных напряжениях. При расчетах на прочность в машиностроении все большее значение приобретает другая характеристика прочности материала, а именно, предел усталости, или выносливости, определяемый на основе испытаний материала при переменных напряжениях. Модуль ANSYS Workbench предоставляет инженерам-исследователям базовые возможности для оценки усталостной долговечности.

В данной работе на основании конечно-элементной модели для конструкции двухкузовного полуприцепа (рисунок 1) исследована зависимость усталостной чувствительности (рисунок 2).

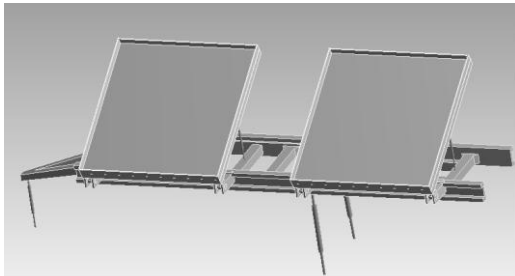


Рисунок 1. Конечно-элементная модель

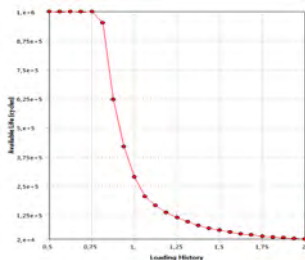


Рисунок 2. Усталостная Чувствительность

Кривая на рисунке 2 демонстрирует длительность возможного жизненного цикла для данного расчета выносливости. При нагрузке с постоянной амплитудой здесь отображено число циклов, после которых может начаться усталостное разрушение. Усталостное повреждение равно отношению проектного ресурса к располагаемому ресурсу.

Коэффициент сопротивления усталости (Fatigue Strength Factor) был принят равным 0,8. Как видно из графика усталостной чувствительности конструкции (рисунок 2), при нагрузке, превосходящей 0,75% от текущего номинального значения, длительности жизненного цикла модели начинает снижаться.

Математическое моделирование динамики торможения двухосной мобильной машины.

Мазаник К.И., Степанов В.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования является мобильная машина с тяговым электродвигателем (ТЭД); предметом — исследование динамических воздействий на мобильную машину в процессе торможения и возможность управления электромеханическими характеристиками её ТЭД.

При построении математической модели были учтены параметры, относящиеся к одной из следующих групп:

1) модель «водитель – автомобиль – дорога – среда» (ВАДС). Внутри данной модели также существует подразделение на дорожные и не дорожные факторы.

Одним из наиболее значимых дорожных факторов является коэффициент сцепления автомобильной шины с дорожной поверхностью, который в зависимости от типа дороги и текущих условий может варьироваться приблизительно от 0,08 для обледенелой дороги, до 0,8 для сухого асфальтобетонного покрытия.

2) группа параметров, связанная с ТЭД. В работе рассматривается двигатель ДК-213-А3, имеющий смешанную обмотку возбуждения. Основными зависимостями, которые моделируют воздействие ТЭД на процесс торможения мобильной машины, в математической модели, являются зависимости:

- частоты вращения двигателя от тока $n(I)$;
- вращающего момента от тока $M_{дв}(I)$.

В рамках разработанной математической модели также были учтены следующие параметры, касающиеся перечисленных выше групп:

- тормозная характеристика ТЭД в режиме торможения;
- поддрессоренные и неподдрессоренные массы мобильной машины;
- высота микронеровностей и тип дорожной поверхности;
- параметры трансмиссии мобильной машины;
- силы сопротивления и пр.

С учётом основных факторов, влияющих на процесс торможения, была разработана математическая модель. Полученная система дифференциальных уравнений решается методом Рунге-Кутты четвёртого порядка.

Таким образом, с помощью ТЭД можно развить значительное замедление, что способно существенно сократить тормозной путь машины и повысить активную безопасность городского электротранспорта в целом.

Проблема перехода на новый протокол IPv6

Шевчик В.О.

Белорусский национальный технический университет

IPv6 (Internet Protocol version 6) — новая версия протокола IP, призванная решить проблемы, с которыми столкнулась предыдущая версия (IPv4) при её использовании в интернете, за счёт использования длины адреса 128 бит вместо 32.

IPv4 (Internet Protocol version 4) — четвёртая версия и интернет протокола (IP). Первая широко используемая версия. Протокол описан в RFC 791 (сентябрь 1981 года), заменившем RFC 760.

IETF – Инженерный совет Интернета (англ. Internet Engineering Task Force) — открытое международное сообщество проектировщиков, учёных, сетевых операторов и провайдеров, созданное IAB в 1986 году и занимающееся развитием протоколов и архитектуры Интернета.

DNS-сервер — приложение, предназначенное для ответов на DNS-запросы по соответствующему протоколу. Также DNS-сервером могут называть хост, на котором запущено приложение.

DNS (Domain Name System — система доменных имён) — компьютерная распределённая система для получения информации о доменах. Чаще всего используется для получения IP-адреса по имени хоста (компьютера или устройства), получения информации о маршрутизации почты, обслуживающих узлах для протоколов в домене (SRV-запись).

Хекстет — часть адреса, разделенная двоеточием). Содержит 16 бит и содержит четыре шестнадцатеричные цифры.

Multicast (групповая передача) — специальная форма широковещания, при которой сетевой пакет одновременно направляется определённому подмножеству адресатов — не одному (unicast), и не всем (broadcast).

Unicast — однонаправленная (односторонняя) передача данных подразумевает под собой передачу пакетов единственному адресату.

Broadcast — метод передачи данных в компьютерных и социальных сетях, при котором поток данных предназначен для приёма всеми участниками сети.

IPsec (сокращение от IP Security) — набор протоколов для обеспечения защиты данных, передаваемых по межсетевому протоколу IP. Позволяет осуществлять подтверждение подлинности (аутентификацию), проверку целостности и/или шифрование IP-пакетов. IPsec также включает в себя протоколы для защищённого обмена ключами в сети Интернет. В основном, применяется для организации vpn-соединений.

Система поиска изображений

Огневой Г.Д.

Белорусский национальный технический университет

Эвристика – это специальные методы решения задач (эвристические методы), которые обычно противопоставляются формальным методам решения, опирающимся на точные математические модели. Использование эвристических методов (эвристик) сокращает время решения задачи по сравнению с методом полного ненаправленного перебора возможных альтернатив; получаемые решения не являются, как правило, наилучшими, а относятся лишь к множеству допустимых решений.

Хэш – блок данных фиксированного размера, полученный в результате хэширования массива данных.

Хэш-функция – функция, осуществляющая хэширование массива данных посредством отображения значений из (очень) большого множества-значений в (существенно) меньшее множество-значений.

Хэширование – в криптографии преобразование массива данных произвольного размера в блок данных фиксированного размера, служащий (в некоторых случаях) заменителем исходного массива. Хэширование выполняется с помощью хэш-функций

Перцептивный хэш — в отличие от криптографического перцептивные хэши можно сравнивать с помощью вычисления Расстояния Хэмминга

Расстояние Хэмминга – число позиций, в которых различаются соответствующие символы двух строк одинаковой длины.

В более общем случае расстояние Хэмминга применяется для строк одинаковой длины любых k -ичных алфавитов и служит метрикой различия (функцией, определяющей расстояние в метрическом пространстве) объектов одинаковой размерности.

Процедура голосования применяется к пространству параметров, из которого и получают объекты определённого класса фигур по локальному максимуму в, так называемом, накопительном пространстве (accumulator space), которое строится при вычислении трансформации Хафа.

Классический алгоритм преобразования Хафа связан с идентификацией прямых в изображении, но позже алгоритм был расширен возможностью идентификации позиции произвольной фигуры, чаще всего – эллипсов и окружностей. Этот алгоритм назвали «обобщённым преобразованием Хафа».

Распределение температур в материале рассеивающего радиатора

Красняков А.Д.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования является определение эффективности рассеивающего радиатора на основе конечно-элементного подхода. Предметом исследования является распределение температуры в рассеивающем радиаторе персонального компьютера.

Целью исследования является расчёт температуры в материале рассеивающего радиатора процессора компьютера.

Средством исследования является многоцелевой конечно-элементный пакет ANSYS для проведения анализа в широком круге инженерных дисциплин. ANSYS является универсальным т.н. “тяжелым” конечно-элементным пакетом, предназначенным для решения задач на прочность, тепло, электромагнетизм. Препроцессор ANSYS позволяет создавать геометрические модели собственными средствами и импортировать готовые.

Геометрическая модель в дальнейшем может быть модифицирована любым образом, поскольку при импорте осуществляется перетрансляция данных в геометрический формат ANSYS и деталь не подменяется “неприкасаемой” конечно-элементной сеткой.

В результате выполненной работы создана методика моделирования распределения температурного поля в пассивных охлаждающих радиаторах.

В ходе выполнения проекта решены следующие задачи:

- выполнен обзор предметной области;
- обоснован выбор конечно-элементного комплекса. При этом предпочтение отдано комплексу ANSYS;
- разработана конечно-элементная, модель с учетом особенностей выбранного пакета моделирования и возможностей суперкомпьютера «СКИФ 1000»;
- выполнены расчеты распределения температур и вектора теплового потока в материале пассивного охлаждающего радиатора.

Подготовленная модель может использоваться для поиска оптимальных параметров конструкций пассивных охлаждающих радиаторов и статистического анализа вариантного решения.

Язык SQL в системе управления базами данных

Раджух М.А.

Белорусский национальный технический университет

Microsoft SQL Server представляет собой СУБД, обеспечивающую создание информационных систем с архитектурой «клиент-сервер», в которой он играет роль сервера баз данных.

Язык SQL (Structured Query Language – структурированный язык запросов) разработан сотрудниками фирмы IBM в начале 70-х годов XX века в рамках работы над проектом системы управления реляционными базами данных), где впервые был применен термин "реляционная модель данных".

Применение СУБД для упорядоченного хранения информации позволяет ввести стандарты и организовать на более качественном уровне хранение и извлечение данных, защиту информации, управление транзакциями с помощью языка SQL.

Работу с языком SQL можно представить следующей схемой .



Рис. 1. Работа с языком SQL

Из схемы видно, что пользователь на языке SQL обращается к СУБД с запросом. СУБД выбирает необходимые данные из базы и возвращает их пользователю.

Язык SQL можно использовать в двух режимах: интерактивный, прикладные программы. SQL это мощный инструмент, обеспечивающий пользователям, программам и вычислительным системам доступ к информации, содержащейся в БД.

Краткий обзор драйверов спецификации NDIS

Раджух М.А.

Белорусский национальный технический университет

Сетевые драйверы можно разделить на две категории: TDI-драйверы (Transport Driver Interface) и NDIS-драйверы (Network Driver Interface Specification).

TDI-драйверы — это высокоуровневые драйверы, например, SMB-клиент, SMB-сервер, обертки SMB (NFFS, MSFS) и т.п. Рассмотрим NDIS-драйвера.

NDIS — это специальный драйвер (ему соответствует файл ndis.sys), который содержит функции, используемые низкоуровневыми сетевыми драйверами.

NDIS как бы обволакивает низкоуровневые сетевые драйверы и является посредником в их общении между собой и с железом. По сути NDIS можно считать третьим ядром Windows. NDIS-драйверы бывают трёх типов:

Минипорт-драйверы (драйверы адаптера) содержит 22 стандартные callback-функции, с помощью которых он оповещает о различных событиях.

Функции минипорт-драйвера можно описать следующим образом:

1. осуществление инициализации своего устройства (адаптера);
2. создание /включение/выключение/удаление сетевых подключений;
3. выдача клиенту или изменение параметров адаптера;
4. отправка пакетов;
5. получение пакетов;
6. оповещение ОС о состоянии адаптера;
7. перезагрузка и остановка адаптера.

Промежуточные драйверы (например, psched.sys) организуют справедливый доступ разных клиентских программ к адаптерам, чтобы программы не мешали друг другу, фильтруют и перехватывают трафик, маршрутизируют пакеты из одной сети в другую, если эти сети различаются.

Драйверы протокола (например, tcpip.sys) Эти драйверы занимаются тем, что выделяют ресурсы для соответствующих пакетов, копируют данные приложений в пакеты и передают их драйверам нижнего уровня.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Расчет магнитного поля вентильно-индукторного двигателя

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

Вентильно-индукторные двигатели (ВИД) являются надежными, простыми по конструкции и недорогими электрическими машинами, которые могут наравне конкурировать с асинхронными двигателями и синхронными двигателями с постоянными магнитами. Несмотря на близость по конструкции шаговых двигателей и ВИД последние имеют существенные различия. Существенная нелинейность магнитной цепи, обусловленная конструкцией двигателя, и дискретный характер работы фазных обмоток не позволяет в полной мере использовать традиционные методы анализа и синтеза по отношению к электроприводу с ВИД.

Это привело к тому, что особое значение приобретают исследования квазиустановившихся электромагнитных процессов в ВИД на основе математических (имитационных) моделей. При этом невозможно построить такую модель без расчета магнитного поля ВИД.

Решение системы уравнений, описывающих распределение магнитных полей по сечениям в ВИД, осуществляется методом конечных элементов. Он позволяет достаточно точно учитывать сложность геометрии ВИД, наличие областей с различными источниками поля, с нелинейными параметрами и характеристиками. Среди применяемых в настоящее время пакетов программ, основанных на методе конечных элементов, можно выделить пакет FEMM4.2 благодаря своей простоте в использовании и доступности. Данный пакет применяется для решения двумерных задач магнитостатики (рисунок 1) и квазидинамики.

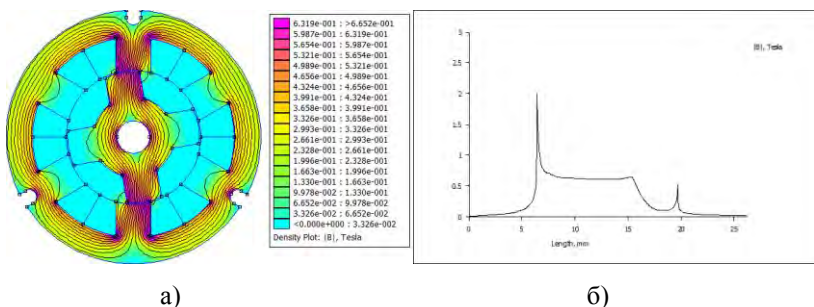


Рисунок 1. Распределение магнитной индукции в а) магнитопроводе и б) воздушном зазоре ВИД

Таким образом, задача расчета магнитного поля ВИД является первичной при построении моделей электроприводов на основе ВИД.

Особенности определения параметров схемы замещения многофазного асинхронного двигателя

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Известны электроприводы "многовентильный НПЧ-АД" с двигателем, имеющим две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на угол θ . Обе обмотки питаются от НПЧ двумя трёхфазными системами напряжений, сдвинутыми во времени относительно друг друга на угол γ .

Наличие двух трехфазных статорных обмоток усложняет физические процессы в АД как электромеханическом преобразователе по сравнению с АД, имеющим одну трехфазную статорную обмотку, за счет взаимной магнитной связи между статорными обмотками. Установлена взаимная индуктивная связь как между одноименными фазами АД А1-А2, В1-В2, С1-С2, так и между разноименными фазами А1-В2, А1-С2, В1-А2, В1-С2, С1-А2, С1-В2. При этом из-за различных пространственных углов между осями обмоток фаз величины взаимных индуктивностей изменяются по модулю от нуля до величины, равной величине взаимоиндуктивности обмоток при пространственном сдвиге между осями в 30 эл. градусов. Максимальная величина взаимоиндуктивности между двумя фазами разных трехфазных обмоток при совпадении осей равна

$$M_{12} = \frac{4\lambda}{\pi^2 p} w_1 \cdot w_2 \cdot k_{об}^1 \cdot k_{об}^2,$$

где $\lambda = \frac{\mu_0 \tau l}{\delta k_3}$ - магнитная проводимость по пути основного магнитного потока; τ, l, δ - полюсное деление, расчетная длина и расчетный воздушный зазор АД; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$; p - число пар полюсов; k_3 - коэффициент насыщения магнитной цепи при возникновении необходимости учета эффекта насыщения; $w_1, w_2, k_{об}^1, k_{об}^2$ - число последовательных витков фаз обмоток и их обмоточные коэффициенты.

АД с двумя статорными обмотками целесообразно выполнять таким образом, чтобы $w_1 = w_2, k_{об}^1 = k_{об}^2$. В этом случае максимальная величина взаимоиндуктивности между двумя обмотками двух трехфазных систем меньше величины индуктивности фазы на величину индуктивности рассеяния.

Синтез регуляторов электропривода в системе контурного управления

Опейко О.Ф., Хитро А.И.

Белорусский национальный технический университет

Требования к точности систем контурного управления выражаются добротностью по скорости $D_\omega = \Delta\omega / \Delta$, где $\Delta\omega$ – наибольший скачек скорости, возможный в системе, Δ – допустимая погрешность отработки заданного положения. Электропривод системы контурного управления должен обеспечивать высокое качество динамических режимов: быстродействие и отсутствие перерегулирования. При этих условиях добротность по скорости является мерой требуемого быстродействия, и связана с временем регулирования t_p приближенной зависимостью $D_\omega \approx 2/t_p$.

Для обеспечения высокой добротности, и, следовательно, малого времени разгона необходим малоинерционный двигатель с большим предельным моментом. Такие двигатели, специально предназначенные для использования в контурных и позиционных системах управления, выпускаются электротехнической промышленностью. Наилучшими показателями обладают синхронные электродвигатели с постоянными магнитами.

Актуальной остается проблема синтеза регуляторов тока, скорости и положения таких, чтобы в наибольшей мере использовать высокое быстродействие электродвигателя. Широко применяемый при проектировании систем управления электроприводами метод подчиненного регулирования не всегда эффективен, поскольку предполагает ПИ-регуляторы в контурах, что значительно увеличивает время регулирования.

Анализ результатов моделирования системы контурного управления позволяет сделать следующие выводы:

- Наибольшее быстродействие и точность могут быть достигнуты, если применить релейные регуляторы токов фаз статора электродвигателя;
- В режиме постоянства скорости точность отработки скорости достигается за счет астатизма контура регулирования положения; поэтому целесообразно применять П-регулятор скорости, как обеспечивающий наибольшее быстродействие;
- Контур регулирования положения должен обладать астатизмом, что возможно при применении ПИ-регулятора положения, либо П-регулятора в сочетании с каналом компенсации основного возмущения, то есть скачка заданной скорости.

Формирование кривой тока в двухфазном повышающем преобразователе постоянного напряжения

Миронович А.В., Примщиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

Для получения напряжений порядка нескольких сотен вольт в автономных установках при питании от аккумуляторной батареи часто применяются импульсные повышающие преобразователи постоянного напряжения. Классический способ управления силовым ключом посредством широтно-импульсной модуляции имеет один существенный недостаток – неминимальнофазовость передаточной функции системы. Физически это выражается в том, что для увеличения выходного напряжения требуется увеличивать энергию, накапливаемую в дросселе для последующей передачи в нагрузку, с другой стороны – при этом уменьшается временной интервал сброса тока из дросселя в нагрузку и накопительную ёмкость. Всё это особенно негативно проявляется в замкнутой системе управления.

Разрешить это противоречие можно путём применения так называемого граничного режима работы дросселя, когда открытие и закрытие силового ключа производится не с фиксированным периодом коммутации, а при достижении током дросселя определённых минимального и максимального значений. Данный метод неплохо проявляет себя в однофазной схеме преобразователя, однако, при построении многофазной силовой схемы, применяющейся для снижения пульсаций выходного напряжения, требуется реализовать фазовый сдвиг, равный T/n , где T – период коммутации силовых транзисторов, n – число фаз преобразователя. Из-за постоянного изменения периода коммутации, организовать такой сдвиг оказывается довольно непростой задачей.

Авторами предлагается следующая методика формирования токов дросселя: период коммутации остаётся постоянным, что облегчает формирование системы многофазных токов. Для преодоления же неминимальнофазовости системы предлагается контролировать достижение током дросселя определённого максимального значения.

Если до окончания времени открытого состояния ключа ток достигнет максимального значения, силовой ключ закрывается, если не достигнет, – остаётся открытым до окончания периода. Данный алгоритм коммутации позволяет создавать довольно длительные временные участки сброса энергии из дросселя в нагрузку. В результате, при синтезе замкнутой системы объект управления становится почти линейным.

Особенности свойств и характеристик асинхронного двигателя при прямом управлении электромагнитным моментом и потокосцеплением статора

Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет

При прямом управлении потокосцепление и электромагнитный момент управляются прямо и независимо с помощью выбора оптимального переключения силовых приборов автономного инвертора напряжения (АИН). Выбор делается так, чтобы ограничить погрешность при формировании потокосцепления и момента с помощью релейных регуляторов в пределах установленной ширины гистерезиса при соблюдении быстродействия, небольшой частоты переключений и малых потерь от высших гармоник. Требуемые векторы напряжения выбираются с помощью таблицы переключения силовых ключей АИН. Электромагнитный момент асинхронного двигателя (АД) формируется как векторное произведение вектора потокосцепления и вектора тока статора. Используется двухпозиционный регулятор потокосцепления и трехпозиционный регулятор момента. Потокосцепление статора получают интегрированием ЭДС-статора каждой фазы с последующим вычислением модуля вектора потокосцепления. При низких частотах появляются большие погрешности в интегрировании из-за изменения активного сопротивления обмотки статора, дрейфа нуля интегратора и шумов. Для устойчивой работы системы необходимо вычислять активное сопротивление статора с погрешностью не более 5%. Изменение температуры сопротивления учитывают с помощью тепловой модели АД. Для уменьшения дрейфа нуля интегратора и влияния шумов применяют фильтр низких частот. Для повышения точности вычисления потокосцепления используют наблюдатели – устройства, работающие с отрицательной обратной связью. Главным преимуществом системы прямого управления моментом является то, что в ней отсутствуют многие блоки, присутствующие в обычных системах векторного управления АД. Но такая система имеет и свои недостатки: колебания момента, акустические шумы и вибрации в установившемся режиме работы. Совершенствование системы прямого управления моментом идет в сочетании векторного управления для установившегося режима и релейного управления в переходных процессах. В дальнейшем было предложено выполнять регулирование момента и потокосцепления АД с помощью только линейных регуляторов.

К вопросу автоматизации процесса грохочения

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Грохочение представляет собой механический процесс разделения (классификация) сыпучих материалов по крупности кусков или частиц. Этот процесс оценивается с помощью следующих величин: качественно – эффективности грохочения, количественно – производительность грохотов, энергетически – затраты электроэнергии на классификацию материала. Особенности работы электропривода грохотов – постоянные вибрации, необходимость постоянного контроля натяжения сит, контроль гранулометрического состава. Высокая энергоемкость и недостаточная надежность электромеханических систем вибрационных грохотов снижает технико-экономические показатели их работы.

Электромеханическая система вибрационных грохотов имеет исполнительный орган, совершающий колебательные движения, что ведет к появлению динамических процессов, а следовательно, к превышению момента на валу электродвигателя по отношению к его номинальной величине до 30%. Это приводит к повышению электропотребления и снижению надежности электромеханической системы вибрационных грохотов. В связи с этим постоянно ведутся научно-исследовательские работы по обеспечению надежности работы электромеханической системы вибрационных грохотов за счет снижения динамических нагрузок на валу электродвигателя в зависимости от колебательного процесса исполнительных органов; осуществляются определения оптимальных параметров электромеханической системы в зависимости от величин процесса колебания исполнительного органа и характеристик его разгона (раскачки) для повышения уровня надежности электропривода и снижения затрат на потребление электрической энергии; выполняются определения зависимостей для расчета нагрева обмоток электродвигателя вибрационного грохота, учитывающие уровень колебаний нагрузки в электромеханической системе. В контексте рассматриваемых вопросов следует также отметить многочисленные исследования асинхронного электропривода резонансных вибрационных машин для расчета мощности и характера нагрузки на вибродвигатель в установившихся режимах; исследования поведения вибрационной системы в динамических режимах; зависимость частоты вращения асинхронного вибродвигателя при прямом пуске в резонансную зону от значения статического момента дебаланса; продолжительность процесса торможения в зависимости от величины статического момента дебаланса.

Расчет экономии электроэнергии и сроков окупаемости частотно-регулируемого электропривода мощных тягодутьевых машин

Шишмарев Д.И., Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для мощных *тягодутьевых машин* (ТДМ), к которым относятся вентиляторы и дымососы, используются в основном *высоковольтные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором* (АД). Простейшим и часто применяемым способом регулирования производительности ТДМ является *шиберное регулирование* (ШР). Однако ШР характеризуется значительным потреблением *электроэнергии* (ЭЭ). Более экономичным является *регулирование производительности плавным изменением оборотов* (РО) приводного вала ТДМ при полностью открытом шибере, для реализации которого требуется применение частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) с *высоковольтным преобразователем частоты* (ВПЧ).

Рассмотрим конкретный *пример* расчета экономии ЭЭ и срока окупаемости ЧРЭП дымососа с АД мощностью 500 кВт и ВПЧ марки ЭРАТОН-ВНВ (производит ЗАО «ЭРАСИБ») стоимостью 4960 тыс. руб. [1].

Исходные данные для расчета: годовая среднестатистическая производительность дымососа (в долях по отношению к номинальной производительности Q_n) $Q^*=0,7$; годовая продолжительность работы $T=7000$ час.; потребляемая ЭЭ при ШР в долях к номинальному потреблению $N_n=450$ кВт·час. (при $Q^*=1$) $N_{Ш}^*=0,63$ и при РО $N_o^*=0,37$; стоимость 1 кВт·час. ЭЭ равна 2 руб.

Тогда: 1. Затраты ЭЭ при ШР за год

$$N_{Ш} = N_n T N_{Ш}^* = 450 \cdot 7000 \cdot 0,63 = 1984,5 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

2. Затраты ЭЭ за год при РО (с помощью ЧРЭП)

$$N_o = N_n T N_o^* = 450 \cdot 7000 \cdot 0,37 = 565,5 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

3. Экономия ЭЭ за год $N_{э} = N_{Ш} - N_o = 1419 \cdot 10^3$ кВт·час. (в денежном выражении $2838 \cdot 10^3$ руб.), что составляет 27,8 % от $N_{Ш}$.

4. Окупаемость ВПЧ $T_{ок} = 4960 \cdot 10^3 / 2838 \cdot 10^3 = 1,75$ года.

При других значениях Q^* аналогичные расчеты по данной методике дают такие данные:

при $Q^*=0,8$ ($N_{Ш}^*=0,72$; $N_o^*=0,52$ [1]) $N_{э} = 27,8$ % и $T_{ок} = 3,9$ года;

при $Q^*=0,6$ ($N_{Ш}^*=0,56$; $N_o^*=0,24$ [1]) $N_{э} = 57,1$ % и $T_{ок} = 2,5$ года.

Литература:

1. Иванцов В.В. Цены и сроки окупаемости высоковольтных частотно-регулируемых тягодутьевых машин (дымососов и вентиляторов) //

УДК 621.34

Параметрическая неопределенность асинхронного двигателя в системе бездатчикового векторного управления

Однолько Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее чувствительными к дрейфу электромагнитных параметров являются системы бездатчикового векторного управления электродвигателем ЭП [1]. В данной системе с автономным инвертором напряжения асинхронного двигателя (АИН-АД) функционирует настраиваемая модель. Динамические свойства модели должны быть близки к динамическим свойствам АИН-АД, что достигается достоверным знанием электромагнитных параметров. Значительное отличие модели и объекта приводит к неустойчивости всей системы. Однако динамические свойства модели, даже в условиях адаптации, отличаются от динамических свойств объекта. Это обусловлено дискретным представлением модели, наличием АИН в объекте, неучтенными в модели физическими процессами двигателя. В связи с этим максимальный диапазон регулирования скорости таких систем 1:100.

Исследование влияния параметрических возмущений на качество функционирования ЭП, представляет важную задачу. Цель таких исследований заключается в том, чтобы установить степень повышения эффективности работы бездатчикового электродвигателя: точности оценивания угловой скорости ротора и стабильности динамических свойств системы, при использовании алгоритмов идентификации АД.

Чувствительность системы косвенного бездатчикового векторного управления к изменениям активным сопротивлений двигателя исследовалась при выполнении идентификации АД и без нее.

Результаты имитационного моделирования показали, что оценивание параметров позволяет сохранить динамические свойства системы бездатчикового векторного управления в заданном диапазоне регулирования угловой скорости. Кроме того, удается повысить точность оценивания угловой скорости ротора при изменениях активных сопротивлений АД в широких пределах, что достигается за счет настройки параметров наблюдающего устройства и регуляторов соответственно значениям электромагнитных параметров АД.

Литература:

1. Потапенко, Е.М. Робастные алгоритмы векторного

УДК 006 (075.8)

К измерению параметров несинусоидальных напряжений

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Переменные напряжения характеризуются в основном тремя параметрами: **амплитудой** U_m ; **среднеквадратическим значением (СКЗ)** $U_{ср.кв}$; **средневыпрямленным значением (СВЗ)** $U_{ср.в}$. Эти параметры взаимосвязаны между собой через коэффициент амплитуды $K_a = U_m / U_{ср.кв}$ и коэффициент формы $K_\phi = U_{ср.кв} / U_{ср.в}$.

Наиболее распространенными, сравнительно простыми и надежными приборами для измерения параметров переменных напряжений являются аналоговые электронные вольтметры, которые выпускаются промышленностью с детекторами разных видов: или **пиковые (амплитудные)**, или **СКЗ**, или **СВЗ**. Шкалы этих вольтметров градуируют также в значениях различных параметров напряжения. Поэтому при подключении к одному и тому же источнику переменного напряжения нескольких вольтметров различных типов их показания могут быть неодинаковыми, а **пользователь должен уметь правильно определить результат измерения по показанию того или иного вольтметра**.

Чаще всего шкалы электронных вольтметров с различными видами детекторов градуируют в СКЗ синусоидального напряжения. В данном случае для определения любого параметра несинусоидального напряжения, зная показание вольтметров U_n измеренного напряжения и его коэффициенты K_a и K_ϕ , удобно пользоваться следующей таблицей, умножая значение U_n на коэффициенты, стоящие на пересечении соответствующих строк и столбцов:

Параметр \ Детектор	U_m (U_m')	$U_{ср.кв}$ ($U_{ср.кв}'$)	$U_{ср.в}$ ($U_{ср.в}'$)
Пиковый	1,41	$1,41/K_a$	$1,41/(K_a K_\phi)$
СКЗ	K_a	1	$1/K_\phi$
СВЗ	$0,9K_a K_\phi$	$0,9 K_\phi$	0,9

Сравнение энергетических и технико-экономических показателей систем плавного пуска и торможения асинхронных электроприводов крановых механизмов передвижения

Васильев Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Приближенную суммарную оценку систем плавного пуска и торможения (УПП) электроприводов (ЭП) крановых механизмов передвижения на основе тиристорных (ТРН) и импульсных (ИРН) регуляторов напряжения по энергетическим и технико-экономическим показателям (коэффициентам мощности входных силовых цепей ТРН и ИРН; параметрам, косвенно характеризующим капитальные затраты и эксплуатационные расходы; функциональным возможностям применения рассматриваемых силовых схем УПП в ЭП крановых механизмов передвижения) можно осуществить по предложенному обобщающему критерию: $K_{ид} = b_1 K_M^* + b_2 N_{эл}^* + b_3 ВУПГН + b_4 КЧУ$, где b_1, b_2, b_3, b_4 – весовые коэффициенты (приняты равными единице в виду сложности их нахождения), величины которых характеризуют важность отдельного показателя в итоговой оценке рассматриваемых силовых схем УПП; K_M^* – относительный коэффициент мощности входной цепи силовой схемы УПП для определенных значений первой гармоники напряжения $U_{(1)}$ асинхронного двигателя (АД) (по отношению к максимальному K_M при каждом взятом значении $U_{(1)}$ среди всех исследованных схем УПП); $N_{эл}^*$ – отношение минимального среди всех рассматриваемых схем УПП количества полностью (VT) или полууправляемых (VS) силовых элементов к количеству полностью или полууправляемых силовых элементов в конкретной силовой схеме; ВУПГН – возможность управления АД в переходных процессах по определенному закону первой гармоники питающего напряжения; КЧУ – возможность реализации в УПП квазичастотного управления АД для обеспечения пониженной скорости и, тем самым, точной остановки кранового механизма передвижения.

На основании сравнения результатов расчета критерия $K_{ид}$ был сделан вывод, что наиболее близкую к идеальному показателю ($K_{ид}=4$) итоговую оценку по сравниваемым энергетическим и технико-экономическим показателям имеет система УПП на основе ИРН с силовой схемой на 3-х транзисторах в диагоналях однофазных диодных мостов с шунтирующим трехфазным диодным мостом и однонаправленным транзистором ($K_{ид}=3,85$) с возможностью управления АД по экспоненциальному закону первой гармоники напряжения и реализацией режима КЧУ для точной остановки механизма.

Система управления многоуровневым инвертором в составе частотного электропривода

Петренко Ю. Н.

Белорусский национальный технический университет

Расширяющееся применение электропривода на основе асинхронного электродвигателя с частотным регулированием ставит новые задачи по совершенствованию управления.

В этом смысле «классические» автономные инверторы напряжения (АИН) имеют определенные ограничения по энергетическим показателям и качеству формируемого напряжения. Формирование управляющего вектора напряжения производится с применением широтно-импульсной модуляции (ШИМ), которая позволяет получить вектор питающего напряжения в любом квадранте.

Новые, более высокие, качественные показатели могут быть достигнуты за счет применения многоуровневых инверторов (МАИН), имеющих определенное многообразие по структуре силовой части и системы управления. Например, одна фаза трехуровневого инвертора содержит шесть управляемых IGBT-ключей. Контроллер такого МАИН должен обеспечить управление ключами в реальном времени и строится на основе DCP и подсистемы полевой программируемой логической матрицы (ППЛМ), известной как FPGA (Field Programmable Gate Array).

При этом целесообразно разделение процессов на «медленные», выполняемые DSP, такие как арифметические вычисления, обработка входов (выходов, генерация синусоидальных сигналов), и более сложные арифметические функции, к которым относятся преобразование координат: фазовых abc , неподвижных $\alpha\beta$ и синхронных dq . Формирование ШИМ-сигналов управления в реальном времени требует более высокого быстродействия и возможно на основе взаимодействия между FPGA-функциями и DSP, что выполняется с помощью регистрового интерфейса. Для реализации ШИМ необходима генерация треугольных функций с периодом частоты модуляции и с ограничением максимального ее значения.

DSP периодически асинхронно обновляет ШИМ-регистры. Такая структура контроллера обеспечивает гибкость управления в смысле выбора стратегии модуляции функций управления и алгоритмов управления потоками мощности для МАИН.

Реализация системы возможна на основе DSP TM5320C31 и FPGA серии XCS40, характеристики которых удовлетворяют требованиям частотного электропривода.

Санкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

При численном моделировании ветрового воздействия на различные объекты часто приходится использовать зависимость скорости ветра от времени. Такая необходимость возникает, например, при исследовании работы ветроэнергетической установки в условиях воздействия переменного ветра. Очевидно, характер зависимости скорости ветра от времени существенно влияет на выбор способа управления скоростью вращения ветроколеса и определяет требования к системе управления ветроэнергетической установки.

В нормативных и рекомендательных документах принято представлять скорость ветра V в виде суммы двух составляющих $V = V_0 + dV(t)$, где V_0 – систематическая (медленно меняющаяся) составляющая, $dV(t)$ – динамическая (быстро меняющаяся) составляющая [1]. Нормативные документы содержат требования как к систематической составляющей скорости ветра V_0 , так и к ее динамической составляющей $dV(t)$, которая является случайным процессом.

Доклад посвящен расчету и моделированию именно динамической составляющей скорости ветра. Рассматривается случай, когда функция спектральной плотности $S(\omega)$ динамической составляющей скорости ветра $dV(t)$ не является дробно-рациональной. Для применения метода формирующего фильтра в работе используется представление $S(\omega)$ суммой дробно-рациональных функций $S_k(\omega)$. Для каждой функции $S_k(\omega)$ определяется свой формирующий фильтр $W_k(s)$. Тогда $dV(t)$ есть сумма выходов этих фильтров, на вход которых подаются статистически независимые сигналы $hk(t)$, моделирующие белый шум. Для моделей турбулентности Давенпорта, Каймала и Кармана получены аналитические выражения формирующих фильтров $W_k(s)$.

Таким образом для моделей турбулентности Давенпорта, Каймала и Кармана получены передаточные функции формирующих фильтров для получения зависимости динамической составляющей скорости ветра от времени. Составлены структурные схемы общего вида для реализации этих передаточных функций в среде в среде Matlab Simulink.

Литература:

1. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия: Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы – Харьков: ХАИ, 2003. – 400 с.

Расчет магнитной цепи синхронного двигателя с тангенциально намагниченными магнитами

Гульков Г.И., Нго Фьонг Ле, Руденя А.Л.
Белорусский национальный технический университет

Из условия непрерывности магнитного потока без учета рассеяния:

$$\Phi_{\delta} = \Phi_M, \quad B_{\delta} \cdot S_{\delta} = B_M \cdot S_M, \quad (1)$$

где: Φ_{δ} – магнитный поток магнита на пол полюса; B_{δ} , B_M – магнитная индукция в зазоре и на поверхности магнита, соответственно; S_{δ} , S_M – площадь зазора на половину полюса и площадь магнита, соответственно.

$$\text{Перепишем (1) в виде } \hat{A}_{\delta} \frac{\tau \cdot l_{\delta}}{2} = \hat{A}_i h_i l_{\delta}, \quad (2)$$

где: $\tau = \frac{\pi R_p}{p}$ – длина полюсного деления; l_p – активная длина ротора; h_M – ширина магнита; R_p – радиус ротора; p – число пар полюсов двигателя.

$$\text{Из (2) получим } \hat{A}_i = \frac{\hat{A}_{\delta} \pi R_p}{2 p h_i} \quad (3)$$

$$\text{Запишем закон полного тока для силовой линии } H_M \cdot l_M + 2 H_{\delta} l_{\delta} = 0, \quad (4)$$

где: H_M, H_{δ} – напряженность на поверхности магнита и в зазоре, соответственно; l_M, l_{δ} – толщина магнита и зазора, соответственно.

Уравнение кривой размагничивания для магнитов на основе Nd-Fe-B

$$B_M = B_r + \mu_o \mu_M H_M, \quad (5)$$

где: μ_o, μ_M – магнитная проницаемость воздуха и магнита, соответственно; B_r – остаточная индукция магнита.

На основании уравнений (3), (4) и (5) получим

$$\hat{A}_{\delta} = \frac{\hat{A}_r}{\frac{\pi R_{\delta}}{2 p h_i} + \frac{2 \mu_r l_{\delta}}{l_i}}. \quad (6)$$

Определим магнитный поток Φ_{δ} на половину полюса двигателя

$$\hat{O}_{\delta} = \hat{A}_{\delta} \cdot S_{\delta} = \hat{O}_r \cdot \frac{R_i}{R_i + 4 R_{\delta}}$$

где: R_M – магнитное сопротивление постоянного магнита;

R_{δ} – магнитное сопротивление воздушного зазора на один полюс двигателя.

**Универсальная программная среда для моделирования
гибких производственных систем**

Здор Г.Н., Новичихина Е.Р.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Робототехнические системы» БНТУ разработана универсальная программная среда ESMoD для моделирования гибких производственных систем (ГПС).

Проект решает следующую проблему. Каждая ГПС, является сложным и уникальным объектом. Для ее анализа требуется одновременно несколько моделей. Вид и состав моделей меняются в зависимости от объекта, задач и этапа анализа; приходится каждый раз заново переделывать программное обеспечение для интеграции моделей и организации их взаимодействия. Цель проекта: экономия времени, средств и квалифицированного труда при разработке программного обеспечения для многомодельного анализа ГПС.

Основная идея проекта заключается в том, чтобы применить принципы построения и функционирования экспертных систем (ЭС) к моделирующему программному обеспечению. Мы ориентировались на ЭС продукционного типа с представлением знаний в виде правил. Структура правила: *условия (антецеденты) => действия (консеквенты)*.

Считаем, что знания о ГПС заключены в моделях. Каждую модель будем рассматривать как одно «большое» правило. Совокупность моделей даст ЭС, заполненную знаниями о ГПС. Аналогом механизма логического вывода ЭС в нашем программном обеспечении выступает единый и неизменный алгоритм итерационного запуска моделей. После очередного запуска все модели обмениваются между собой вновь полученными фактами. Эти новые факты уточняют исходные данные моделей. Модели запускаются вновь. Так продолжается до тех пор, пока не будет получено значение целевого факта. В качестве такового мы используем сходимость результатов у всех моделей по одной из традиционных характеристик ГПС – коэффициенту использования оборудования по времени работы (K_u). Сходимость значений K_u с заданной точностью у всех моделей будет означать, что взаимное уточнение моделей завершено. При таком подходе программное обеспечение функционирует единообразно и автоматически вне зависимости от вида и состава используемых моделей. В результате мы избавляемся от пользовательского программирования при настройке на объект и требуемые модели, а управление итерационными запусками моделей для их взаимного уточнения осуществляется автоматически.

Использование средств MATLAB для моделирования траектории движения мобильного робота

Сиротин Ф.Л., Романов А.И.

Белорусский национальный технический университет

Управление мобильным роботом (МР) имеет две подзадачи: кинематическую и динамическую. В данном исследовании рассматривается кинематическая модель.

При построении кинематической модели будем полагать, что при движении отсутствует проскальзывание, а скорость вращения колес – различная и разница составляет 5%. Эта разница может обуславливаться несколькими факторами: неравномерный износ протектора, погрешность двигателей, погрешность инкрементных датчиков и др. Расположим вспомогательную, неподвижную систему координат $Y_m X_m$ так, чтобы её центр совпадал с центром масс МР, а направление оси X_m определяло направление поступательного движения робота. Угол φ определяет поворот системы координат $Y_m X_m$, а следовательно, и МР относительно YX . Положительным направлением вращения будем считать вращение против часовой стрелки.

Проекция скорости движения МР в системе XY :

$$\begin{cases} \dot{x}_c = \frac{r}{2} (\omega_1 + \omega_2) \cos(\varphi), \\ \dot{y}_c = \frac{r}{2} (\omega_1 + \omega_2) \sin(\varphi) \end{cases},$$

где r – радиус колес, ω_1, ω_2 – угловые скорости правого и левого колеса, φ – курсовой угол робота.

На протяжении всего движения МР, анализируется координата y_c . Она отражает отклонение между реальной и желанной траекториями. Исходя из требуемой точности обработки траектории, определяется пороговая величина. Если отклонение превысило пороговую величину, значит, для того, чтобы его уменьшить, необходимо, чтобы одно из колес вращалось быстрее, чем другое. Выбор колеса зависит от знака отклонения. Как только отклонение стало приемлемым, колеса вращаются с прежней скоростью.

Литература:

1. Лукьянов А.А. Математическое моделирование в проблеме обеспечения точности движения и позиционирования мобильных манипуляционных роботов: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.18, Иркутск, 2005. – 435 с. РГБ ОД, 71 : 06-5/426.

Использование в учебном процессе пакета PIMMS для моделирования производственных систем

Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р., Якимович А.М.
Белорусский национальный технический университет

Пакет PIMMS разработан на кафедре робототехнических систем БНТУ. Его назначение – прогнозирование с помощью компьютерного моделирования показателей функционирования механообрабатывающих участков и линий. К таким показателям относятся: выработка, производительность, освоенная номенклатура, срок или вероятность выполнения к сроку планового задания, длительность производственного цикла и доля продуктивной составляющей в нем, коэффициент использования оборудования, загрузка персонала, заполнение накопителей, очереди заказов, операционных и транспортных партий. Тип организационной структуры и уровень автоматизации систем – любые, кроме роторно-конвейерных, а именно: участки универсального оборудования с ручным управлением; участки отдельных единиц оборудования с ЧПУ; участки автономных автоматизированных ячеек (автоматов, РТК, ГПМ); ГПС типа автоматизированных участков; ГПС типа автоматизированных линий; переналаживаемые автоматические линии; автоматические линии с фиксированными рабочими позициями (классические). Пакет содержит ряд взаимодействующих моделей, отражающих различные аспекты производственной системы: номенклатуру обрабатываемых деталей; технологические процессы; плановое задание; структуру системы; организацию работы; алгоритмы функционирования и управления; обслуживающий персонал.

Для учебного процесса пакет PIMMS привлекателен своей дружелюбностью. Он функционирует по принципу «без программирования, без знания методов моделирования». От пользователя требуются знания только в предметной области технологии машиностроения и организации производства. Как раз таким пользователем и является студент. У него пока нет опыта практического моделирования и проектирования производственных систем, но учиться этому надо, причем в условиях ограниченности отведенного учебным планом времени.

Пакет используется в дисциплинах «Технология и оборудование роботизированного производства» и «Проектирование ГПС». В докладе рассмотрены методические аспекты применения пакета, вопросы преемственности полученных навыков в смежных дисциплинах и дипломном проектировании.

Применение многоэлементных сенсоров в системах металлообнаружения

Могучий И.П.¹, Лившиц Ю.Е.²

¹ Военная академия Республики Беларусь,

² Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день все стационарные системы металлообнаружения предусматривают работу оператора. Если стационарный металлообнаружитель не предоставляет информацию о том, в какой именно точке зафиксировано присутствие металлосодержащего предмета, сотрудник службы охраны вынужден произвести локализацию обнаруженного предмета с помощью ручного металлодетектора. Это значительно снижает производительность системы.

Селективность стационарного металлообнаружителя существенно зависит от однородности сканирующего магнитного поля в зоне контроля. Для повышения качества контроля, необходимо создание измерительно-информационной системы нового типа, в которой в качестве приемной панели будет использоваться многоэлементное сенсорное устройство (матрица), состоящая из множества активных чувствительных элементов. Картину распределения неоднородностей магнитного поля в зоне контроля металлодетектора, вызванных присутствием металлосодержащих объектов поиска, можно представить функцией двух переменных, например, в виде зависимости интенсивности магнитного поля от координат плоской поверхности многоэлементного сенсора. При цифровой обработке непрерывных магнитных полей должна происходить их дискретизация по координатам и по амплитуде.

Разрабатываемые алгоритмы управления сканирующим магнитным полем и алгоритмы построения изображений результирующих магнитных полей позволят предоставить оператору стационарной системы металлообнаружения визуальную информацию о точном месте положения и размерах металлосодержащего предмета, обнаруженного у досматриваемого человека. На начальном этапе исследований стоит задача поиска дизайнера многоэлементной сенсорной панели стационарного металлообнаружителя, в том числе, определения расстояний между отдельными активными чувствительными элементами. Максимальная разрешающая способность системы металлообнаружения в целом во многом будет зависеть от точности определения оптимальной частоты дискретизации многоэлементной сенсорной панели.

Жидиков Г. А., Лобовкин М.И.

Белорусский национальный технический университет

В современном мире все большую роль играют технологии, обеспечивающие эффективную обработку больших массивов данных. Эти технологии позволяют организовать распределенное хранение и параллельную обработку больших объемов данных в крупномасштабных кластерных системах. Реализация этой процедуры сопряжена с решением таких задач, как разбиение и распределение данных между процессорами, балансировка нагрузки, обработка отказов, сбор и агрегация промежуточных результатов.

Большие данные (Big Data) — это наборы данных такого объема, что традиционные инструменты не способны осуществлять их захват, управление и обработку за приемлемое для практики время. Например: непрерывно поступающие данные с измерительных устройств, потоки сообщений из социальных сетей, метеорологические данные и др.

Примерами технологий обработки больших массивов информации могут послужить NoSQL, MapReduce, Hadoop. MapReduce – модель вычислений для пакетной обработки больших объемов данных, разработанная и используемая компанией Google для широкого круга приложений. Пользователю достаточно описать процедуру обработки данных в виде двух функций – map и reduce, после чего система автоматически распределяет вычисления по кластеру, обрабатывает отказы машин, балансирует нагрузку и координирует взаимодействия между машинами.

Для хранения данных на кластерной системе в Google применяется распределенная файловая система Google File System (GFS). Google насчитывает сотни тысяч серверов, размещенных в нескольких центрах обработки данных по всему миру. Таким образом достигается высокая масштабируемость. Запуском MapReduce-заданий на кластере управляет планировщик, который подбирает группу машин для выполнения задания. Вызовы функции map распределяются между несколькими машинами путем автоматического разбиения входных данных, хранящихся в GFS, на M частей. Полученные порции данных могут обрабатываться параллельно различными машинами. Вызовы reduce распределяются путем разбиения пространства на R частей. Каждый из reduce-процессов загружает со всех map-процессов порции обработанных данных, производит сортировку и объединение этих данных, после чего выполняет функцию reduce. Результаты вычислений записываются в виде файлов в GFS.

Безбюджетное управление в банках

Шардыко П.П., Трусевич Е.Л.

Белорусский национальный технический университет

Традиционная система бюджетирования в банках в последнее время все больше и больше доказывает свою неэффективность. Одной из инновационных концепций управления является ‘Beyond Budgeting’ – безбюджетное управление. Основная идея концепции – полный отказ от бюджетирования, т.е. отсутствие бюджетов.

Концепция безбюджетного управления функционирует на основе следующих двух групп принципов:

- принципы управления с помощью адаптивного процесса;
- принципы, основанные на передаче полномочий.

Существует 5 этапов развития модели безбюджетного управления:

1. Финансовая цель – иметь более высокую рентабельность по сравнению со средней рентабельностью конкурентов. Управляющим филиалами банковской группы предоставляется значительная свобода действий, они получают доступ к финансовым ресурсам по мере возникновения потребностей;

2. Система поощрения и оценки персонала. Использование двух подходов к оценке: оценка относительного успеха команды и оценка относительного успеха банка в целом;

3. Система оценки эффективности деятельности филиалов банка;

4. Предоставление личных полномочий и возможностей осуществления быстрых и решительных действий хорошо обученному и высококвалифицированному персоналу;

5. Изменение механизма контроля – контроль становится более эффективным. Механизмы контроля функционируют в режиме on-line.

К преимуществам модели «Beyond Budgeting» можно отнести:

- быстрая реакция на внутренние и внешние изменения;
- чувствительность к инновациям;
- низкие затраты;
- лояльность к клиентам.

Внедрение концепции безбюджетного управления позволит оптимизировать расходы, эффективно управлять финансовыми ресурсами и оперативно реагировать на изменения, происходящие на банковском рынке. Концепция ‘Beyond Budgeting’ уже нашла достаточно обширную практическую реализацию, доказывает ожидаемую эффективность и по мнению специалистов имеет отличные перспективы.

Сравнительный анализ поисковых систем

Вандич В.Л., Матрунчик Ю.Н., Дрозд А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время интернет переполнен информацией. Очень часто для того, чтобы найти нужную информацию приходится потратить достаточно много времени. Поиск информации в сети осуществляется с помощью поисковых систем разных видов.

Поисковая система – программно-аппаратный комплекс с веб-интерфейсом, предоставляющий возможность поиска информации в Интернете. Популярны всеязычные поисковые системы: Google (70,91%), Baidu (16,51%), Yahoo! (5,95%).

Большинство «русскоязычных» поисковых систем индексируют и ищут тексты на многих языках. Отличаются же они от «всеязычных» систем, индексирующих все документы подряд, тем, что в основном индексируют ресурсы, расположенные в доменных зонах, где доминирует русский язык или другими способами ограничивают своих роботов русскоязычными сайтами. К ним относят: Яндекс (61,3 %), Mail.ru (8,5%), Рамблер (1,9%).

Почти каждая поисковая система состоит из трех основных компонентов: веб-паук, индексатор, алгоритм поиска и оценки результатов.

Веб-паук – это специальная программа, основная задача которой – переходить по гиперссылкам «паутины» сайтов и скачивать полученные таким образом странички для второй компоненты – индексной базы.

Индексатор – это обработчик скачанных веб-пауком страниц. Он извлекает оттуда все слова и складывает их в поисковую базу (индексную базу). При этом индексатор записывает, где именно было найдено то или иное слово, и эта информация потом используется в поиске.

Алгоритм поиска – это главное умение любой поисковой системы. От алгоритма зависит эффективность полученного результата – то есть насколько быстро и точно пользователь найдет то, что его интересует. Таким образом, когда пользователь вводит свой запрос, поисковая система ищет ответ в своей индексной базе и выводит результаты в соответствии со своим алгоритмом поиска.

Для хорошей работы поисковой системы важны все три компоненты. Причем каждая из них на самом деле весьма сложна, и ее работа подчиняется огромному количеству всевозможных правил, которые к тому же постоянно корректируются. Это способствует высокой релевантности – степени соответствия документа запросу.

Методики анализа больших данных (BigData)

Гутич И.И., Жаворонков О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Интерес к автоматизированным системам сбора, обработки, управления и анализа больших объемов данных проявляют все ведущие ИТ-компании в мире. Автоматизация обработки больших данных открывает перспективные возможности для освоения новых рынков для бизнеса и привлечения заказчиков. Ведущими игроками на мировом рынке в этой области являются: Amazon, Dell, eBay, EMC, Facebook, Fujitsu, Google, HitachiDataSystemsCorporation, HP, IBM, LinkedIn, Microsoft, NetApp, Oracle, SAP, SAS, SGI (SiliconGraphicsInc), Teradata, VMware, Yahoo.

Существует множество разнообразных методик анализа больших массивов данных:

- A/Btesting – методика, в которой контрольная выборка поочередно сравнивается с другими, выявляя оптимальную комбинацию показателей для достижения наилучшей ответной реакции потребителей;

- Associationrulelearning – набор методик для выявления взаимосвязей, ассоциативных правил, между переменными величинами в больших массивах данных;

- Classification – набор методик, предсказывающий поведение потребителей в определенном сегменте рынка;

- Crowdsourcing – методика сбора данных из большого количества источников;

- Datafusionanddataintegration – набор методик, позволяющий анализировать комментарии пользователей социальных сетей и сопоставлять с результатами продаж в режиме реального времени;

- Machinelearning – создание алгоритмов самообучения на основе анализа эмпирических данных;

- Optimization – набор численных методов для улучшения одного или нескольких показателей в сложных системах;

- Simulation – моделирование поведения сложных систем;

- Visualization – методы графического представления результатов анализа больших данных.

Умение оперировать большими объемами информации, анализировать взаимосвязи между ними и принимать взвешенные решения, придает потенциал компаниям из различных вертикалей для увеличения показателей доходности и прибыльности, повышения эффективности бизнеса.

Автоматизированные CRM-системы

Гутич И.И., Лицкевич О.В.

Белорусский национальный технический университет

В современном мире существует множество способов, направленных на повышение эффективности деятельности компаний, грамотное управление. Одним из инструментов, способных повысить эффективность бизнеса, являются специализированные CRM-системы (Customer Relationship Management), представляющие собой программное обеспечение, которое автоматизирует бизнес-процессы компании, обеспечивает взаимодействие всех ее подразделений с клиентами, включает в себя клиентскую базу, а также ряд методик, позволяющих систематизировать данные и регламентировать порядок работы с ними.

Такая система позволяет компании не только отслеживать историю развития взаимоотношений с заказчиками, координировать многосторонние связи с постоянными клиентами, строить отчеты и графики, позволяющие получить сводные данные по клиентам, динамике роста клиентской базы и аналитику в различных срезах, централизованно управлять продажами, потенциальными сделками, контролировать продажи, сроки оплаты, показатели работы менеджеров, маркетингом и послепродажным обслуживанием, консолидировать всю информацию о каждом клиенте путём обмена данными между различными информационными системами, но и подстраиваться под конкретные задачи для достижения максимального результата.

В настоящее время CRM-системы применяются в любых сферах бизнеса, где клиент персонифицирован, где высока конкуренция и успех зависит от предоставления наиболее выгодных для клиента условий. Поэтому, максимального эффекта от внедрения CRM-систем добиваются компании, работающие в области услуг, производства, оптовой и розничной торговли, страхования и финансов, телекоммуникации, транспорта и строительства.

Несмотря на то, что некоторые системы являются закрытыми и имеют бесплатные версии с ограниченной функциональностью для привлечения внимания к ним (FlyDoc, QuickSales 2, EasyClients), существует целый ряд систем, которые на сегодняшний день являются открытыми и позволяют использовать их без каких-либо ограничений в рамках лицензий на свободное программное обеспечение (SugarCRM, Vtiger, Tutos, CentricCRM, OpenCRX, Compiere). Таким образом, данная технология оказывается фактически доступной широкому кругу пользователей.

Лабораторный стенд для изучения систем технического зрения

Лившиц Ю.Е., Швед А.А.

Белорусский национальный технический университет

Система технического зрения (СТЗ) – это технология контроля качества продукции на производстве. Такая система основана на использовании интеллектуальных камер под управлением специального программного обеспечения. Устройства такого класса автоматически воспринимают и обрабатывают изображение бесконтактным способом. С помощью данного оборудования стало возможным контролировать производимую продукцию и отбирать брак сразу на конвейере. Автоматизация производства – это общемировая тенденция всех видов промышленности.

СТЗ для своей работы требует тщательной настройки параметров для решения конкретных задач. Обычно эта система работает в составе системы управления (СУ), которая на современном этапе развития часто оснащается SCADA-системой, позволяющей интегрировано решать задачи управления.

Для обучения студентов настройке СТЗ, являющейся частью СУ, разработан данный лабораторный стенд. Структурная схема стенда представлена на рис. 1.

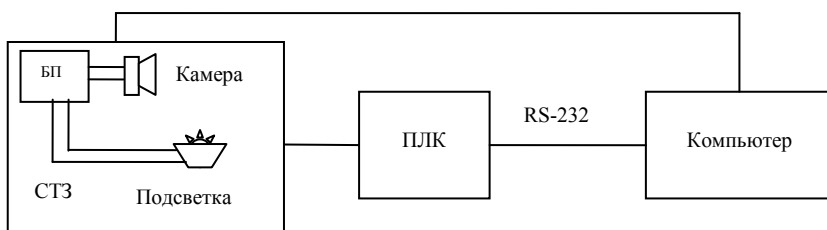


Рисунок 1 – Структурная схема лабораторного стенда

СТЗ (Data Vision VS2) подключается к программируемому логическому контроллеру (ПЛК) через дискретные выходы. Настройка СТЗ осуществляется через компьютер, а по завершении настройки эту связь можно разорвать. Визуализация процесса контроля осуществляется на компьютере при помощи программного пакета CitectSCADA v7.3.

Характеристика информационных ресурсов ОАО «БелАЗ»

Соболь В.А., Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

Повышение конкурентоспособности продукции является важнейшей задачей современного предприятия. Для этого необходимо вести разработку новых изделий, ускорять подготовку производства, добиваться повышения качества продукции, снижать себестоимость и повышать рентабельность. Для полноценной автоматизации каких-либо задач или процессов управления необходимы подготовленные кадры, соответствующее программное обеспечение; компьютеры, подключенные к информационной сети предприятия. Кроме того, необходимы изменения в технологии управления подразделениями и предприятием.

ОАО «БелАЗ» имеет развитую систему информационных ресурсов. Все предприятие охвачено сетью. В качестве магистралей используются оптоволоконные сети. В качестве основного провода используется витая пара. Основная масса пользователей имеют доступ к этой сети, а так же свои учетные записи, наделенные определенными правами доступа. Так же в каждом подразделении имеется доступ к сети Интернет. Каждый пользователь имеет свой уникальный e-mail адрес, но только 10% от всего количества пользователей могут отправлять информацию по внешней почте. Организация трудовых процессов предусматривает использование современных средств вычислительной, копировально-множительной и другой техники, а также отвечающих современным требованиям пакетов прикладных программ, написанными как самими работниками отдела информационных систем завода, так и приобретенных фирм, лидирующих в этой области.

Деятельность по созданию, эксплуатации и развитию автоматизированной информационной системы (АИС) включает: планирование, проектирование и разработку; изготовление (закупку) программного обеспечения; обеспечение техническими средствами (закупка ПЭВМ, создание ЛВС и т.д.); пуско-наладочные работы; обучение пользователей; ввод АИС в эксплуатацию; контроль использования; обслуживание и ремонт; развитие (совершенствование) АИС; отчетность. В настоящий момент выделены следующие направления развития корпоративной информационной системы ОАО «БелАЗ»: PDS (CAD, CAM, CAE, PLM/PDM) – конструкторско-технологическая подготовка производства; интегрированная автоматизированная система электронного управления ресурсами предприятия; WEB-ресурсы; интеграция между системами; материально-техническая база.

Современные технологии в сфере бизнеса

Дербан А.Н., Лицкевич О.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из инструментов, способных на сегодняшний день повысить эффективность бизнеса, является ERP-система, которая позволяет осуществить всесторонний контроль над производственными процессами, найти новые возможности повышения конкурентоспособности и качества продукции, соответствовать требованиям рынка, проводить эффективное планирование производства, а также заменить большинство отдельных и не связанных информационных приложений интегрированной средой.

Изначально ERP-системы разрабатывались для нужд единичных компаний, отвечали определенным требованиям бизнеса и решали в первую очередь управленческие задачи. Позднее стали появляться новые системы планирования, которые были ориентированы на возможности современных компьютерных технологий.

Позднее стали появляться новые системы планирования, которые были ориентированы на возможности современных компьютерных технологий.

Сегодня в мире используется более 500 интегрированных систем управления предприятиями (ИСУП), реализующих самые современные концепции ERP. В Беларуси пока нашли свое применение только 15 из них, однако, их внедрение продолжается.

Кроме того, современные ERP-системы дают возможность автоматизировать процесс принятия заказов, их обработку и изготовление, координируют работу всех отделов компании в интегрированной компьютерной системе, касаются ключевых аспектов управленческой деятельности компании, предоставляют топ-менеджменту информацию для принятия решений, а также формируют инфраструктуру обмена информацией между компанией, поставщиками и потребителями.

Большинство ERP-систем не привязано к какой-то конкретной отрасли народного хозяйства и могут успешно применяться в легкой и тяжелой промышленности, строительстве и транспорте. Но при этом необходимо постоянно учитывать, что время внедрения ИСУП на производстве в каждом конкретном случае может существенно зависеть от профиля компании.

Система должна быть пригодна для применения в организациях разного масштаба и типа производства, с разными планами счетов и так далее. Часть бизнеса, которая не укладывается в рамки настроек, либо изменяется, либо автоматизируется при помощи других программных решений, либо оставляется в покое и не автоматизируется.

Автоматизированная система управления зданиями

Акбари М.М. Аббас

Белорусский национальный технический университет

В автоматизированной системе управления зданиями (АСУЗ) входят системы тепло- и водоснабжения, вентиляции, кондиционирования, системы охраны и доступа, системы пожарной сигнализации и пожаротушения.

Современное строительство жилых и промышленных объектов направленно на комплексное решение задач автоматизации управления инженерными системами зданий. Ведущими производителями АСУЗ являются такие компании как Siemens, Sinfor, Honeywell, Tridium.

На белорусском рынке подобных систем превалирует продукция компании Siemens, которая по техническим характеристикам и стоимости оборудования систем управления выигрывает конкуренцию у других производителей. Системами этой фирмы оборудованы такие крупные современные объекты как Национальная библиотека, гостиницы Renaissance, Президент-отель.

Стоимость АСУЗ для спортивных и жилых комплексов составляет примерно один процент от затрат на возведение объектов. Применение АСУЗ позволяет экономить 15÷20% энергетических ресурсов, а также экономить на обслуживании систем. При этом срок окупаемости затрат на создание современных АСУЗ составляет около четырёх лет. Кроме того, применение таких систем управления позволяет значительно увеличить срок службы оборудования, поскольку в них используются современные системы диспетчеризации с контролем всех технологических параметров и управляющей аппаратурой, располагаемой в одном месте. Для контроля и управления применяются современные Scada-системы. При этом срок окупаемости затрат на создание современных АСУЗ составляет около четырёх лет. Кроме того, применение таких систем управления позволяет значительно увеличить срок службы оборудования, поскольку в них используются современные системы диспетчеризации с контролем всех технологических параметров и управляющей аппаратурой, располагаемой в одном месте. Для контроля и управления применяются современные Scada-системы.

Созданию АСУЗ, несмотря на относительно высокую их стоимость, уделяется всё больше внимания, поскольку они позволяют экономить не только энергетические ресурсы, улучшить экологию, но и повысить качество жизни, что немаловажно для большинства городов.

**Сравнительные исследования методов оптимизации
пропорционально-интегральных и
пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов для
объектов без самовыравнивания**

Кулаков Г.Т.¹, Кулаков А.Т.¹, Кухоренко А.Н.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Динамику объектов регулирования без самовыравнивания описывают передаточными функциями идеального и реального интегрирующего звеньев, кроме того, в их функции может быть добавлено звено запаздывания [1]. Моделирование переходных процессов системы автоматического регулирования (САР) без самовыравнивания при основных возмущениях с использованием пропорционально-интегральных (ПИ-) и пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (ПИД-регуляторов), настроенных по методам лучших зарубежных аналогов [2] показало следующие результаты:

- скачек задания у обоих регуляторов при различных методах настройки обрабатывался с величиной перерегулирования от 4 до 48 %;
- внутреннее и крайнее внешнее возмущения обрабатывались без статических ошибок регулирования. При этом максимальная динамическая ошибка регулирования находилась в пределах от 38 до 150%.
- величина регулирующего воздействия при обработке внешнего возмущения расходом пара у ПИД-регулятора была больше, чем у ПИ-регулятора и находилась в пределах от +1,2 до -1,4.

В связи с этим актуальной остается задача разработки оптимальной методики расчета параметров динамической настройки ПИД-регуляторов для объектов регулирования без самовыравнивания.

Предложен метод оптимизации ПИД-регуляторов для объектов без самовыравнивания на основе передаточной функции оптимального регулятора (реального ПИД-регулятора) с одним параметром оптимальной динамической настройки T_{zd} .

Исследования с использованием пакета Simulink программного обеспечения MATLAB показали, что именно такой метод при выборе соответствующего значения T_{zd} может быть рекомендован к использованию на практике.

Литература:

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 192 с.

2. O'Dwyer, Aidan. Handbook of PI and PID controller tuning rules, 3rd ed. – Imperial College Press. 2009. – 608 p.

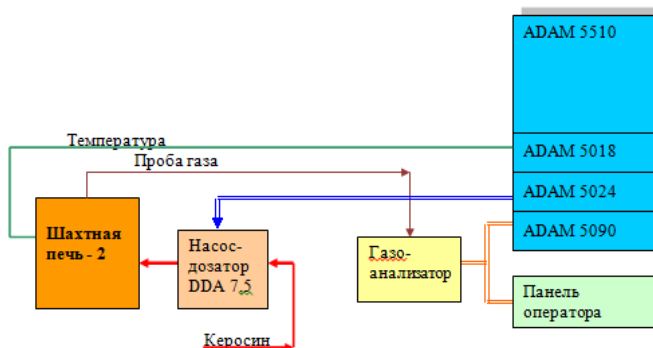
УДК 621.83.06

Автоматизация цементации с использованием жидкого карбюризатора

Околов А.Р., Карпеченко И. Л., Ревковский С. С.
Белорусский национальный технический университет

Автоматизированная цементация с использованием жидкого карбюризатора является сложным и многоступенчатым процессом. В данной работе цементация с использованием жидкого карбюризатора рассматривается как ступенчатая модель. В качестве карбюризатора в нашем случае используется керосин.

Предлагается система автоматизации процесса на базе модели насыщения деталей углеродом, которая представлена на рисунке.



Система управления может работать в двух режимах:

1. Ручной режим. Здесь управление насос-дозатором отсутствует, расход керосина задается вручную;
2. Режим управления. При температуре в печи менее 870 °С керосин не подается в печь, а при достижении 920 °С происходит автоматическая подача жидкого карбюризатора. Далее с газоанализатора через модуль интерфейсов ADAM-5090 получаем информацию о содержании газовых компонентов CO и CO₂ и одновременно определяем температуру газа в печи. По полученным результатам рассчитывается текущее значение углеродного потенциала печной атмосферы. Исходя из полученных результатов, через модуль ADAM-5024 подается команда на регулирование подачи керосина в печь. Полученные данные каждого из режимов отображаются на операторской панели в реальном времени.

Выбор рациональных параметров скипового подъемника на основе конечно-элементного моделирования

Евланова Е.А., Соловьев А.Н., Скалиух А.С.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается построение геометрии и анализ напряженно-деформированного состояния конструкции скипового подъемника и выбор его оптимальных параметров. Слип — подъемный, саморазгружающийся короб, служащий для подъема сыпучих и мелкокусковых грузов, движущийся с помощью канатов по направляющим приспособлениям скипового подъемника (рисунок 1, слева).

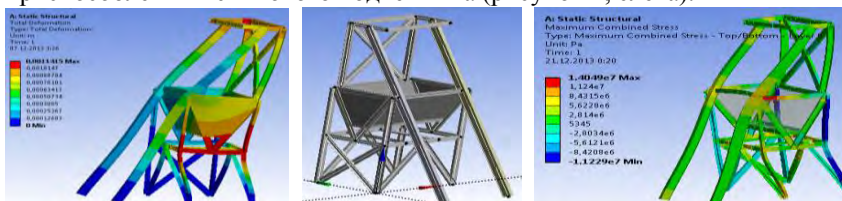


Рисунок 1. Модель конструкции скипового подъемника (слева), суммарные перемещения (в центре) и напряжения по Мизесу (справа)

На рисунке 1 (в центре) отображено деформированное состояние каркаса и напряжения по Мизесу (справа) при приложении тестовой нагрузки. В дальнейшем были выполнены оптимизационные вычисления.

В качестве варьируемых параметров для оптимизационной модели, принимаем высоту стенки и ширину полки швеллера. Критериями оптимальности являются максимальное суммарное перемещение и объем материала, которые должны быть минимальными. В качестве функциональных ограничений выступает максимальное эквивалентное напряжение, которое не должно превышать предела текучести. Результаты оптимизации представлены в приведенной ниже таблице 1.

Таблица 1. Результаты оптимизации

Критерий оптимальности	Значение (базовая модель)	Значение (полученное решение)	Сравнение
Максимальное напряжение	8,61 МПа	9,1 МПа	Ухудшение на 5,4%
Максимальное перемещение по оси X	$1.8 \cdot 10^{-2}$	$1.78 \cdot 10^{-2}$	Улучшение на 1,1%
Объем конструкции	$2,44 \text{ м}^3$	$2,26 \text{ м}^3$	Улучшение на 7,4%

Оптимизационная модель каркаса навеса спортивного сооружения

Тушинская Т.В., Боровок О.А., Ермилов В.В., Напрасникова Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Каркасы конструкции навеса изготавливаются из стержней с подбираемой толщиной стенки после тщательных расчетов при действии эксплуатационных нагрузок. В данной работе рассматривается модель каркаса навеса спортивного сооружения. Исходными данными являются сведения о геометрии конструкции – толщины стенок стержней, размеры конструкции каркаса навеса, а также материал изготовления.

При выполнении моделирования использовалась академическая лицензионная версия программного комплекса ANSYS WORKBENCH, любезно предоставленная разработчиками, на основе которой выполняется оптимизация конструкции. В результате исследований выполнено построение геометрической модели. Приложены значения снеговых нагрузок на верхнюю поверхность, после чего конструкция примет вид, представленный на рисунке 1, также были учтены возможные значения сейсмического воздействия, при которых рассчитаны прочность и устойчивость конструкции в период эксплуатации. Проведена оптимизация (рисунок 1) каркаса остановки.



Параметры		Исходное решение	Оптимальное решение
Оптимизируемые	Внутренний радиус стержня трубы (м)	0.17	0.17032
	Внешний радиус стержня трубы (м)	0.2	0.19514
Критерии	Total Dedormation Maximum(m)	0.000994	0.001
	Axial Force Maximum(N)	3443	3443
	Solid Mass(kg)	3172.6	2771.8

Рисунок 1. Геометрическая модель каркаса навеса под нагрузкой (слева) и результаты оптимизации (справа)

Оценивая результаты оптимизации, можно сделать вывод, что удалось добиться снижения массы конструкции в среднем на 12%, по отношению к первоначальной равной 3172,6 кг, что приводит к уменьшению затрат на производство данной конструкции, но при этом напряжения в материале конструкции находится в допустимых пределах.

Об одной модели компрессорно-конденсаторного агрегата

Наprasников В.В., Красновская С.В.

Белорусский национальный технический университет

Современная гражданская и военная техника во многих случаях оснащена большим количеством радиоэлектронной аппаратуры и требует использование систем охлаждения, обеспечивающих защиту оборудования от перегрева. К данным средствам охлаждения относятся компрессорно-конденсаторные агрегаты (ККА) (рисунок 1).



Рисунок 1 - Пример полной трехмерной твердотельной модели компрессорно-конденсаторного агрегата

Одним из требований технических условий для конструкций компрессорно-конденсаторных агрегатов является отсутствие резонансов в заданном частотном диапазоне.

Для рационального построения конечно-элементной модели на основе созданной геометрической модели определялись элементы конструкции, не влияющие существенно на распределение частот собственных колебаний ККА. Спектр собственных частот для различных вариантов моделей ККА представлен в таблице.

Вариант	Время расчета, с	Собственные частоты для мод колебаний, Гц					
		1	2	3	4	5	6
1	644	57,54	68,186	104,08	163,22	222,92	230,21
2	515	59,212	71,399	72,2	84,601	104,36	115,88
3	233	45,788	46,294	56,297	80,242	80,732	104,44
4	497	97,589	107,85	122,43	152,28	157,6	251,86

УДК 621.391.25

Пример конечно-элементного моделирования погрузочного оборудования дорожной машины

Боровик А. А., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

Выбор правильных инструментов является ключом к достижению коммерческой выгоды от использования цифрового моделирования. При этом выборе необходимо принимать во внимание технологию, масштабируемость, возможности интеграции и управления данными.

Цифровое моделирование с помощью Unigraphics NX и Ansys Workbench позволяет осуществлять точное моделирование и анализ эксплуатационных характеристик продукта, одновременно сокращая количество физических прототипов.

Рассмотрен способ применения конечно-элементного моделирования как основного этапа проектирования.

Реализовано применение возможностей среды Ansys Workbench на примере моделирования спектра расчетных случаев для телескопической стрелы погрузчика АМКОДОР 540-105.

Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления, условия эксплуатации.

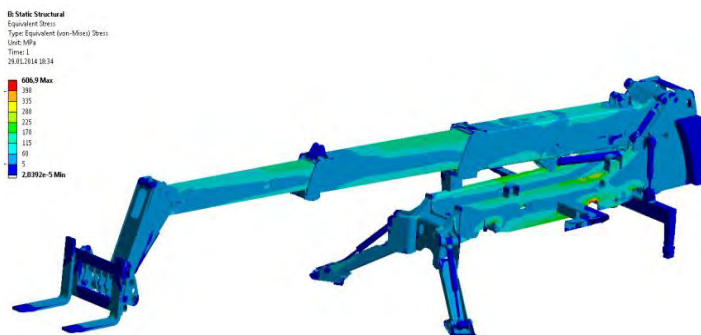


Рисунок 1. Напряжения по Мизесу

Выполнен расчет конструкции на базе разработанной конечно-элементной модели.

На основании выполненного моделирования были внесены изменения в конструкцию с целью улучшения таких ее характеристик как надежность, устойчивость и, как следствие, увеличение срока эксплуатации.

Особенности построения конечно-элементной модели навесного устройства грейдера

Дикушин В.В., Каземпур Камран Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается построение геометрии и анализ напряженно-деформированного состояния конструкции грейдера и выбор его оптимальных параметров.

Грейдер — машина для планировки и профилирования площадей и откосов, разравнивания и перемещения грунта, снега или сыпучих строительных материалов.

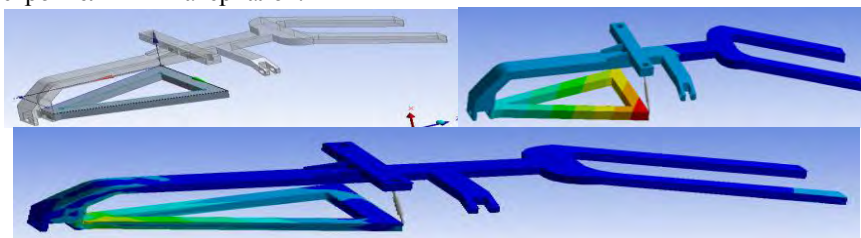


Рисунок 1. Модель конструкции грейдера (слева сверху), суммарные перемещения (справа сверху) и напряжения по Мизесу (внизу)

На рисунке 1 (в центре) изображено деформированное состояние каркаса и напряжения по Мизесу (снизу) при приложении тестовой нагрузки. В дальнейшем были выполнены оптимизационные вычисления.

В качестве варьируемых параметров для оптимизационной модели, принимаем ширину каркаса и толщину стенки корпуса. Критериями оптимальности являются максимальное суммарное перемещение и масса, которые должны быть минимальными. В качестве функциональных ограничений выступает максимальное эквивалентное напряжение, которое не должно превышать предела текучести. Результаты оптимизации представлены в приведенной ниже таблице.

Критерий оптимальности	Значение (базовая модель)	Значение (полученное решение)	Сравнение
Максимальное напряжение	6,9Мпа	5,1Мпа	Улучшение на 26%
Максимальное суммарное перемещение	$1.1 \cdot 10^{-2}$ м	$0.9 \cdot 10^{-2}$ м	Улучшение на 19%
Масса конструкции	559кг	498кг	Улучшение на 11%

Анализ защитных свойств каркаса гоночного автомобиля

Беленик К.И., Боровок О.А., Кочерова В.А.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе была построена модель защитного каркаса гоночного автомобиля (рисунок 1) и произведен анализ его защитных свойств.

Каркас – это основная силовая часть автомобиля, предназначенная для увеличения безопасности пассажиров и водителя, находящихся в салоне.

Для построения модели заранее высчитываются координаты точек, по которым будет построен каркас. Затем точки соединяются линиями и сплайнами, для которых задается трубчатое сечение. Для получения численного решения необходимо выполнить разбиение геометрической модели конечно-элементной сеткой и приложить силу, имитирующую удар.

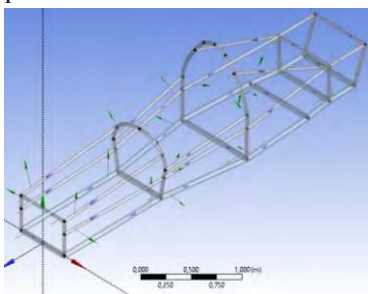


Рисунок 1: Модель каркаса

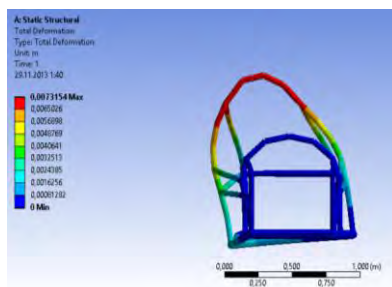


Рисунок 2: Напряженно-деформированное состояние каркаса

На рисунке 2 отображено деформированное состояние каркаса при приложении тестовой нагрузки. В дальнейшем был произведен анализ устойчивости. Расчеты показали, что коэффициент запаса устойчивости равен 82,681, что позволяет в дальнейшем выполнить оптимизационные вычисления.

Варьируемыми параметрами, в качестве исходных данных для оптимизации модели, принимаем внутренние радиусы труб. Критериями оптимальности являются максимальное суммарное перемещение и масса, которые должны быть минимальными. В качестве функциональных ограничений выступает максимальное эквивалентное напряжение, которое не должно превышать предела прочности материала каркаса.

В результате оптимизации удалось уменьшить массу конструкции на 19%, а максимальные перемещения на 2%.

Модель конструкции винтового конвейера

Крипулевич И. С., Напрасникова Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе была построена геометрическая модель винтового конвейера (рисунок 1) и проведен анализ его напряженно деформированного состояния.

Шнек – стержень со сплошной винтовой поверхностью вдоль продольной оси. Шнек является рабочей деталью механизма, предназначенного для транспортировки груза перемещением вдоль вращающейся винтовой поверхности внутри трубы (винтовой конвейер). Простота конструкции, высокая производительность, надежность и неприхотливость винтовых конвейеров обуславливает их широчайшее использование в различных областях производственной деятельности, связанной с перемещением больших объемов сыпучих грузов.

Для расчета напряжений деформированного расстояния винта (шнека) необходимо выполнить разбиение геометрической модели конечно-элементной сеткой, приложить нагрузки имитирующие сопротивление сыпучих грузов на спираль шнека и крутящий момент, для вращения шнека.

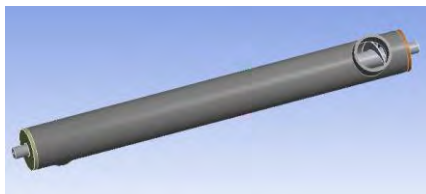


Рисунок 1. Модель конвейера

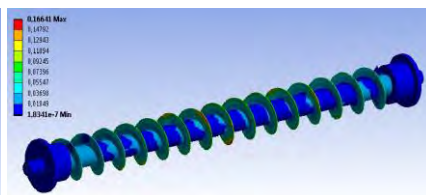


Рисунок 2. Напряженное состояние шнека

На рисунке 2 отображено напряженное состояние шнека при приложении рабочей нагрузки. Поскольку максимальное напряжение не превышает предела текучести материала, можно поставить задачу оптимизации этой конструкции. В качестве варьируемых параметров для оптимизационной модели принимаем толщину стенки корпуса (трубы) и диаметр полости шнека. Критериями оптимальности являются максимальное суммарное перемещение и масса, которые должны быть минимальными. Ограничения накладываем по максимальному эквивалентному напряжению, которое не должно превышать предела текучести 250 МПа.

В результате оптимизации удалось уменьшить массу конструкции на 3%, а максимальные перемещения на 2%.

Моделирование прочности и жесткости каркасно-пластинчатых конструкций рекламных щитов в среде ANSYS

Вашкевич Д. И.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании каркасов информационных устройств выдвигаются весьма противоречивые требования. С одной стороны, конструкция должна удовлетворять условиям прочности и жесткости при воздействии на нее нагрузок со стороны оборудования, собственного веса и ветровых нагрузок. С другой стороны, современное состояние экономики выдвигает существенные требования по минимизации материалоемкости таких конструкций. Решение таких задач предполагает оптимизационную постановку, ядром которой должна выступать параметрическая модель конструкции. В данной работе рассматривается модель каркаса информационного экрана, как части рекламного щита.

Оптимизация реализуется в зависимости от перебора входных параметров (описывающих геометрию, характеризующих внешние воздействия, физические свойства материалов, нагрузки) (рисунок 1) в соответствии с которыми изменяются расчетные параметры и при которых рассчитаны прочность и жесткость конструкции в период эксплуатации.

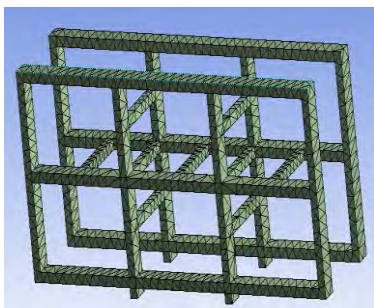


Table of Solution 95: Optimization									
	A	B	C	D	F	G	I	L	
1		P16 - Thickness_2	P17 - Thickness	P18 - Total Deflection Maximum (m)	F16 - Capacity Value (N/m ²)	P19 - Solid Mass (kg)	P16 - Equivalent Stress Maximum (Pa)	P17 - Safety Factor Maximum	
2	C1 - Compression (mm)								
3	Lower Bound	88	3						
4	Upper Bound	122	6,8						
5	C2 - Compression (mm)								
6	Objective	No Obj...	No Objective	Minimize	Minimize	Minimize	Values <= Target	Values >= Target	
7	Target Value						0,35-408	3	
8	Preferance		Higher	Higher	Higher	Higher	Default	Default	
9	Constraint/Handling						As Goal	As Hard Constraint	
10	C3 - Candidate Points								
11	Candidate A	103,3	0,0056	1,0814E-05	0,036446	615,79	7,0708E+05	2,43	2,43
12	Candidate B	101,89	0,0053	1,087E-05	0,037224	623,91	6,971E+05	2,402	2,402
13	Candidate C	97,228	0,0042	1,0795E-05	0,036881	619,21	7,0549E+05	2,4029	2,4029

Рисунок 2. Геометрическая модель каркаса информационного устройства (слева) и результаты оптимизации (справа)

Оценивая результаты оптимизации, можно сделать вывод о том, что значение напряжения составляет 0,706 МПа при толщине стенки каркаса $3 \cdot 10^{-3}$ м. Минимальный объем составил 0,086 м³ и минимальной массой 615,79 кг. Это позволяет сократить расходы на материалы в среднем на 30%, из которых изготовлена конструкция, и снизить общую стоимость конструкции. При этом коэффициент запаса прочности составил 2,43.

Исследование прочности шатуна с предварительным построением внешних нагрузок на основе твердотельного моделирования

Поседейко В.А.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе исследуется на прочность модель кривошипно-шатунного механизма с предварительным построением внешних нагрузок на основе твердотельного моделирования. Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал (рисунок 1).

Для проведения расчетов использовалась программа ANSYS Workbench 14, на основе которой и проходило исследование данной конструкции. Результаты моделирования представлены на следующих рисунках.

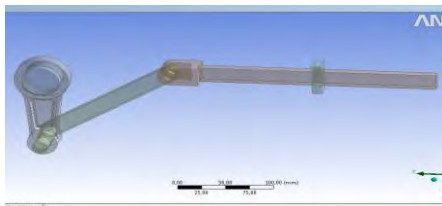


Рис.1. Геометрическая модель этапа

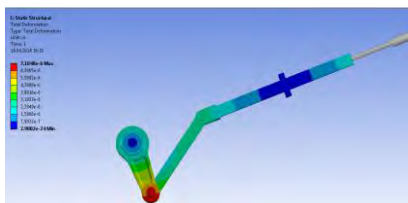


Рис.2. Результаты второго моделирования

Механизм закреплен с помощью Joints, обеспечивающих удобный способ для определенных типов соединения между двумя объектами. Опора смоделирована с помощью joints fixed (направляющая для движения источника жестко закреплена относительно земли). Остальные крепления задаются с помощью joints revolute – в местах крепления шатуна с кулисой, кулисы со штоком и штока с направляющей.

Исследования выполнены в два этапа. В динамическом исследовании к шатуну прикладывается угловая скорость и вычисляется максимальная нагрузка, возникающая при этом в соединении шатуна и кулисы.

На следующем этапе вычисленная нагрузка прикладывается к шатуну и определяется его напряженно-деформированное состояние.

Максимальное напряжение возникает в местах соединения шатуна с кулисой и составляет 7,185МПа (рисунок 2). Коэффициент запаса прочности при данной нагрузке составляет 9,918.

Это позволяет выполнить поиск оптимального варианта конструкции.

Веб-сервис для прогнозирования исхода теннисных игр

Наумовец М.Ю., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

С использованием платформы .NET и языка программирования С# был разработан веб-сервис для прогнозирования исхода теннисных игр. Веб-сервис определяет возможного победителя теннисных игр на основе заданных критериев, по которым производится оценка состояний задачи. Критерии, на основе которых сравниваются участники теннисных игр, и их важность определяются разработчиком.

В основе работы веб-сервиса лежит метод анализа иерархий Т. Саати.

Метод анализа иерархий проводится по следующей схеме:

- 1) осуществляют структурирование проблемы выбора в виде иерархии или сети;
- 2) проводят установку приоритетов критериев и оценка каждой из альтернатив по критериям;
- 3) вычисляют коэффициенты важности для элементов каждого уровня. При этом проверяется согласованность суждений;
- 4) подсчитывают комбинированный весовой коэффициент и определяется наилучшая альтернатива.

Взаимодействие веб-сервиса и модуля принятия решения происходит посредством Microsoft Office Excel, что упрощает расчеты и сокращает их время, при этом исключая вероятность ошибки в расчетах.

Кроме того, для определения более точного результата соревнования используются статистические данные за прошлые годы выступлений теннисистов. Предложенная модель принятия решения проверялась на согласованность по критерию Пирсона.

В модуле создается таблица критериев (матрица Саати). После того, как матрица Саати составлена, находят произведения чисел в строках и из полученных произведений извлекают корень, степень которого равна числу критериев, подсчитывается сумма найденных корней и выполняется подсчет приоритетов критериев путем деления найденных значений корней на сумму корней. Заключительным действием является перемножение приоритетов и заданных вероятностей и сравнение их между собой.

Разработанный веб-сервис для прогнозирования исхода теннисных игр может существенно увеличить точность прогнозов и скорость принятия решений в условиях неопределенности, что может привлечь большое количество пользователей.

Романова А. Н., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

Страхование имущества неразрывно связано с принятием решений в условия риска и неопределённости. Поэтому на платформе .NET с помощью языка программирования C# было разработано приложение для быстрого анализа введенных данных от пользователя, который хочет принять эффективное решение о том, необходимо ли в его условиях проводить страхование имущества. Приложение определяет важность оформления страхования на основе сравнения альтернатив по экспертным оценкам критериев и приоритетности критериев. Критерии, на основе которых сравниваются услуги и их важность, определяются пользователем приложения.

Обоснование и выбор конкретных управленческих решений, связанных с финансовыми рисками, базируется на концепции и методологии теории принятия решений. Эта теория предполагает, что решениям, связанным с риском, всегда свойственны элементы неизвестности конкретного поведения исходных параметров, которые не позволяют четко детерминировать значения конечных результатов этих решений. В основе работы приложения для принятия решения лежит метод Саати. Этот метод содержит процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе субъективных суждений экспертов. Число суждений может измеряться дюжинами или даже сотнями. Математические вычисления для задач небольшой размерности можно выполнить вручную или с помощью калькулятора, однако гораздо удобнее использовать программное обеспечение для ввода и обработки суждений. Метод осуществляется с помощью создания матриц критериев. Они заполняются числами в соответствии с предпочтительностью одного критерия относительно другого.

Приложение для принятия решения упрощает систему выбора варианта страхования для пользователя и имеет понятный интерфейс, что тем самым может привлечь больше потенциальных клиентов и увеличить конверсию страховой компании.

Подобных систем принятия решений с учётом предпочтений и условий клиента не было выявлено при анализе крупнейших интернет-сайтов страховых компаний доменной зоны by и других доменных зон, что может свидетельствовать об уникальности разработанной системы принятия решений.

Модуль принятия решения на основе теоремы Байеса

Слоущ Е.О., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

С использованием платформы .NET и языка программирования C# был разработан модуль принятия решения на основе теоремы Байеса. Модуль “ставит диагноз” пациенту: наличие или отсутствие у него сахарного диабета. Данное решение принимается на основе теоремы Байеса с учетом экспертных оценок симптомов и опыта предыдущих обращений пациентов. Важность симптомов определяет пользователь – врач.

В основе работы данной диагностической системы использованы методы поддержки принятия решений (метод анализа иерархий), а также байесовские стратегии оценки выводов. МАИ предоставляет экспертам относительно простой и эффективный способ измерения объективных и субъективных факторов посредством попарных относительных сравнений и вычисления соответствующих приоритетов шкалы отношений. Эксперт определяет относительную важность, предпочтение или вероятность в зависимости от того, оцениваются ли цели, альтернативы или сценарии. Преимущество создания безразмерных приоритетов шкалы отношений перед так называемыми абсолютными суждениями или оценками очевидно в ситуациях, для которых вообще не существует каких-либо шкал измерения. Байесовская стратегия оценки выводов – одна из стратегий, применяемых для оценки достоверности выводов (например, заключений продукционных правил) в экспертных системах. Основная идея байесовской стратегии заключается в оценке вероятности некоторого вывода с учетом фактов, подтверждающих или опровергающих этот вывод.

База данных об уже поступивших пациентах создана с помощью СУБД MS Access, которая является стандартным пакетом при установке Windows, что исключает необходимость отдельной ее установки при внедрении системы.

Разработанный модуль призван существенно упростить постановку предварительного диагноза пациенту еще до взятия необходимых анализов. Он прост в использовании и не требует долгосрочного обучения перед использованием. Особенно будет полезен для стажеров-интернов.

Подобных диагностических систем не было выявлено при анализе существующих систем принятия решения в медицине, что может свидетельствовать об уникальности разработанной системы.

Модуль согласования структур различных баз данных

Кирцун В.М., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время использование баз данных широко распространилось во все сферы, где используются информационные технологии. Нередким явлением является актуализация структуры конкретной базы данных. В некоторых случаях структура актуальной базы данных может только частично включать таблицы исходной базы данных. Кроме того, процесс актуализации не прерывает использование базы данных в работе приложения. Следовательно, помимо адаптации приложения под новую структуру базы модуль согласования структур различных баз должен обеспечивать перенос уже внесенных данных в новую базу данных.

Для решения поставленной задачи в модуле согласования реализованы такие общие алгоритмы, как объединение, копирование и дробление данных. Например, данные из MasterSystem и System объединяются в объект типа Node. Данные из MasterSubSystem и SubSystems, также объединяясь, преобразуются в объект типа Node, но в этом случае поле ParentId содержит указатель на узел, к которому относится подсистема. Последняя подсистема в ветке дерева контента копированием данных конвертируется в объект типа Component. Используя общие методы, модуль согласует по определенным правилам структуры двух баз данных и в соответствии с ними осуществляет перенос с сохранением целостности данных (см рисунок)

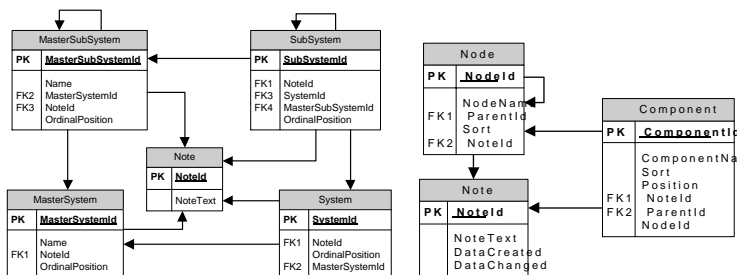


Рисунок. Части структур исходной и актуальной баз

Ковалевич А. Н., Ковалёва И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Проблема повышения безопасности электронных систем управления автомобилями приобретает всё большее значение в связи с усложнением узлов, применяемых в транспортных средствах, таких как автобусы МАЗ-203, МАЗ-206, МАЗ-226. И оснащением электронных блоков новыми функциями. В связи с этим передо нами была поставлена задача: разработать вспомогательное приложение (рис. 1) для формирования файлов для прошивки контроллера блока коммутации КБК-203. КБК-203 предназначен для сбора, обработки сигналов датчиков и электронных систем автобусов МАЗ-203, МАЗ-206, МАЗ-226 и преобразования их в сигналы интерфейсов по стандартам SAE J1939 и EIA/TIA 485.

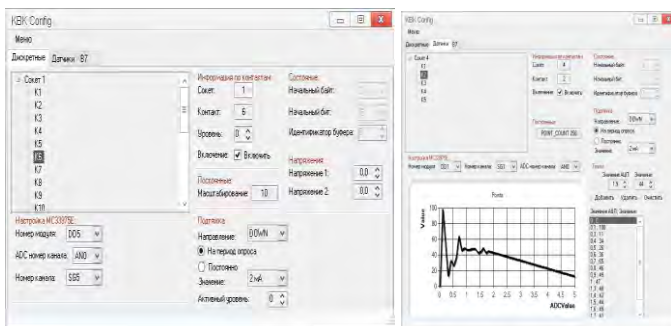


Рисунок 1 – Интерфейс программы

При реализации программы необходимо было решить задачи: формирования структуры данных, отображение, обработка, приём, передача и сохранение данных.

В вспомогательной программе выводятся данные для каждого контакта, для просмотра и редактирования. Для сохранения данных в формате XML были реализованы методы сериализации данных. Так же было реализовано несколько методов приёма и передачи данных с выравниванием структуры данных при передаче в виде массива байт. И в итоге, после обработки данных, формируются файлы для программирования КБК-203.

Особенности расчета реакции динамической системы спектральным методом

Кочеров А.Л., Кочерова В.А.

Белорусский национальный технический университет

Для анализа линейных стационарных систем широко используется спектральный метод. Задача настоящего анализа: на вход динамической системы с комплексной передаточной функцией $K(j\omega)$ поступает одиночный сигнал $x(t)$ длительности τ ; необходимо найти реакцию системы $y(t)$. Тогда решение этой задачи определяется интегралом Фурье

$$y(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |X(j\omega)K(j\omega)| \cos(\omega t + \arg(K(j\omega)) + \arg(X(j\omega))) d\omega,$$

где $X(j\omega)$ – комплексная спектральная плотность сигнала $x(t)$.

Аналитическое вычисление интеграла Фурье если и возможно, то лишь для простейших случаев. Поэтому на практике почти всегда используют численные методы, реализованные, например, в программной среде MathCad, которая получила широкое распространение именно за простоту «трансляции» математических выражений.

Для поставленной задачи в качестве верхнего предела интеграла используем значение $\Omega = 100\pi\tau^{-1}$, при этом непосредственное вычисление интеграла даже для одного момента времени t занимает существенное время (около минуты), построение графика в силу этого затруднено. Если же разбить интервал частот $[0; \Omega]$ на N равновеликих интервалов длины s с центрами ω_n , то интеграл Фурье можно заменить рядом

$$y(t) \approx \frac{s}{\pi} \sum_{n=1}^N |X_n K_n| \cos(\omega_n t + \arg(K_n) + \arg(X_n)),$$

где $X_n = X(j\omega_n)$, $K_n = K(j\omega_n)$. В этом случае значения X_n вычисляются *один раз* и построение графика $y(t)$ не вызывает затруднений.

Дополнительно было установлено, что для исследуемых сигналов уже при $N = 30000$ погрешность замены интеграла рядом составляет около 1,5%, с ростом N погрешность уменьшается медленно, так при $N = 100000$ погрешность составляет (0,55 – 0,65)%.

Деревья решений на основе информационно-логических таблиц

Кочуров В.А. Семашко Д. В.

Белорусский национальный технический университет

Как известно из концепции искусственного интеллекта, принятие решений или достижение некоторой цели осуществляется посредством деревьев решений, вершины (узлы) которых являются состояниями из определённого множества состояний.

Информационно-логическую таблицу (ИЛТ) можно интерпретировать как операция по выбору решения из ограниченного множества возможных решений.

Одна и та же ИЛТ может интерпретироваться двумя способами:

- как дерево прямого обхода. В этом случае решения ассоциируются с терминальными вершинами;
- как дерево обратного обхода. В этом случае решение ассоциируется с корневой вершиной, а терминальные вершины представляют входные параметры.

ИЛТ прямого обхода, будучи вставленной в ячейку, представляющую выбираемое значение, позволяет создавать плоские деревья решений произвольного объёма. Вставка ИЛТ обратного обхода в ячейку, представляющую имя или значение параметра, изменяет логику вывода, что позволяет создавать детерминированные пространственные деревья решений произвольной сложности.

Основную логику вывода определяет дерево, лежащее в плоскости основания. Посредством ИЛТ обратного вывода определяется значение атрибута или значение входного параметра, зависящее от многих других факторов. Схематическое изображение возможной структуры дерева вывода представлено на рисунке 1.

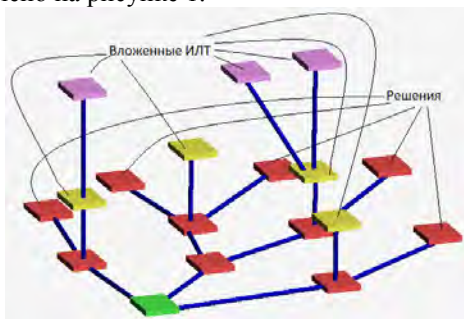


Рисунок 1 – Деревя вывода.

Алгоритм поиска решений в дереве вывода на основе информационно-логических таблиц

Кочуров В.А.

Белорусский национальный технический университет

При разработке технологии создания баз инженерных знаний на основе информационно-логических таблиц (ИЛТ), доступ к которым должен осуществляться из программ автоматизированного проектирования, возникает проблема поиска решения посредством алгоритма вывода по дереву решений. Поскольку ИЛТ сама по себе является пассивным объектом (контейнером), то для работы с ней требуется либо конечный пользователь, либо *программа-монитор*, имитирующая действия конечного пользователя.

Для поиска решения путём обхода дерева решений предлагается следующий алгоритм: запускается алгоритм прямого обхода дерева решений; фиксируется текущая ИЛТ; Посредством анализа выражений, ассоциированных с именами атрибутов создаётся строка ходных параметров. При этом могут быть выполнены следующие действия с учётом приоритета:

- если выражение представлено формулой, инструкцией SQL-Select, или листом расчёта MathCad то выполняется соответствующее вычисление;
- если этим выражением является вложенная ИЛТ, то рекурсивно выполняется её обратный обход;
- при отсутствии упомянутых случаев на экран выводятся значения атрибута в форме списка для выбора конечным пользователем.

Аналогичным образом для каждого атрибута выполняется проверка типа значений и, при необходимости, их вычисление .

На основе полученной строки входных параметров и обработанных значений атрибутов осуществляется выбор локального результата.

Результат, представляющий единственное имя вложенной ИЛТ служит продолжением дерева прямого вывода. В этом случае выполняется переход на вложенную ИЛТ и набор логических ветвей выполняет роль возможных путей продолжения прямого обхода.

Если было получено несколько результирующих значений, представляющих имена ИЛТ, то в этом случае появляется разветвление из нескольких узлов, каждый из которых представлен собственной ИЛТ. При этом надлежит выполнить прямой обход каждой ветви. Если отсутствуют вложенные ИЛТ, то полученный в результате считается окончательным и на экран выводится вся цепочка вывода.

Многокритериальная идентификация параметров функциональных моделей технических систем

Синякевич Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Достоверность математических моделей, применяемых в задачах оптимизации, играет определяющую роль в решении этих задач, улучшении прототипов, доводке опытных образцов. Повышение адекватности математических моделей достигается с помощью различных методов идентификации при использовании результатов реальных экспериментов.

Алгоритм многокритериальной параметрической идентификации включает в себя этапы формирования множества векторов идентифицируемых параметров, каждый из которых должен удовлетворять функциональным ограничениям, и соответствующих векторов критериев адекватности, выбора наиболее подходящего вектора идентифицируемых параметров и соответствующая корректировка математической модели, повтора многокритериальной параметрической оптимизации с использованием откорректированной математической модели.

Метод многокритериальной идентификации позволяет оценивать адекватность математической модели по множеству локальных критериев близости.

В идентификационную модель входят набор идентифицируемых параметров с соответствующими параметрическими ограничениями, набор критериев адекватности, набор функциональных ограничений, результаты натурных экспериментов.

На первом этапе многокритериальной идентификации определяется допустимое множество решений.

На втором этапе решается задача оптимизации по многим критериям и отыскивается наиболее подходящее решение.

По результатам оптимизации уточняется математическая модель исследуемого объекта — значения «подгоночных» множителей устанавливаются равными соответствующему набору идентифицируемых векторов из вектора, выбранного наиболее подходящим на втором этапе.

УДК 621.391.25

Выбор рациональных параметров укрывающей конструкции для защиты грузов при динамических нагрузках

Ненартович М.Н., Напрасников В.В.
Белорусский национальный технический университет

Укрывающая конструкция, используется в различных видах транспорта для предотвращения воздействия на груз некоторых внешних факторов, например снег. В связи с этим укрывающая конструкция должна выдерживать определённые нагрузки.

В данной работе была построена геометрическая модель укрывающей конструкции. Затем были выявлены формы собственных колебаний модели и исследовано поведение модели при постоянных и динамических нагрузках.

На следующих рисунках представлены: конечно-элементная модель укрывающей конструкции (рис.1) и эквивалентные напряжения по теории Мизеса, возникающие в ней при постоянной нагрузке (рис. 2).

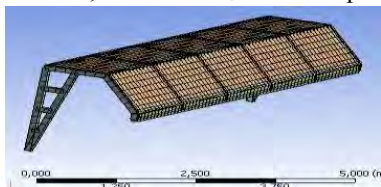


Рисунок 1 - Модель створки

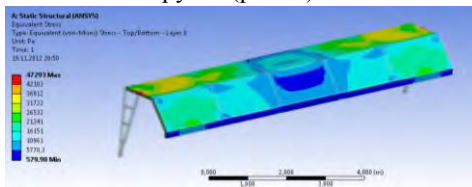


Рисунок 2 - Эквивалентные напряжения

По результатам расчетов оказалось, что напряжения в укрывающей конструкции не превышают предел текучести стали и пластика; это означает, что укрывающая конструкция выдерживает приложенные нагрузки.

Значительный запас прочности позволил провести оптимизацию конструкции путём уменьшения поперечного сечения балок каркаса укрывающей конструкции.

В качестве варьируемых параметров для оптимизации конструкции, принимаем геометрические размеры пластин и балок каркаса.

Критериями оптимальности являются максимальное суммарное перемещение и объем материала, которые должны быть минимальными. В качестве функциональных ограничений выступает максимальное эквивалентное напряжение, которое не должно превышать предела текучести.

При выполнении моделирования использовалась лицензионная учебная версия комплекса, предоставленная компанией ANSYS.

**О роли теории нечетких множеств в модели оценки
кредитоспособности физических лиц.**

Ю.А. Сидорко

Белорусский национальный технический университет

Все более возрастающая из года в год конкуренция в банковском секторе заставляет кредитные организации совершенствовать методики оценки кредитоспособности. В общем смысле, задача оценки кредитоспособности сводится к оценке финансово-экономического состояния заемщика, а также составлению его «качественного портрета». С этой целью разрабатывается соответствующая система показателей.

Процесс оценки кредитной истории может быть описан в терминах теории нечетких множеств с использованием лингвистических переменных.

Применительно к задаче анализа кредитной истории лингвистическая переменная может быть задана в виде набора $\langle X, T, U, G, M \rangle$, где переменным приписан следующий содержательный смысл: X – лингвистическая переменная с именем «кредитная история»; T – термножество переменной X , т.е. множество значений лингвистической переменной X , областью определения каждого из которых является множество U . U – множество, представляющее собой набор количественных характеристик, на основании которых возможно определить принадлежность кредитной истории к значениям, входящим в T . G – синтаксические правила, часто в виде грамматики, порождающие название термов; M – семантические правила, задающие функции принадлежности нечетких термов, порожденных синтаксическими правилами G

Нечеткие множества, полученные с помощью семантических правил M , характеризуются простотой определения функций принадлежности, для расчета которых не требуется применения специализированных методов, а достаточно использовать стандартные математические операции.

Таким образом, модели на основе нечетких множеств строят функциональное соответствие между нечеткими лингвистическими понятиями и специальными функциями, выражающими степень принадлежности значений измеряемых параметров.

Дополнительное исследование метода свертки таблицы истинности при минимизации логических функций

Василевский А.В., Мартинович В.В., Балашков В.И., Лойко И.В.
Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим полностью определенную логическую функцию от четырех аргументов: $(8,9,10,11,15) \rightarrow 1$; $(0,1,2,3,4,5,6,7,12,13,14) \rightarrow 0$. При минимизации логических функций методом свертки таблицы истинности по очереди временно исключаются аргументы (исключается столбец таблицы истинности), каждая строка из области 1 на выходе сравнивается с каждой строкой из области 0 на выходе. В случае совпадения остатка строк в этом месте таблицы отмечается значение исключенного аргумента. Если сделать то же самое с каждой строкой только из области 1, то фактически будет выполняться метод минимизации Квайна-МакКласки. В таблице истинности ниже сначала исключено X_0 , остатки строк 8 и 9 совпали и были заменены одной строкой при этом X_0 исключен как несущественный и т.д. То же самое выполнено с областью 0, она добавлена снизу в правой части таблицы. К этой сжатой таблице применен метод свертки. Исключаем временно X_3 , остаток первой

	X3	X2	X1	X0		X3	X2	X1	X0		X3	X2	X1	X0
8	1	0	0	0		1	0	0	-		1	0	-	-
9	1	0	0	1		1	0	1	-		1	-	1	1
10	1	0	1	0		1	-	1	1					
11	1	0	1	1							1	1	0	-
15	1	1	1	1							1	1	-	0
											0	-	-	-
											3	3	2	2

X4	X3	X2		X5	X3
-	1	0		1	1
1	1	0			
				0	1
0	1	1		-	0
-	0	-			
2	3	2		2	2

строки "0 0 -" не отличим от остатка последней строки "- - -", отмечаем это утолщением значения аргумента X_3 и т.д. В нижней строке отмечаем общее число отмеченных символов в столбце. Подстановки делаем для двух символов с минимальным числом отмеченных символов. Первая подстановка $X_4 = X_1 \cdot X_0$,

следующая подстановка $X_5 = X_4 + \text{не}X_2$ и, наконец, $Z = X_5 \cdot X_3$. Окончательно $Z = X_3 \cdot (\text{не}X_2 + X_1 \cdot X_0)$. Таким образом, вначале был использован метод Квайна-МакКласки, а затем свертка таблицы истинности (с прочерками).

Применение оператора XOR при минимизации логических функций

Василевский А.В., Мартинович В.В., Ларкович В.И., Шебеко А.С.
Белорусский национальный технический университет

Минимизируем полностью определенную логическую функцию от четырех аргументов: $(0,3,5,6,9,10,12,15) \rightarrow 1$; $(1,2,4,7,8,11,13,14) \rightarrow 0$ методом свертки таблицы истинности [1]; методы Вейча-Карно или Квайна-МакКласки здесь не работают. По очереди временно исключаем аргументы (исключается столбец таблицы истинности), каждая строка из области 1 на выходе сравнивается с каждой строкой из области 0 на выходе. В случае совпадения остатка строк в этом месте таблицы отмечается значение исключенного аргумента. Число отметок по каждому столбцу – в нижней строке, все элементы таблицы оказываются полностью отмеченными [2].

	X3	X2	X1	X0
0	0	0	0	0
3	0	0	1	1
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
9	1	0	0	1
10	1	0	1	0
12	1	1	0	0
15	1	1	1	1
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
4	0	1	0	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
11	1	0	1	1
13	1	1	0	1
14	1	1	1	0
	16	16	16	16

Выполняем подстановки: $X4=X0 \text{ XOR } X1$; $X5=X2 \text{ XOR } X3$, удаляем повторяющиеся строки и заменяем аргументы $X0...X3$ на $X4,X5$, как показано в нижней таблице. Последняя подстановка $X4 \text{ XOR } X5$ дает инверсию Z. Окончательно имеем $Z= \text{NOT}((X0 \text{ XOR } X1) \text{ XOR } (X2 \text{ XOR } X3))$. Оператор $A \text{ XOR } B = (A \text{ OR } B) \text{ AND } (\text{NOT } A \text{ OR } \text{NOT } B)$ реализуется пятью операторами набора: **OR**, **AND**, **NOT**. Таким образом, в приведенном примере удалось сократить 16 операторов набора: **OR**, **AND**, **NOT** тремя операторами **XOR** и одним **NOT**. Метод свертки таблицы истинности позволяет работать с оператором **XOR**, как и с операторами набора: **OR**, **AND**, **NOT** без всяких различий. Если представить рассмотренную функцию в виде матрицы Вейча-Карно, то все клеточки для областей 1 и 0 расположены по диагонали, что не позволяет провести их объединение.

Литература:

X	X5	Z
0	0	0
1	1	
0	1	1
1	0	
4	4	

1. Бородуля А.В., Василевский А.В., Кочуров В.А. Техническое обеспечение интегрированных САПР / БНТУ. – Минск 2009. – Ч.1.

2. Пономаренко А.С., Василевский А.В. Алгоритм выбора последовательности подстановок при минимизации логических функций методом свертки таблицы истинности. // Наука – образованию,

производству, экономике: Материалы Десятой международной научно-технической конференции: в 4 т. / БНТУ – Минск, 2012.- Т.1. – С. 252.

УДК 65.012.123

Достоинства и недостатки применения современных форм создания программного кода в процессе обучения студентов

Пекарчик С.Е.

Белорусский национальный технический университет

Обсуждаются достоинства и недостатки знакомства студентов с новыми технологиями и средствами разработки кода, представленными на рынке программного обеспечения.

В частности, рассматриваются такие вопросы, как:

- состав рекомендуемых для изучения в рамках дисциплин методологий проектирования программного обеспечения;
- необходимость использования языка UML в процессе обучения программированию, знакомства со стандартами проектирования и разработки кода;
- состав эталонных знаний разработчика кода или «чему следует уделить внимание при обучении программированию?». Соответствие требований рынка труда и изучаемым средствам;
- необходимость использования шаблонов для проектирования приложений;
- анализ кода: дань моде или обязательный инструмент разработчика? Нужен ли анализ разработчику?

Рассматриваются положительные и негативные моменты получения знаний по затронутым выше вопросам. Контекст обсуждения таков: «Должны ли области знаний затрагивать все этапы жизненного цикла разработки ПО или носить более дискретный характер?».

УДК 65.012.123

Об особенностях интернет-маркетинга в Беларуси

Пекарчик С.Е.

Белорусский национальный технический университет

Рассматриваются особенности ведения интернет маркетинга в условиях Беларуси на примере «продающего» web-ресурса. Объектом исследования является процесс оптимизации web-ресурса для увеличения продаж книг посредством байнета.

В докладе делается попытка ответить на вопросы:

- 1) Красива ли обёртка или что нужно посетителю книжного интернет-магазина?
- 2) Особенности индексирования сайтов поисковыми системами: оправдано ли размещение информации о белорусском бизнесе в другом регионе, например, в России или Европе?
- 3) Реклама на Яндекс и Google: что эффективнее в условиях Беларуси для книжного магазина? Эффективна ли контекстная реклама и сколько она стоит?
- 4) Где выгоднее продвигать книжный сайт: в Минске или регионах (анализ поисковых запросов, конкурентов и т.д.)?
- 5) В каких каталогах и рейтингах Беларуси стоит размещать информацию для «продающего» сайта? Какова «полезная» составляющая от каталогов и рейтингов в Беларуси на примере сайта книжного магазина?
- 6) Плюсы и минусы продвижения «продающего» книжного сайта в социальных сетях: каковы трудозатраты по сравнению с процентом посетителей?
- 7) Оправдывает ли себя интернет-реклама, акции и скидки на книги в условиях байнета и российского интернета, например, на «Яндекс. Маркет»?
- 8) Сайты-партнёры: расходы или прибыль или как найти достойного партнёра?

УДК 629.11

Сравнительное исследование полуактивных и активных систем амортизации мобильных машин

Гурский Н.Н., Рейхани О.

Белорусский национальный технический университет

Создание перспективных конструкций ходовых частей современных автомобилей предполагает разработку методик и программных средств виртуального проектирования динамических объектов. Для снижения виброн нагруженности узлов и агрегатов машин возможно использование различных схем пассивной виброзащиты. Вместе с тем, требуемого эффекта невозможно достичь только пассивными средствами (выбором параметров и характеристик упруго-диссипативных элементов). Чтобы удовлетворить разнообразным условиям работы проектируемого узла мобильной машины, нужны элементы поддрессирования с управляемыми параметрами (характеристиками), которые работают на основе электронных схем или контроллеров, реализующих выбор значений параметров по некоторому закону. Такие системы требуют оснащения

подвески датчиками, контроллерами и исполнительными устройствами. Чтобы управлять колебаниями амортизированного узла, применяются полуактивные и активные конструктивные схемы.

В настоящей работе рассматриваются математические модели, программные средства, позволяющие выполнить моделирование амортизированного узла мобильной машины, рассматриваемого как пассивный, полуактивный и активный элемент поддрессоривания. В качестве динамического аналога амортизированного узла используется одномассовая колебательная система. Исполнительным механизмом полуактивного управления колебаниями является амортизатор с магнитореологической жидкостью. Исполнительным механизмом активной системы является электромеханический объект. Приведено сравнительное исследование рассматриваемых схем амортизации, выполненное в системе Matlab-Simulink.

УДК 378.091.64:004

Опыт использования электронного учебно-методического комплекса в учебном процессе

Ковальков А.Т., Ковалькова И.А.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» разработан и используется в учебном процессе электронный учебно-методический комплекс [1] по дисциплине «Функциональное и логическое программирование» для студентов дневной и заочной форм обучения (Ковальков А.Т., Ковалькова И.А. ЭУМК по дисциплине «Функциональное и логическое программирование» для студентов специальностей 1-40 01 01 и 1-40 01 02 [Электронный ресурс]. Рег. № БНТУ/ЭУМК – ФИТР 49-26 – Минск, БНТУ, 2013.). Он включает следующие разделы: рабочая программа дисциплины, конспект лекций, лабораторный практикум, контроль знаний, методические указания по выполнению курсового проекта, экзаменационные вопросы, литература. Конспект лекций и лабораторный практикум содержат теоретический и практический материал по основам логического программирования на языке *Prolog* и функционального программирования на языке *Lisp*. Предусмотрены различные виды контроля знаний: контрольные вопросы, которые имеются в конце каждой лабораторной работы лабораторного практикума, тестирование с помощью прилагаемой к комплексу автономной программы и экзамен.

Внедрение комплекса в учебный процесс позволяет студентам продуктивнее работать на протяжении учебного семестра и подходить к экзамену с большим багажом знаний по изучаемой дисциплине.

УДК 681.324

Организация учета печатных и электронных изданий на кафедре

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

В наш век информационных технологий необходимо создание удобной системы для автоматизированного учета публикуемых и электронных изданий. С помощью такой системы есть возможность быстрого поиска интересных изданий по заданным параметрам.

На сегодняшний день существует немало систем, позволяющих ввести учет публикаций, и в виде Web-приложений, и в виде стандартных программ. К сожалению, ни одна из подобных систем не отражает специфику работы с изданиями на кафедре университета.

В настоящее время на кафедре "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем" БНТУ издания хранятся в виде отдельных разрозненных документов. Требования к отчетам, содержащим списки публикаций, весьма различны.

Обычно о каждом издании должны храниться основные библиографические сведения, а также сведения о виде издания (монография, сборник научных трудов, учебник, конспект лекций, учебное пособие, учебно-методическое пособие, УМК, лабораторный практикум, статья, тезисы, электронное издание, электронный документ, патент).

В качестве подвида издания должна быть указана следующая информация – издано за границей, входит в Перечень ВАК Беларуси, напечатано с грифом Министерства образования иностранного государства или Беларуси, напечатано с грифом УМО.

Автором публикации может быть преподаватель, аспирант, магистрант, студент. Объем издания может представлять собой количество страниц, количество условно-печатных или условно-электронных листов.

Выводы:

- 1) Необходима автоматизированная система учета публикаций кафедры;
- 2) Процессы ввода и хранения информации в системе должны быть обусловлены правилами учета и классификации публикаций на кафедре и в университете;

3) Информация должна храниться в структурированном виде, т.е. должна быть создана база данных изданий, что облегчит обработку информации. Использование БД обеспечит также сохранность и корректность введенных данных;

4) Выходные данные должны представляться в виде отчетов с выборкой публикаций по определенным критериям.

УДК 681.325.5

Технология построения 3D моделей по набору изображений

Бахтин А. И., Новиков С. О.

Белорусский национальный технический университет

При построении 3D моделей для обработки фотографий используются либо платные решения, либо Web-based решения, что очень ограничивает область возможного применения.

Главным требованием к выполнению фотосъемки объекта является перекрытие между парой кадров фотографируемой области пространства не менее 50%. Более того, такая съемка должна гарантировать, что три смежных снимка будут с перекрытием. Таким образом, после построения модели она будет определяться только масштабным параметром. Существуют готовые решения для реализации данной задачи. Например, такие, как 123DCatch (20-40 фотографий для рендеринга, должны накладываться) от Autodesk, [3DSee](#) (5-15 фотографий, должны пересекаться как минимум на 80-90%) от DavidMcKinnon, Photosynth от Microsoft.

Обработка снимков состоит в поиске одинаковых точек объекта на снимках и решении системы нелинейных уравнений, составленной на основе найденных соответствий для определения параметров камеры (фокусное расстояние, ISO), и положения/ориентации камеры в моменты фотографирования каждого из снимков относительно выбранного начала системы координат. Для ориентированных снимков выполняется поиск всех одинаковых точек на смежных парах изображений (составляются плотные карты или карты глубины), после чего вычисляется положение точек в пространстве выбранной системы координат на основе рассчитанных параметров камеры: фокусного расстояния, положения/ориентации и других. Множество точек модели представляется в виде триангуляционных каркасов (например, методом триангуляции Делоне), удобных для последующего наложения текстур либо трансформирования снимков. Текстурированное представление каркасов и является результатом моделирования, которое получает практическое применение.

Базовые принципы архитектурной безопасности

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Только проверенная архитектура способна обеспечить управляемость информационной системы и способность противостоять новым угрозам.

С практической точки зрения наиболее важными являются следующие базовые принципы архитектурной безопасности:

- непрерывность защиты в пространстве и времени, невозможность миновать защитные средства;
- принцип единого контрольно-пропускного пункта (весь входящий во внутреннюю сеть и выходящий трафик должен проходить через единственный узел сети, например межсетевой экран);
- следование признанным стандартам, использование апробированных решений;
- усиление самого слабого звена (безопасность – цепь, «где тонко, там и рвется»);
- невозможность перехода в небезопасное состояние (использование средств, которые при отказе переходят в состояние максимальной защиты);
- минимизация привилегий (предоставление каждому сотруднику предприятия минимального уровня привилегий, который необходим ему для выполнения должностных обязанностей);
- разделение обязанностей (такое распределение ролей и ответственности, чтобы один человек не мог нарушить критически важный для организации процесс или создать брешь в защите по заказу злоумышленников);
- разнообразие защитных средств или использование комплексного подхода к обеспечению безопасности;
- простота и управляемость ИС (необходимы для контроля конфигурации различных компонентов и осуществления централизованного администрирования);
- минимизация объема защитных средств, выносимых на клиентские системы, так как конфигурацию клиентских систем трудно или невозможно контролировать;
- принцип баланса возможного ущерба от реализации угрозы и затрат на ее предотвращение. Ни одна система безопасности не гарантирует защиту на 100%, т.к. является результатом компромисса между возможными рисками и возможными затратами. Решение должно быть обосновано экономически.

**Система автоматизации обработки документов для абонентов
РУП «Белтелеком»**

Борисова И.М

Белорусский национальный технический университет

В данное время существует большое количество как государственных, так и частных предприятий, которые работают с большим количеством различного рода документов формируемых автоматически либо заполняемых вручную. На заполнение документов вручную тратится большое количество ресурсов, поэтому возникает необходимость автоматизировать данную проблему. Одним из примеров вышеупомянутой проблемы является заполнение извещений и уведомлений на предприятие РУП Белтелеком.

Следующее предприятие оказывает большое количество услуг населению, таких как телефонная связь, услуги интеллектуальной платформы, интернет и передача данных, выделенные линии и каналы, сервисные пункты, документальная электросвязь, интерактивное телевидение Zala. При заключении договоров на оказание услуг или отказе от них через предприятие проходит большой объём необходимой для этого информации. Вся эта информация обрабатывается в автоматическом режиме при помощи специального программного обеспечения.

Но существуют и такие операции, которые не автоматизированы; к ним относятся печать конвертов для отправки извещений, уведомлений и печать самих извещений и уведомлений. Все эти документы пишутся от руки.

Разработано приложение по автоматизации печати конвертов, извещений, уведомлений, соответствующих форматам документов, утвержденных в Беларуси, предназначенных для дальнейшей рассылки. Исходной для данного приложения является база данных, в которой хранятся данные об абонентах

В результате выполнения программы получаем полностью сформированный и распечатанный документ, и конверт для отправки.

Разработано программное обеспечение для отдела маркетинга, которое позволило избавиться от рутинного заполнения адресов на конвертах, а также ручного заполнения претензионных карточек и уведомлений. Ранее в течение дня сотрудник, вручную заполнявший документы на рассылку и подписывающий конверты, тратил 2 часа, теперь этот же объём работы выполняется за 20 мин.

**Электронное учебное пособие
«Технологии программирования C++»**

Борисова И.М.

Белорусский национальный технический университет

В процессе обучения студентам предлагаются электронные пособия на различную тематику. Их использование позволяет сделать процесс обучения студента более эффективным, дающим новые современные возможности в освоении материала и получении профессиональных знаний и навыков. Особенно важно использование электронных пособий при заочном обучении.

Разрабатываемое учебное пособие предоставляет студентам возможность самоконтроля. Весь учебный материал четко структурирован по разделам, каждый из которых содержит теоретические сведения и блок самоконтроля.

Навигационная система учебника строится по блочному принципу с иерархической перекрестной структурой ссылок внутри каждого блока. Общее меню разделов может быть вызвано с главной страницы. Вход в каждый конкретный раздел может быть выполнен из основного и дополнительного меню. Главы, в свою очередь, также имеют свое собственное меню для содержащихся в них разделов.

Элементы самоконтроля, к которым относятся упражнения для самопроверки и тестовые задания, размещаются после каждой главы. Особенность этого блока состоит в том, что правильные ответы к упражнениям и тестам для самоконтроля находятся в самом учебнике.

После прохождения тестирования пользователю представляются результаты.

Для акцентирования внимания наиболее важная текстовая информация выделяется фоном, шрифтом и цветом. Этот способ акцентирования внимания применяется также для исходного кода, который встречается в ЭУП. В данном ЭУП используется и другой метод акцентирования внимания – выделение рамкой. В рамку берется краткое повторение основных терминов и определений.

В теоретической части глав можно встретить примечания, акцентирующие внимание читателя на каких-либо нюансах программирования (они оформлены в виде подразделов «Ловушка», «Совет программисту» и «Замечание»).

Основными функциями пособия являются обучение, обеспечение пользователей необходимым материалом.

Комплексные проекты – перспективный подход к разработке программного обеспечения

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Предпосылками к комплексному курсовому и дипломному проектированию являются:

- разработка программного обеспечения (ПО) для поддержки функционирования автоматизированных рабочих мест (АРМ) и взаимодействия между ними в автоматизируемой организации (вузе, торговом предприятии, банке и т.п.);

- повышение эффективности получения и анализа информации в гетерогенных информационных средах с СУБД различных производителей в центральном офисе организации и в филиалах путем создания хранилищ данных;

- разработка распределенных информационных систем;

- Разработка ПО поддержки чип-тюнинга, круиз-контроля, «умного» дома и т.п.

На наш взгляд

- комплексный проект по АРМ может включать темы проектов типа «АРМ директора банка», «АРМ менеджера банка», «АРМ главного бухгалтера банка», «АРМ кассира банка» и т.д.;

- комплексный проект по реорганизации гетерогенной информационной среды может включать проект, связанный с разработкой хранилища данных центрального офиса и проекты по увязке различных СУБД филиалов с концепцией хранилища центрального офиса;

- комплексный проект по созданию распределенных информационных систем может включать проекты разработки необходимых dll-файлов;

- комплексные проекты по чип-тюнингу, круиз-контролю представляет особый интерес для технических вузов, т.к. может быть симбиозом проектов будущих специалистов различных направлений.

В итоге комплексное проектирование должно повысить качество проектов, компетентность их авторов, приучить будущих специалистов к слаженной работе в коллективе.

Подобный подход может быть полезен при обучении всем специальностям, реализованным в вузе.

Синтез регулятора с изменяемой структурой для управления гибридным приводом

Гук М.Э, Юденков В.С.

Белорусский национальный технический университет

С развитием микроэлектроники и электротехники в настоящее время ключевым вопросом становится оптимальное управление как средство улучшения характеристик систем.

При проектировании электроприводов в первую очередь учитываются показатели производительности, в то время как параметры эффективности в большей степени зависят от режимов эксплуатации и не могут в полной мере быть учтены на данном этапе. Поэтому задача эффективного использования электропривода по комплексному критерию, включающему производительность и эффективность, ложится на систему управления. Сложность разработки оптимального управления заключается в нелинейности самого управляемого объекта, а также в комплексности критерия оптимальности.

Использование в системах управления цифровых П-, ПИ-, ПИД-регуляторов не даёт существенного улучшения качества процесса при отработке больших рассогласований по скорости или по положению. Для улучшения работы в этих режимах целесообразно применять комбинированную систему (алгоритм) с изменяемой структурой. При малых рассогласованиях работает оптимальная стабилизация. При больших рассогласованиях происходит изменение структуры и в работу включается цифровой регулятор (алгоритм) для оптимизации системы в «большом». Первоначальным этапом синтеза является определение критерия качества управления, например по минимальному потреблению энергии. Затем, используя асимптотическую процедуру оптимизации режима отработки скачка задания скорости, получаем уравнения оптимального регулятора для заданного критерия качества [1]. Синтезированный регулятор производит управление асинхронным электродвигателем в связке с дизель-генераторной установкой. Такая схема питания даёт автономность системе, а также предоставляет возможность использования дизельного двигателя внутреннего сгорания в оптимальном режиме[2].

Литература:

1. Панасюк В.И., Ковалевский В.Б., Политыко Э.Д. Оптимальное управление в технических системах. – Мн.: Навука и тэхніка, 1990. – 272 с.
2. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. – Минск: «Дизайн ПРО», 2000. – 165 с.

**Инструмент для проектирования и управлением колебаниями
3D-модели машины**

Гурский Н.Н., Иванченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Стремительное развитие автомобилестроения и других отраслей машинной индустрии, быстрая смена поколений создаваемых машин, а также борьба за рынки сбыта не даёт конкурирующим предприятиям машиностроения времени для раскаток при проектировании, моделировании и выпуске соответствующих транспортных средств. Каким образом можно уменьшить жизненный цикл создания транспортного средства? В первую очередь, можно сократить сроки проектирования и моделирования машины без ущерба со стороны качества за счёт создания более совершенных методов расчета конструкций динамических систем, в том числе, – основанных на компьютерном (и математическом) моделировании. Последние – неотъемлемый этап проектирования деталей и конструкций любой сложности, оптимизации их параметров с последующей доводкой изделия до требуемых характеристик.

В настоящее время существует целый ряд авторитетных программных продуктов для компьютерного 3D-моделирования и проектирования, но одним из ведущих в машиностроении и самым востребованным в мире является, безусловно, ADAMS (AutomaticDynamicAnalysisofSystems) – программный комплекс для динамического и кинематического анализа механических систем, выпускаемый фирмой MDI (MechanicalDynamicsIncorporated). Помимо основного функционала ADAMS предоставляет также отдельные более специализированные модули, ориентированные на конкретные области техники. К примеру, модуль ADAMS/Linear – линеаризует (упрощает) нелинейные уравнения для получения собственных частот и форм механической системы. Результирующая система уравнений дает возможность: установить взаимосвязь между большими перемещениями конструкции и малыми колебательными перемещениями ее частей, осуществить контроль построения системы, облегчить проектирование систем управления, облегчить построение систем с гибкими звеньями.

Данное программное обеспечение позволяет создавать и проводить всесторонний анализ виртуальных 3D-моделей разрабатываемого изделия на ранних стадиях проектирования, осуществлять поверочный расчёт и анализ уже спроектированных изделий, что позволяет избежать натурального моделирования, испытания реальных образцов и существенно сократить как время, так и стоимость разработок.

Технологии удаленного управления техническими объектами.

Шейх Эль Нажжарин М., Гурский Н.Н.,
Белорусский национальный технический университет.

При разработке алгоритмов и систем управления большегрузными автомобилями необходимо предусмотреть возможность удалённого управления контролируруемыми параметрами. Данная задача является достаточно актуальной, так как позволяет проектировать большегрузные автомобили, управляемые дистанционно без участия водителя, находящегося в кабине автомобиля.

В связи с тем, что разработать алгоритмы, которые позволяли бы предусмотреть все возможные дорожные ситуации при управлении автомобилем без участия человека, достаточно сложно, разрабатываемая система должна предоставлять оператору возможность дистанционного управления большегрузным автомобилем в наиболее критических ситуациях.

Дистанционное управление позволит одному оператору управлять сразу несколькими автомобилями и разработать наиболее оптимальный маршрут для каждого из них, а данные о передвижении всех автомобилей будут передаваться на центральный сервер. Анализируя местоположение и скорость каждого автомобиля в управляемом комплексе, возникает возможность скорректировать движение автомобилей таким образом, чтобы они не приближались друг к другу во время движения.

Для решения поставленной задачи все автомобили и центральный сервер должны быть оборудованы переносными GSM-модулями, позволяющими осуществлять связь по радиоканалу стандарта IEEE 802.15.4 (2.4 ГГц). Также каждый автомобиль должен быть оборудован микроконтроллером на базе процессора, например, ARM и специальными датчиками: системой видеонаблюдения, позволяющей оператору оценить ситуацию на дороге; акселерометром, контролирующим ускорение автомобиля; гироскопом, информирующим об опасном наклоне автомобиля; ультразвуковыми датчиками для определения расстояния до ближайших объектов; датчиками контроля температуры для предотвращения перегрева двигателя, тормозных дисков и других систем автомобиля, а также другими датчиками, позволяющими оператору получить наиболее оптимальную информацию о состоянии всех систем автомобиля. Система управления может быть реализована по принципу «клиент-сервер» с использованием протокола UDP.

В работе рассматривается технология удаленного управления.

От паттернов к посреднику и промежуточному слою.

Зевалич А. Ю, Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из характерных черт шаблонов программирования «банды четырёх», описанных в книге «Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования», является обеспечение слабой связанности между объектами, которые взаимодействуют между собой.

Используя эту особенность, разработчик создает промежуточный слой между взаимодействующими объектами, который называется слоем абстрагирования (или уровнем абстракции). В свою очередь слой абстрагирования, как правило, состоит не из одного паттерна, а из некой их совокупности. Объединение паттернов «банды четырех» в уровни абстракции позволяет сформировать шаблоны более высокого уровня. Так называемые архитектурные шаблоны.

Ярким представителем архитектурных шаблонов, использующим уровень абстрагирования, является мульти-уровневая (или N-уровневая) архитектура, главный смысл которой состоит в том, чтобы уйти от деталей реализации конкретного множества функций, что ведет к разделению логики программы, простоте понимания кода и большей гибкости разрабатываемого продукта.

N-уровневая архитектура выделяет такие слои как: представительский уровень, прикладной уровень (обработка запросов), уровень бизнес-логики, инфраструктурный уровень (доступ к данным и(или) сетевым транспортом и др.). Примером использования шаблонов программирования «банды четырех» для реализации высокоуровневого шаблона N-уровневой архитектуры может служить паттерн Model-View-Controller.

Наиболее типичная реализация отделяет вид от модели путем установления между ними протокола взаимодействия, используя аппарат событий (подписка/оповещение). При каждом изменении внутренних данных в модели она оповещает все зависящие от неё представления, и представление обновляется. Для этого используется шаблон «наблюдатель». При обработке реакции пользователя вид выбирает, в зависимости от нужной реакции, нужный контроллер, который обеспечит ту или иную связь с моделью. Для этого используется шаблон «стратегия», или вместо этого может быть модификация с использованием шаблона «команда». А для возможности однотипного обращения с подобъектами сложносоставного иерархического вида может использоваться шаблон «компоновщик».

Особенности обработки диагностических данных в бортовой системе мониторинга технического состояния приводов энергонасыщенной сельскохозяйственной технике

Калиниченко А.С., Басинюк В.Л.*, Лапанович И.О., Мардосевич Е.И.*

Белорусский национальный технический университет,

* Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Наличие мобильной системы мониторинга современной энергонасыщенной сельскохозяйственной техники не только оказывает существенное влияние не только на их конкурентоспособность, но и в ряде случаев является одним из основных факторов обеспечения соответствия мировому уровню параметров безотказности, ресурса и экологической безопасности.

При разработке алгоритмов съема, обработки и представления диагностических данных, как правило, решается ряд технико-экономических задач, к наиболее важным из которых можно отнести:

– предотвращение внезапных отказов, приводящих к угрозе возникновения травм, серьезным поломкам и экологическому загрязнению окружающей среды;

– формирование и постоянное пополнение базы данных о реальных условиях эксплуатации и прогнозируемом остаточном ресурсе основных компонентов приводных систем, позволяющем перейти от плановых ремонтов к обслуживанию и ремонту по состоянию;

– разработку методик анализа диагностических данных и выбора на его основе технически и экономически целесообразных вариантов использования имеющегося парка сельскохозяйственной техники.

К важным особенностям процесса съема диагностической информации с частичным или полным использованием для этого компьютеризированных серийно выпускаемых компонентов (современных двигателей внутреннего сгорания типа Duetz, комплексных электронных систем управления трансмиссией и т.п.) можно отнести регистрацию поступающей с них в бортовую систему мониторинга значительных объемов диагностической информации, имеющих существенно различающиеся параметры сигнала, частоты дискретизации, кодирование и т.п. Поэтому уже на стадии регистрации и предварительной обработки этой информации целесообразна их селекция, «сжатие» до минимально необходимого с позиций информативности объемов и систематизация. При этом в процессе создания алгоритмов предварительной обработки диагностических данных необходимо учитывать возможности

последующего использования обработанной информации при решении как существующих, так и перспективных задач.

УДК 621.833:681.518.5

Мобильная система мониторинга технического состояния приводных систем тракторов

Калиниченко А.С., Басинюк В.Л.*, Лапанович И.О., Мардосевич Е.И.*

Белорусский национальный технический университет,

* Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Постоянное совершенствование систем мониторинга современной энергонасыщенной сельскохозяйственной техники можно отнести к одной из основных тенденций ее развития, направленной на решения таких принципиально важных задач, как конкурентоспособность и надежность. При этом постоянно расширяется и качественно меняется содержание круга задач, решаемых этими системами. Более того, постоянно ускоряющийся процесс создания новых моделей и существенной модернизации существующих конструкций, как правило, уже не позволяет проводить в полном объеме стендовые и полигонные испытания и объективно сложившейся тенденцией становится частичное возложение решения отдельных задач этих испытаний на систему мобильного мониторинга, регистрирующую режимы функционирования и ряд иных, принципиально важных для окончательной доводки изделия, параметров в реальных условиях эксплуатации опытно-промышленных образцов. Одновременно с этим, как правило, предусматриваются насколько это возможно вопросы предотвращения катастрофических отказов, повышения безопасности и формирования баз данных о реальных параметрах нагруженности, включая тепловую, основных агрегатов и узлов, а также функционирования их в составе объекта и в условиях воздействия внешней среды и действий оператора.

В настоящее время такие же требования предъявляются к мониторингу основных режимов и параметров функционирования разработчиками наиболее сложных компонентов энергонасыщенной техники, в частности, таких, как двигатели внутреннего сгорания и трансмиссии. Это связано, в основном, не только и не столько с решением приведенных выше задач, сколько с постоянным совершенствованием и компьютеризацией систем управления этими компонентами с целью оптимизации режимов их функционирования. Однако использование в том или ином объеме получаемой этими системами диагностической информации позволяет существенно упростить задачу создания бортовых систем мониторинга сельскохозяйственной техники, повысить достоверность и

информативность регистрируемой ею диагностической информации и в целом существенно увеличить эффективность использования бортовой системы мониторинга.

УДК 681.513.5

**Влияние коэффициентов оптимального регулятора, полученного
модифицированным принципом максимума,
на разгон и торможение ЭПТ**

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

В качестве прикладной задачи рассматривается задача позиционного управления электроприводом постоянного тока по критерию минимума электрических потерь с учетом локальных ограничений.

Методика применения модифицированного принципа максимума описана в [1]. Уравнение для оптимального тока представлено в виде:

$$i^* = \hat{\mu}_n(\alpha, v) \pm \sqrt{\hat{\mu}_n(\alpha, v) + \psi_1 + \psi_2 v}. \quad (1)$$

Для моделирования работы системы управления с регулятором (1), необходимо выбрать начальные значения для «коэффициентов» ψ_1 и ψ_2 .

Поскольку в начальный момент времени $v=0$, то начальное значение ψ_2 может быть практически любым, и (1) принимает следующий вид

$$i^* = \mu_n \pm \sqrt{\mu_n + \psi_1}. \quad (2)$$

Выбор начального значения ψ_1 производится с учетом ограничений, накладываемых на модель ЭПТ. Необходимо отметить, что начальное значение ψ_1 выбирается только один раз, а значение ψ_2 затем рассчитывается на каждом шаге итерационного вычислительного процесса. Переключение на торможение происходит при скорости $v = v_n$, определяемой из условия $\hat{\mu}_n(\alpha, v) + \psi_1 + \psi_2 v = 0$. Начальные значения коэффициентов ψ_1 и ψ_2 задаются так, чтобы выполнялись граничные условия.

Литература:

1. Новиков, С.О. Проектирование оптимального по потерям регулятора для управления ЭПТ с переменным моментом инерции в системе программирования CoDeSys / С.О. Новиков, А.В. Пашенко // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ: Энергетика. 2009. – № 3. – С. 28–34.

**Экспериментальные исследования методов реализации
многопоточных приложений на многоядерной системе**

Карасик О.Н., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Создание эффективного многопоточного приложения во многом зависит не только от используемого алгоритма и его эффективной реализации программистом, но также от других факторов, таких как:

1. знания об аппаратной архитектуре и их использования;
2. знания об особенностях алгоритма и эффективном распределении потоков выполнения между логическими процессорами многоядерной системы.

Несмотря на очевидность вышеперечисленных факторов, их использование в реальных условиях остается довольно редким из-за высокой сложности реализации и больших объемах времени, необходимого для программирования задачи, что не всегда возможно в условиях коммерческих разработок, а также из-за отсутствия четкой уверенности в получении существенного выигрыша в производительности и отсутствия обоснованности дополнительных затрат.

С целью исследования и проверки влияния вышеперечисленных факторов на производительность и эффективность реализации многопоточных приложения для многоядерных систем были проведены эксперименты с использованием программы для решения системы линейных алгебраических уравнений блочно-параллельными методами Гаусса (метод горизонтальных полос и метод горизонтальных циклических полос). Эксперименты проведены на сервере с двумя процессорами Intel®Xeon®E5500@2.40GHz и 24 гигабайтами оперативной памяти, на котором установлена операционная система Windows Server 2008 R2 Standard (64 bit). Результаты экспериментов показали, что многопоточные реализации, учитывающие знания об аппаратной архитектуре, способны давать выигрыш в производительности от 47% для метода горизонтальных полос до 91% для метода горизонтальных циклических полос по сравнению с многопоточными реализациями, не использующими особенностей аппаратной архитектуры. Использование знаний об особенностях алгоритмов в купе со знаниями об аппаратной части оказывает существенное влияние на распределение потоков выполнения между процессорами, учитывает неоднородность аппаратной архитектуры, улучшает результаты до 65% для метода горизонтальных полос и до 99% для метода горизонтальных циклических полос. Это

свидетельствует о целесообразности учета вышеперечисленных факторов при разработке многопоточных приложений.

УДК 681.3

Анализ электронных учебно-методических комплексов

Попова Ю.Б., Бураковский А.А.

Белорусский национальный технический университет

Согласно документа «Положение об электронном учебно-методическом комплексе по дисциплине для высших учебных заведений Республики Беларусь» от 29.12.2008, электронный учебно-методический комплекс по дисциплине (ЭУМК) – это программный комплекс, включающий систематизированные учебные, научные и методические материалы по определенной учебной дисциплине, методику ее изучения средствами информационно-коммуникационных технологий, и обеспечивающий условия для осуществления различных видов учебной деятельности.

Понятие ЭУМК характерно и для высших учебных заведений Российской Федерации (РФ). Отличительной чертой ЭУМК РФ является отсутствие единых требований к их разработке. В РФ ЭУМК определяется как программный мультимедиа-продукт учебного назначения, обеспечивающий непрерывность и полноту дидактического цикла процесса обучения и содержащий организационные и систематизированные теоретические, практические, контролирующие материалы, построенные на принципах интерактивности, адаптивности, информационной открытости и дистанционности. Структура и состав ЭУМК РФ определяется в каждом учебном заведении индивидуально.

Сравнительный анализ существующих ЭУМК РФ и Беларуси показал практически полное сходство структур ЭУМК двух стран.

Наряду с понятием ЭУМК в нашей стране и за рубежом используются *системы управления обучением* (англ. Learning Management System, LMS). В результате анализа определения и требований к LMS были замечены концептуальные различия, которые выражаются в том, что ЭУМК – это единица обучения, на которую направлены усилия преподаватели и внимание студентов, а LMS – это система для процесса обучения, где могут использоваться единицы наподобие ЭУМК.

На данный момент существует ряд проблем при создании и использовании ЭУМК: разрозненность, различие интерфейсов, различие способов представления, отсутствие единой оболочки для создания и использования ЭУМК.

Возможным решением существующих проблем для ЭУМК может стать программная оболочка для создания ЭУМК в режиме реального времени, объединенная в единую систему ЭУМК вуза или факультета, связывающая ЭУМК по всем дисциплинам, позволяющая отслеживать успеваемость студента и содержащая средства общения студента и преподавателя.

УДК 681.3

Автоматизация тестирования с использованием Selenium 2.0

Попова Ю.Б., Франкевич В.И.

Белорусский национальный технический университет

Selenium – это инструмент для автоматизации управления браузерами. Наиболее распространённой областью применения Selenium является автоматизация тестирования Web-приложений. Производители разрабатывают браузеры с учетом тесной интеграции с Selenium, а в некоторых случаях реализуют встроенную поддержку Selenium в браузере. Selenium поддерживает настольные и мобильные браузеры. Selenium позволяет разрабатывать различные сценарии автоматизации, используя большинство популярных языков программирования.

На данный момент последней значимой версией Selenium является Selenium 2.0, называемый также Selenium WebDriver, который содержит множество возможностей и улучшений по сравнению с Selenium 1. Основное изменение в новой версии инструмента – это интеграция WebDriver API, альтернативного, упрощенного прикладного программного интерфейса, который избавлен от недостатков, характерных для Selenium 1. WebDriver задумывался таким образом, чтобы иметь удобный программный интерфейс (API), позволяющий повысить читаемость и упростить поддержку тестов, более легкий для изучения и понимания, чем Selenium RC (1.0) API.

При автоматизации тестирования в больших проектах WebDriver API не используется напрямую, а обворачивается в различные методы и классы; таким образом, между тестами и кодом, использующим WebDriver API, может быть несколько слоев фреймворка автоматизации. Из-за того, что данный API очень абстрактный, часто для взаимодействия с элементами страниц добавляются отдельные классы – декораторы, упрощающие работу с такими элементами как: кнопка, ссылка, выпадающий список, группа радио-кнопок и т.п. Кроме того, довольно популярным решением является шаблон проектирования “объект страницы” (Page Object), который упрощает поддержку написанных тестов и уменьшает количество дублируемого кода. Большим преимуществом является то, что при изменении дизайна пользовательского интерфейса,

нужно исправлять не сами тесты, а только лишь код внутри класса “Page Object”.

Фреймворки для тестирования не строятся только на одном WebDriver; в большинстве случаев Selenium используются в сочетании с xUnit-фреймворками (JUnit, NUnit и др.), средствами для сборки проектов (MSBuild, Ant, Maven и пр.) и средствами для организации непрерывной интеграции (Jenkins, TeamCity и др.).

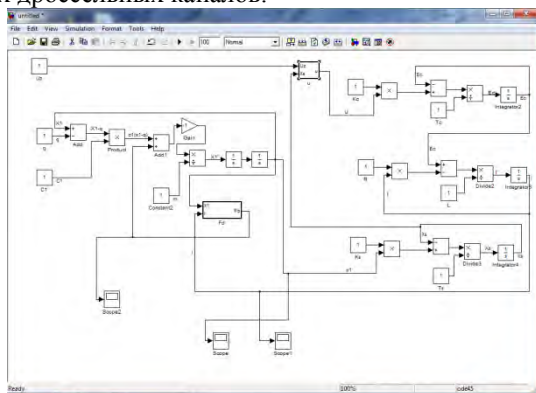
УДК 629.11.032

Моделирование работы магнито-реологического амортизатора в среде разработки MATLAB+Simulink

Прибыльская Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Созданные к настоящему времени пассивные средства гашения вибрации с использованием резино-металлических виброопор, гидравлических амортизаторов, пружин к настоящему времени исчерпали свой потенциал. Возникла проблема поиска неординарных технических решений в области виброзащиты машин. Это направление связано с концепцией создания амортизирующих устройств, предполагающих использование для гашения вибраций иных физических принципов, в частности, совмещение в одной конструкции и элементов структурного демпфирования и элементов диссипирующих энергию колебаний в средах с изменяющимися реологическими свойствами с помощью специально организованных дроссельных каналов.



Для анализа работы, моделирования и проектирования таких систем удобно использовать среду разработки MATLAB+Simulink

Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Теория синтеза цифровых систем развивается параллельно с совершенствованием кремниевых технологий в нанoeлектронике. Сокращение проектных норм и повышение степени интеграции компонентов на кристалле увеличивает сложность реализуемых цифровых систем, повышает их производительность, способствует созданию новых методов проектирования. Ключевым принципом проектирования систем в условиях ограниченных ресурсов на кристалле является повторное использование оборудования. Этот принцип использовался с момента появления первых электронных цифровых устройств и привел к созданию архитектур, которые наряду с операционно-преобразующими частями и элементами памяти содержат такой важный компонент как коммутационный блок. Такие архитектуры сильно сериализуют вычисления и затрудняют применение параллельных и потоковых методов обработки данных. Большинство известных к настоящему времени моделей и методов проектирования цифровых систем ориентированы на синтез и оптимизацию именно этих архитектур с повторным использованием оборудования.

Современные цифровые системы обработки аудио- и видеоинформации, обработки сигналов, криптографической защиты информации и др. должны обладать высокой производительностью и быть максимально распараллеленными и оптимизированными. Они должны быть системами потоковой обработки данных, минимально допускающими повторное использование оборудования. С учетом этих требований в докладе предлагается другая плоскость и соответствующий метод оптимизации цифровых систем. Он базируется на модели частично определенного алгоритма и заключается в выявлении области определенности (или неопределенности) каждой операции, входящей в описание алгоритма, и последующей минимизации реализации операции методами частичной логики и частичных диаграмм решений. Например, в операторе if-then-else операции, входящие в then-часть, определены лишь на той области булева пространства, на которой тестовое выражение имеет значение истина, а операции, входящие в else-часть, определены лишь на области, на которой тестовое выражение имеет значение «ложь». Точно так же, операции, входящие в тело цикла while, определены лишь на области, на которой тестовое выражение цикла имеет значение «истина».

Операции, входящие во вложенные управляющие структуры, имеют еще меньшую степень определенности.

УДК 004.65

Облачные вычисления в сфере образования

Разорёнов Н.А., Стальбовская Н.И.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день учреждения образования неразрывно связаны с информационными технологиями, без которых они уже не могут эффективно функционировать. Хорошее программное обеспечение, компьютерная техника и привлечение квалифицированных специалистов требуют значительных финансовых затрат, которые, зачастую, слишком велики для белорусских учреждений образования.

Широкие возможности использования облачных вычислений все чаще предоставляют возможность студентам и преподавателям, использовать требуемые ресурсы и услуги через Интернет, при этом зачастую они оказываются более доступными и надежными, чем их локальный аналог.

Для многих образовательных учреждений первым шагом в использовании облачных вычислений была передача им поддержки электронной почты (аутсорсинг) для своих учащихся (Slclater).

Другой вариант использования облачных услуг, который начинает распространяться в сфере образования, – это перемещение в «облако» используемых учреждениями систем управления обучением (LMS, LearningManagementSystems).

Из преимуществ облачных вычислений для учреждений образования и студентов можно выделить следующие: экономия средств, увеличение доступности, уменьшение воздействия на окружающую среду, концентрация на главных задачах, удовлетворение потребностей конечного пользователя.

Увеличение использования низкоуровневых облачных услуг в образовании, например, для хранения данных, представляется неизбежным, особенно в случаях, когда надежность хранения данных не является первостепенной проблемой, например, для репозиториев учебных материалов. Хотя некоторые вузы и продолжают размещать у себя вычислительные ресурсы для исследовательских и образовательных целей, это требует расходов, без которых большинство образовательных учреждений предпочло бы обойтись.

Программное обеспечение для обработки и анализа данных

Разорёнова Т.Р. Разорёнов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Интерес к инструментам сбора, обработки, управления и анализа больших данных (Big Data) проявляют едва ли не все ведущие ИТ-компании.

Объектом исследования являются большие данные, которые накапливаются при осуществлении деятельности различных организаций, а на основании их анализа принимаются управленческие решения. Предметом исследования являются компьютерные технологии, позволяющие качественно и своевременно обрабатывать накопленную информацию.

Программное обеспечение Business Intelligence (BI) и Data Mining как раз и призваны собирать такого рода информацию, аккумулировать и поставлять ее туда, где эта информация сейчас необходима.

Современные системы BI состоят из компонент:

- 1) корпоративные хранилища данных (ХД), консолидирующие в себе всю существенную информацию о работе организации, выверенную, очищенную, подготовленную для последующего удобного использования;
- 2) средства ETL (Extraction, Transformation, Loading), обеспечивающие извлечение данных из многочисленных систем-«источников», преобразование, очистку и загрузку этих данных в ХД;
- 3) средства доступа к данным и их визуализации (это те инструменты, с которыми непосредственно работают конечные пользователи).

Кроме этих основных компонент, важными составляющими BI-систем являются: модели данных ХД, (оптимизированные типовые структуры базы данных ХД для той или иной отрасли бизнеса); средства управления метаданными BI-системы; сервера OLAP-анализа и др.

Существует множество разнообразных методик анализа массивов данных, в основе которых лежит инструментарий, заимствованный из статистики и информатики. В отличие от других технологий поддержки принятия решений Data Mining обладает более высокой степенью интеллектуальности, позволяет автоматизировать анализ данных и работать в любых масштабах. Использование больших данных ведет к существенному улучшению процессов принятия решений, положительно отражается на конкурентоспособности компаний и упрощает управление рисками. К прогрессивным методам визуализации анализа больших данных относятся облако тегов, кластерграммы, исторический и пространственный потоки.

Технологии Big Data успешно реализуются в различных индустриях: энергетика, медицина, банки, страхование, маркетинг, ЖКХ и др.

УДК 681.513.5

Работа с протоколом HTTP на языке PHP

Русак Ю.П., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

При создании web-приложений на языке PHP зачастую требуется работать напрямую с удаленным сервером по протоколу HTTP для получения и отправки данных.

HTTP (HyperText Transfer Protocol, протокол передачи гипертекста) – это протокол прикладного уровня; для отправки HTTP запросов и обработки ответов язык PHP предусматривает как встроенные функции, так и более низкоуровневый подход с генерацией HTTP заголовков и отправкой их через tcp-сокеты.

Протокол HTTP реализует принцип запрос/ответ. Запрашивающая программа–клиент инициирует взаимодействие с отвечающей программой–сервером и посылает запрос, содержащий заголовки и непосредственно тело запроса.

С помощью сокетов на языке PHP можно реализовать как клиент, так и сервер HTTP. Реализация GET-запроса выглядит следующим образом:

```
$sock = socket_create(AF_INET, SOCK_STREAM, SOL_TCP) or  
exit("Unable to create socket");  
socket_connect($sock, 'example.com', 80);  
socket_write($sock, "GET / HTTP/1.1\r\n");  
socket_write($sock, "Host: example.com\r\n");  
socket_write($sock, "Connection: Close\r\n\r\n");  
$buff = socket_read($sock, 1024);  
socket_close($sock);
```

Здесь создается TCP-сокеты, открывается соединение с сервером на порту 80 и отсылается запрос. HTTP-заголовки при отправке разделяются переводами каретки. После отправки запроса происходит считывание ответа в буфер размером 1024 байт, размер буфера устанавливается произвольно. Затем сокет закрывается и соединение с сервером разрывается.

С помощью сокетов можно реализовать GET, POST, HEAD запросы, а также другие более редкие запросы как PUT и DELETE. Также, задав сокету режим прослушивания входящих соединений, мы можем принимать входящие подключения от удаленных клиентов и реализовать HTTP-сервер.

Постпроцессор: основные характеристики и области применения

Фёдоров А.А., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

Современное оборудование с ЧПУ — это сложные технические системы, включающие в себя механические, электромеханические, гидравлические, электронные и другие узлы. Разработчику постпроцессора, однако, нет необходимости досконально изучать все блоки этого оборудования; поэтому в дальнейшем рассмотрим оборудование с ЧПУ, касаясь лишь существенных, с точки зрения разработчика постпроцессора, сторон. Постпроцессор занимает промежуточное звено между решателем САПР и оборудованием с ЧПУ. Именно из-за огромного многообразия ЧПУ, разработчики САПР, в течение многих лет (начиная с 60-х годов) создания своих продуктов, пришли к выводу, что не нужно напрямую выводить программы для ЧПУ. Эту работу следует предоставить отдельным программам — так называемым постпроцессорам. А язык, шаблон, массив всех выводимых, рассчитанных данных по траектории движения инструмента — выводить в специальном общепринятом формате (промежуточном языке) АРТ\CLDATA, который постпроцессор должен читать. Функции, выполняемые постпроцессором, весьма многообразны и выходят далеко за рамки простого кодирования в G-код. Для удобства настройки постпроцессора на конкретный станок, постпроцессор разделен на две части: постпроцессирующий модуль и шаблон постпроцессора.

Постпроцессирующий модуль (Post executable) это исполняемый файл (.EXE или .DLL в Windows), который запускается при старте постпроцессора. Он загружает управляющую траекторию, полученную из САМ-системы, и, используя шаблон постпроцессора, генерирует управляющую программу. Постпроцессоры бывают двух типов: встроенные в САМ-систему и внешние по отношению к ней. Попытки полностью уйти от постпроцессоров предпринимались уже неоднократно. Основной причиной невозможности уйти от постпроцессоров — законы рынка. Современные стойки ЧПУ не работают с файлами в форматах АРТ и CLDATA, а требуют программу на языке G- и M-команд. Таковую программу можно получить только после постпроцессорирования. Постпроцессор, являющийся связующим звеном между обрабатывающим станком и средой разработки, должен быть неотъемлемой частью пакета САМ. С учетом ускоренного темпа развития металлообработки и машиностроения, в том числе металлорежущих станков, постпроцессоры являются приоритетным направлением в этой области.

Влияние конфигурации планировщика выполнения заданий на производительность grid-системы

Фролов О.М., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Существуют два способа увеличения производительности grid-системы: наращивание аппаратной части; оптимизация конфигурации программных компонентов на существующей аппаратуре. Если первый способ наращивает базовые средства за счет дополнительных материальных затрат, то второй способ не требует увеличения капитальных вложений. Единственное требование для второго способа – это изучение вариантов использования конфигурируемого ресурса и выявление критических параметров, требующих дополнительной реконфигурации.

В момент установки планировщика задач на grid-системе он обычно разворачиваются со стандартной конфигурацией. Этого вполне достаточно для работы планировщика и системы, однако, сокращение потребления аппаратных ресурсов требует поиска оптимальной конфигурации.

Оптимизация конфигурации производилась на grid-системе с планировщиком SGE. Тестовый сценарий – запуск одновременно 50 тестовых задач на выполнение. Тест длился 1 час. Задачи выполняются на развернутом кластере в Amazonclouds установленным GlobusToolkit. Конфигурация узлов – 600МБ памяти, процессоры - Intel(R) Xeon(R) CPU E5430@2.66GHz с выходом в сеть со средней скоростью доступа 23.2 MB/s.

Реконфигурирование планировщика SGE влияет на все основные параметры системы, начиная от потребления времени CPU и памяти, и заканчивая включением/отключением дополнительных инфраструктурных элементов, которые позволяют производить дополнительный сбор информации о задаче во время её выполнения.

Во время проведения экспериментов изменялись параметры, влияющие на использование CPU, параметры менеджера очереди задач и параметры планировщика. Получены следующие результаты:

- 1) сокращение используемой памяти на 12% (290 против 330 MB);
- 2) увеличение производительности на 16,5% с сохранением потребления CPU (2289 против 2100 задач, рост на 9%);
- 3) при увеличении порога потребления CPU с 1.75 до 2.5 число обработанных задач увеличилось на 63% (3441 против 2100); отрицательным эффектом явилось увеличение потребления CPU на 32% (21.9% для 3441 задач против 16.5 % для 2100 задач).

Использование блока DMA в системе на кристалле Zynq-7000

Щербаков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Система на кристалле Zynq-7000, разработанная фирмой Xilinx и вышедшая в производство в 2011 году, объединяет в одном корпусе два высокопроизводительных 32-х разрядных процессорных ядра Cortex-A9 и программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) семейства Artix и Kintex. Процессорные ядра Cortex-A9 могут работать на тактовой частоте до 1 GHz. Наличие в процессоре гигабитного интерфейса Ethernet позволяет передавать большие объемы данных, а ПЛИС использовать в качестве аппаратного ускорителя. Наибольший прирост производительности возможен при реализации эффективно аппаратно-распараллеливаемых алгоритмов. При этом важно решить задачу организации высокоскоростного обмена данными внутри системы на кристалле между ядрами Cortex-A9 и ПЛИС.

Для взаимного обмена данными между процессорными ядрами и ПЛИС в системе Zynq-7000 организованы каналы: Accelerator Coherency Port (ACP), General Port (GP), High Performance Port (HP). Потенциально максимальной производительностью обладает порт ACP, т.к. для получения данных использует обращение непосредственно к кэш-памяти процессора. Порт HP для получения данных использует обращение к основной памяти, что вносит дополнительные временные задержки.

При необходимости передачи больших объемов данных от процессорных ядер Cortex-A9 в ПЛИС и обратно можно использовать предоставляемый разработчиком IP блок AXI Direct Memory Access (DMA). Этот блок подключается либо к порту ACP, либо к порту HP и позволяет предавать массив данных в разработанный пользователем на языке VHDL или Verilog модуль в ПЛИС по протоколу AXI-Stream.

Шина, построенная по протоколу AXI-Stream в минимальной конфигурации, объединяет в себе сигналы передачи данных TDATA, сигнал готовности передачи TREADY, сигнал подтверждение данных TVALID и сигнал окончания передачи TLAST. Наличие перечисленных сигнальных линий позволяет выполнять передачу данных в одном направлении в пакетном режиме с установлением процедуры проверки готовности передачи данных.

Высокая скорость обмена данными между процессорным ядром Cortex-A9 и блоком ПЛИС позволяет переместить вычисление сложных алгоритмов в аппаратную часть, реализованную на языках описания

аппаратуры. Высокого прироста производительности можно добиться в задачах обработки видеопотока, шифрования, спектральном анализе.

УДК 004.65

Документоориентированная СУБД MongoDB

Шутик А.В., Ковальков А.Т.

Белорусский национальный технический университет

MongoDB реализует новый подход к построению баз данных, где нет таблиц, схем, запросов SQL, внешних ключей и многих других вещей, которые присущи объектно-реляционным базам данных.

В отличие от реляционных баз данных MongoDB предлагает документо-ориентированную модель данных, благодаря чему MongoDB работает быстрее, обладает лучшей масштабируемостью, ее легче использовать.

Вся система MongoDB может представлять не только одну базу данных, находящуюся на одном физическом сервере. Функциональность MongoDB позволяет расположить несколько баз данных на нескольких физических серверах, и эти базы данных смогут легко обмениваться данными и сохранять целостность.

MongoDB написана на C++, поэтому ее легко портировать на самые разные платформы. MongoDB может быть развернута на платформах Windows, Linux, MacOS, Solaris. Можно также загрузить исходный код и самому скомпилировать MongoDB, но рекомендуется использовать библиотеки с офсайта.

Если реляционные базы данных хранят строки, то MongoDB хранит документы. В отличие от строк документы могут хранить сложную по структуре информацию. Документ можно представить как хранилище ключей и значений.

Если в традиционном мире SQL есть таблицы, то в мире MongoDB есть коллекции. И если в реляционных БД таблицы хранят однотипные жестко структурированные объекты, то в коллекции могут содержать самые разные объекты, имеющие различную структуру и различный набор свойств.

**Литейное производство
черных и цветных
металлов**

Применение ультрадисперсных порошков соединений активных элементов для микролегирования железоуглеродистых сплавов

Слуцкий А.Г., Калининченко А.С., Шейнерт В.А., Амер Мохамед Мефтах,
Горбель И.А.

Белорусский национальный технический университет

Ранее проведенные исследования показали перспективность применения в составе лигатур дисперсных соединений активных элементов (иттрий, титан, бор и др.) По разработанной методике изготовлены брикеты на основе олова (металл-протектора) с добавкой ультрадисперсного порошка оксида иттрия. Затем методом выдавливания получена лигатура в виде прутка диаметром 3 мм.

Испытания полученных образцов лигатуры осуществляли в лабораторных условиях при получении высокоуглеродистого сплава железа. Плавка чугуна осуществлялась в индукционной тигельной печи ИСТ006 с кислой футеровкой с последующей его ковшевой обработкой за счет добавок лигатуры. Для исследования химического состава, микроструктуры, механических и технологических свойств отливались образцы сплава.

Таблица 1 – Результаты испытаний лигатуры

№ опыта	Добавки Микро	Химический состав			Микроструктура		Механические и технологические свойства	
		C	Si	Sn	Графит	Металлич. основа	Твердость	Отбел, мм
1	Исходный чугун	3.49	1.46	0.012	ПГ д45	П98Пд1,0	217	17,0
2	0,15 Sn	3.48	1.75	0.141	ПГ д25	П(ФО)Пд0,5	229	16,0
3	0,15 Sn +итт-рий	3.50	1.44	0.148	ПГ д45	П96Пд1,0	219	12,0

Установлено, что при небольших добавках чистого олова химический состав базового сплава по углероду и кремнию практически не изменился. В структуре по сравнению с исходным сплавом увеличилось не только количество перлита, но и его дисперсность.

Наличие в лигатуре дисперсных частиц оксида иттрия привело к усилению графитизирующего эффекта в процессе кристаллизации чугуна, что отразилось на характере распределении, размерах и количестве графитной фазы. При этом заметно снизилась склонность сплава к кристаллизации по метастабильной диаграмме. Так, если в чугуне, легированном одним оловом, глубина отбела составила 16мм, то при добавках лигатуры, дополнительно содержащей оксид иттрия, величина этого показателя снизилась до 12 мм. Таким образом, проведенные

лабораторные испытания показали перспективность применения в составе лигатур дисперсных частиц соединения активных элементов.

УДК 669.018.5:620.187

Исследование кристаллографической структуры и шунгитовых пород

Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Ломоносов В.А. *, Чипурко З.Н.,
Григорьев С.В.

Белорусский национальный технический университет

*Белорусский государственный университет им. В.И. Ленина

В последнее время в связи с развитием аналитических и исследовательских методов, одной из важнейших задач является разработка многоуровневой структурной систематики соединений. Однако структурные исследования минеральных форм углеродистого вещества являются весьма сложными и, подчас неоднозначными, вследствие многообразия типов связи атомов углерода, структурной гетерогенности, наличия надмолекулярных образований и т.п.

В большинстве работ, посвященных исследованию шунгитовых пород, углерод декларируется как «шунгитовый углерод». Однако в базе данных по рентгенофазовому анализу на сегодняшний день данная кристаллографическая фаза не описана.

Механизм формирования кристаллографических модификаций углеродного вещества достаточно сложный и определяется рядом факторов: соотношение давление – температура, агрегатное состояние среды кристаллизации и наличие физических полей.

Целью данной работы являлось выполнение исследования по изучению распределения по поверхности шунгита углерода четырехзондовым методом прямых электроизмерений; методами рентгенофазового и элементного анализа определяли наиболее характерные его кристаллографические фазы и их соотношение.

При проведении рентгенофазового анализа установлено, что в представленных для изучения образцах углерод содержится в виде хорошо окристаллизованной кристаллографической фазы.

Данная фаза характеризуется как графитоподобная модификация Н-2; совпадение с учетом расположения характеристических линий и их интенсивностей составляет 98,5 %.

Таким образом, проведенные исследования дают основание предположить, что углерод в составе шунгита находится в виде графитоподобных микрокристаллитов покрытых слоем аморфного углерода.

Термодинамический анализ процесса восстановления молибдена при получении лигатур

Слущкий А.Г., Зык Н.В., Сметкин В.А., Кулинич И.Л.
Белорусский национальный технический университет

В практике производства лигатур и ферросплавов широко используются различные восстановители (газы, углерод, а также металлы). Результаты расчётов равновесного состава газовой фазы на примере косвенного восстановления молибдена при температуре 1873 К приведены в Таблица 1.

Таблица 1 – Результаты термодинамических расчетов

№ п/п	Восстановительная реакция	$lgK = \frac{A}{T} + B$	lgK_1	K_1	Количество восстановителя CO, %
1	$MoO_3 + 3CO = Mo + 3CO_2$	$lgK_1 = -\frac{5364}{T} + 0,01$	2,87	$1,5 \cdot 10^{-3}$	99,8

Установлено, что для успешного протекания восстановительного процесса требуется около 100% окиси углерода, что в реальных условиях создать невозможно. В металлургии широко используют технологию восстановления металлов твердым углеродом. Расчетным путем подтверждено, что температура начала восстановления молибдена углеродом достаточно высокая и составляет 1800 К. Поэтому одним из способов извлечения данного металла является металлотермический. Расчеты показали, что при восстановлении чистого молибдена термичность смеси достаточно высокая и составляет 4700 кал/г и при проведении плавки следует ожидать очень бурной реакции, сопровождающей выбросами полученных продуктов за пределы тигля. Поэтому для снижения этого показателя расчетным путем обосновали дополнительное введение в состав смеси необходимого количества порошка железа. Это позволило существенно снизить термичность и за счет этого стабилизировать процесс восстановления молибдена, с металлургическим выходом по лигатуре более 90%. Однако в составе шлака были обнаружены корольки базового сплава в количестве до 5 %. Известно, что для получения компактного слитка при металлотермическом восстановлении необходимо обеспечить формирование по ходу процесса жидкоподвижного шлака. Экспериментально установлено, что добавки в состав восстановительной смеси оксида кальция, позволяют получать компактные слитки молибденсодержащей лигатуры с максимальным металлургическим выходом (95-97 %).

На основании выполненных термодинамических расчетов и лабораторных экспериментов установлено, что предпочтительным вариантом восстановления молибдена из оксидной фазы при получении лигатур является алюминотермический процесс. При этом подобранный

состав смеси позволяет вести восстановительную плавку, обеспечивающую максимальный металлургический выход по лигатуре.

УДК 541.183

Свойства сорбционных материалов на основе шунгитовых пород зажогинского месторождения

Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Чипурко З.Н., Панасюгин С.А.
Белорусский национальный технический университет

Методами электронной микроскопии, микронзондового, рентгенофазового и элементного анализа проведены исследования по изучению распределения по поверхности шунгита химических элементов, определены наиболее характерные площадки, на которых определено соотношение кристаллографических фаз. Изучены зависимости изменения удельной поверхности и динамической сорбционной емкости от способа модифицирования.

При проведении исследований использовали дифрактометр ДРОН-3 (Cu-K-излучение), рентгено-флюорисцентный микроанализатор IncaEnergy 350 (OxfordInstruments, Англия) и сканирующий электронный микроскоп VegaIIIMV (Tescan, Чехия). Удельную поверхность ($S_{уд}$) образцов определяли по низкотемпературной сорбции азота на экспресс-анализаторе «Micromeritics 2200» (США). Концентрации органических веществ определяли на газовом хроматографе «Цвет 106».

В ходе исследований в исходном шунгите были определены следующие фазы: мусковит $K(Al_{1,91}, Fe_{0,09})(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$; оксид кремния SiO_2 ; ферро-силиций $FeSi$; карбонат кальция $CaCO_3$; пирит FeS_2 ; железа оксид Fe_2O_3 ; углерод графитоподобный (модификации Н-2); железо Fe ; вода H_2O .

В процессе модифицирования кислотного по данным рентгенофазового анализа практически полностью исчезает фаза мусковита.

Таким образом, установлено, что в процессе модифицирования по данным рентгенофазового анализа практически полностью исчезает мусковит. При этом удельная поверхность модифицированных образцов, по отношению к исходному минералу возрастает в 2–4 раза, при этом в динамических условиях сорбционные объемы по отношению сорбатам различной природы и размеров возрастают на 30 – 50 %.

Выбор компонентов разделительного покрытия для пресс-форм литья под давлением

Михальцов А.М., Пивоварчик А.А.*

Белорусский национальный технический университет,

*Гродненский государственный университет

Выполненный анализ условий работы разделительного покрытия в начальный момент извлечения отливки из пресс-формы показал, что наиболее проблемным местом являются металлические стержни, охватываемые затвердевающей отливкой. Это обусловлено двумя факторами: действием подпрессовки на затвердевающую отливку, а также усадкой сплава при его затвердевании и охлаждении. Наличие уклона на поверхности стержня снижает остроту вопроса, но не решает его полностью из-за наличия шероховатости.

Разделительное покрытие при нанесении его на поверхность пресс-формы, растекается и заполняет микронеровности поверхности оснастки, обусловленные шероховатостью. Эффективность работы разделительного покрытия будет зависеть от его способности противостоять термосиловому воздействию расплава, заполняющего полость пресс-формы. Поэтому в качестве основного компонента разделительного покрытия использовались тяжелые минеральные масла.

Для облегчения транспортировки их к поверхности пресс-формы приготавливались эмульсии типа масло в воде. Использование вододисперсионных разделительных покрытий на основе тяжелых минеральных масел показало их более низкую эффективность по сравнению с чистыми маслами.

В работе исследовалась газотворная способность и термическая устойчивость основных компонентов разделительных покрытий с целью подбора материалов, более полно отвечающих требованиям, предъявляемым к ним.

Наряду с минеральными маслами, жирами животного и растительного происхождения исследованию подвергались кремнийорганические соединения: синтетический каучук СКТВ-1 и полиметилсилоксановая жидкость ПМС300.

Установлено, что материалы на основе кремнийорганических соединений обладают гораздо более высокой термической устойчивостью, чем масла и жиры. С точки зрения возможного использования в качестве компонента разделительного покрытия предпочтение следует отдать полиметилсилоксановым жидкостям, так как они обладают существенными преимуществами перед СКТВ-1 (вязкость, возможность

прямого эмульгирования).

УДК 621.74

Контроль модифицирующей обработки расплава при производстве литых изделий из алюминиевых сплавов

Рафальский И.В., Морозов Д.С., Лущик П.Е.

Белорусский национальный технический университет

При производстве литых изделий большое значение имеет возможность постоянного контроля металлургических процессов выплавки и обработки сплавов в режиме реального времени. На практике для этих целей применяют системы на основе метода термического анализа. Благодаря применению современных микропроцессорных средств сбора и обработки данных точность и возможности экспрессных систем контроля выплавки сплавов значительно возросли. Это дает возможность предсказывать поведение сплава во время затвердевания, обеспечивать оперативными данными о химическом составе и предсказывать механические и физические свойства отливки, степень модифицирования сплава и производить корректировку расплава до его выпуска из печи.

Широкое применение систем экспрессного контроля металлургических процессов выплавки и обработки сплавов с использованием метода термического анализа сдерживается, тем не менее, из-за сложности обработки данных при выплавке сложнелегированных сплавов, трудностей определения и интерпретации параметров, используемых для оценки подлежащих контролю свойств, необходимости постоянной корректировки математических моделей при изменении технологических условий процессов выплавки и обработки расплава.

В работе проведена апробация разработанных компонентов программного обеспечения с использованием данных термического и акустического анализа для оценки степени модифицирования поршневого сплава АК12М2МгН после модифицирующей обработки жидким флюсом. Степень модифицирования сплава оценивали по результатам цифрового металлографического анализа технологических проб расплава, взятых после модифицирующей обработки жидким флюсом и соответствующих различному времени выдержки. Отбор проб расплава проводился для проведения термического анализа в разовые технологические стаканчики, а также в постоянную и разовые формы для получения U-образной технологической пробы для проведения акустического анализа. Полученные результаты подтвердили возможность использования данных термического и акустического анализа для контроля металлургических процессов выплавки и обработки сложнелегированных алюминиевых

сплавов в производственных условиях.

УДК 621.74

Адаптивная система для неразрушающего контроля, анализа данных и принятия решений в литейном производстве на основе параллельного процессора с программируемой наращиваемой архитектурой

Арабей А.В., Морозов Д.С., Лущик П.Е,
Белорусский национальный технический университет

Представлены структура, математическое и программное обеспечение системы адаптивного контроля качества литых изделий интеллектуального типа, реализующей нейро-нечеткую математическую модель вычислений, как совокупность методов, применяемых на различных стадиях мониторинга состояния технологического процесса приготовления сплава (выплавки и обработки расплава в плавильной печи).

В качестве основных методов мониторинга за состоянием технологического процесса приготовления сплава и получения из него литых изделий использованы термический анализ затвердевающей пробы расплава для определения параметров затвердевания и акустический анализ технологической U-образной пробы для определения частот собственных колебаний. Использование данных методов обеспечивает возможность проведения мониторинга с соблюдением требований активного неразрушающего контроля, при котором не только не должна быть нарушена целостность готовых литых изделий и их пригодность к дальнейшей эксплуатации, но и обеспечена возможность принятия оптимизирующих управленческих решений в процессе производства отливок. Допускается использование дополнительных методов мониторинга, обеспечивающих возможность сбора/регистрации, хранения и анализа признаков/параметров для описания объекта контроля и принятии решения о его состоянии, например, данных о химическом составе сплава.

Принципиальным отличием разработанной системы является наличие программного идентификатора (интерпретатора измеренных признаков/параметров), реализующего модель нейро-нечетких вычислений для принятия решений о состоянии объекта и дальнейшем управлении, и функции самонастройки модели с активной адаптацией входных параметров. Адаптация системы осуществляется на основе данных текущего (выборочного) контроля литых изделий или технологических проб, с использованием информационных массивов банка данных свойств (параметров) образцов литейных сплавов и литых изделий.

УДК 669.715

Ресурсосберегающий синтез силуминов с использованием вторичного алюминиевого металлосырья и кварцевого песка

Арабей А.В., Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие современной техники, создание новых машин и механизмов, повышение их эксплуатационных характеристик ведет к росту потребления алюминия и его сплавов, в том числе литейных. Возрастающие требования к повышению конкурентоспособности металлопродукции остро ставят вопросы перед производителями, связанные со снижением материальных и энергетических затрат на производство Al-Si сплавов. Частично задача ресурсосбережения может быть решена путем использования в составе шихты вторичного металлосырья. Однако при плавке силуминов с использованием алюминиевого лома необходимо постоянно проводить дошихтовку расплава необходимыми легирующими элементами и, прежде всего кристаллическим кремнием, который в Республике Беларусь является импортируемым материалом.

Для решения данной актуальной задачи необходим принципиально новый подход к технологии получения требуемого качества силуминов, позволяющей расширить ресурсную базу шихтовых материалов и сократить импорт кристаллического кремния. В качестве альтернативного источника кристаллического кремния для производства силуминов может быть использован доступный и широко используемый в литейном производстве материал – формовочный кварцевый песок, содержание оксида кремния в котором достигает 98 %.

За рубежом и в странах СНГ активно проводятся исследования о возможности использования кварцсодержащих материалов в процессе получения синтетических алюминиево-кремниевых сплавов. Однако предлагаемые способы предполагают использование специального оборудования или особых технологических операций, что не обеспечивает возможность практической реализации ресурсосберегающей технологии получения силуминов на основе кварцевых песков.

Предлагаемая авторами технология синтеза силуминов с использованием кварцевого песка взамен кристаллического кремния основана на физических явлениях, обеспечивающих возможности протекания химической реакции между алюминием и оксидом кремния, и может быть реализована с использованием традиционного плавильного оборудования, что не влечет дополнительные материальные затраты.

Оценка взаимодействия расплава силуминов с футеровкой плавильных агрегатов

Немененок Б.М., Румянцева Г.А., Вольский Е.А., Глушанкова Л.Я.
Белорусский национальный технический университет

В ходе эксплуатации печей для плавки алюминиевых сплавов происходит восстановление кремнезема и оксида железа при значительной металлизации огнеупоров. Последнее приводит к увеличению теплопроводности рабочего, а затем и теплоизоляционного слоя вследствие кристаллизации металла в порах огнеупора.

С целью выбора наиболее устойчивых к расплаву алюминия футеровок анализировали их составы и зависимость стандартного изобарного потенциала образования некоторых оксидов от температуры. Учитывая, что степень химического взаимодействия огнеупорного материала с расплавом должна быть минимальна, в составе огнеупора нежелательно большое содержание оксидов, способных восстанавливаться жидким алюминием (TiO_2 , SiO_2 , Cr_2O_3 , FeO , Fe_2O_3). Оксиды, расположенные выше Al_2O_3 (CaO , MgO , BaO) имеют более низкую свободную энергию и не могут быть восстановлены расплавленным алюминием. Поэтому содержание SiO_2 в современных огнеупорах снижено до 7,0-12,0 %, а огнеупоры иностранного производства содержат в своем составе 1,8-5,0 % BaO или 7,0-10,0 % BaSO_4 . Следует учитывать, что восстановление кремния алюминием возможно не только из кремнезема, но и с более сложных силикатов $\text{MgO} \times \text{SiO}_2$, $\text{ZrO}_2 \times \text{SiO}_2$, $\text{CaO} \times \text{SiO}_2$, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$.

Объемный эффект большинства реакций алюминия с алюмосиликатами на поверхности отрицателен, и продукты реакций занимают меньший объем, а образовавшиеся полости заполняются поступающим расплавом алюминия и продукты реакции не образуют сплошную пленку. Пористая пленка оксида алюминия не является барьером для дальнейшего взаимодействия алюминия с огнеупором. Поэтому расплав алюминия и магния (который входит в состав большинства литейных алюминиевых сплавов) проникает вглубь огнеупора по порам и полостям, образующимся при реакциях и уменьшении размеров зерен огнеупора. Иногда считают, что степень взаимодействия футеровки с расплавом обратна пропорциональна содержанию оксида алюминия в огнеупорном материале. Однако эта зависимость нарушается, если алюминиевый сплав содержит магний. В этом случае оксид алюминия реагирует с магнием с образованием алюмомagneзильной шпинели, что способствует более быстрому зарастанию рабочего пространства печи и перерождению футеровки.

Пористость в модифицированных силуминах

Задрецкий С.П., Бежок А.П., Немененок Б.М., Румянцева Г.А.
Белорусский национальный технический университет

Модифицирование эвтектики в силуминах широко применяется в практике цветнолитейного производства. Наибольший практический интерес представляет модифицирование силуминов стронцием. Вместе с тем, многие исследователи отмечают, что стронций усиливает пористость из-за повышенного газосодержания лигатуры Al-Sr.

Исследование процесса затвердевания модифицированных силуминов позволило установить и другие причины увеличения пористости. Во-первых, расширение зоны усадочной пористости в модифицированных силуминах тесно связано с увеличением интервала кристаллизации. Установлено, что независимо от способа ввода стронция температура ликвидус модифицированного сплава не отличается от немодифицированного, а температура солидус снижается на $9-12^{\circ}$ по сравнению с температурой эвтектического превращения в системе Al-Si для равновесных условий. Поэтому модифицированный сплав для всех концентраций кремния всегда имеет более широкий интервал кристаллизации по сравнению с немодифицированным, а, следовательно, и иное соотношение слагаемых объемной усадки.

Во-вторых, повышенная склонность модифицированных силуминов к образованию усадочной пористости во многом определяется изменением механизма кристаллизации. Немодифицированные силумины кристаллизуются, как правило, последовательно - от стенки формы к центру отливки или ее тепловому узлу с небольшим переохлаждением эвтектики ($\sim 3^{\circ}$ C) относительно температуры равновесного солидуса (577° C). При кристаллизации модифицированных силуминов преобладает объемно-последовательный механизм, когда часть расплава кристаллизуется последовательно от стенки формы, а основная масса расплава в результате подавления центров кристаллизации эвтектических колоний начинает кристаллизоваться с переохлаждением $9-12^{\circ}$ C. Вследствие нейтрализации стронцием центров кристаллизации эвтектические колонии растут в форме сферолитов, образуя при смыкании изолированные поры, которые не пропитываются остатками жидкого расплава.

Изложенное свидетельствует, что решающая роль в развитии газоусадочной пористости принадлежит не газосодержанию лигатуры, а изменению процесса кристаллизации.

Исследование влияния формы кусков лигатуры на скорость ее растворения в расплаве

Прусова И.В., Бежок А.П., Глушанкова Л.Я.
Белорусский национальный технический университет

Степень усвоения модификаторов расплавом является важной характеристикой лигатур и зависит от скорости ее нагрева в расплаве, температуры плавления лигатуры и кинетики ее растворения. Бедные стронциевые лигатуры, не содержащие свободного стронция, растворяются обычным способом с переходом в расплав из лигатуры интерметаллических соединений и последующим их распадом в расплаве. Следовательно, чем мельче алюминиды стронция, тем меньше времени требуется для полного растворения и усвоения расплавом лигатуры, что сокращает характерный для стронциевых лигатур «инкубационный» период при сохранении достаточного времени их «живучести».

Для оценки влияния формы и размера кусков лигатуры на скорость ее нагрева использовали дифференциальное уравнение нагрева тонкого тела.

Задействовав линейные размеры тел (l_f и l_v), связанных с его поверхностью (F) и объемом (V), получили, что $l_f = F^{1/2}$, а $l_v = V^{1/3}$. Отношение линейных размеров l_f и l_v является безразмерным и представляет собой параметр, характеризующий форму тела ($Es = \frac{l_f}{l_v} = \frac{F^{1/2}}{V^{1/3}}$).

Используя (Es) рассчитали коэффициент формы для тел с конфигурацией, которую могут иметь куски лигатур. Для шара $Es = 2,2$, для призмы с размерами ($a \cdot a \cdot 3a$) $Es = 2,60$. Расчеты показали, что при одном и том же объеме тела, скорость нагрева шара будет наименьшей, а все другие тела в этих условиях будут иметь большую скорость нагрева. Наибольший коэффициент формы имеют тела с максимально развитой поверхностью нагрева, т.е. пластины или тонкие листы. Применительно к используемым лигатурам навески кусковых лигатур для модифицирования можно приближенно сравнить с шаром, а лигатуры в форме пластин или быстроохлажденных лент - с параллелепипедом. При вводе в расплав 1 кг лигатуры Al - 10 % Sr с плотностью $2,69 \text{ г/см}^3$ в виде пластины толщиной 5 мм и шириной 60 мм $Es = 5,59$, а для ленты, прокатанной из жидкого состояния, при толщине 3 мм и ширине 40 мм $Es = 7,18$. Для кусковой лигатуры Es примем условно равным 2,2. Сравнивая скорости нагрева вводимых лигатур в расплаве при прочих равных условиях получим, что лигатура, полученная прокаткой, прогреется, по сравнению с кусковой, быстрее в 10,65 раза, а лигатура в виде пластин - в 6,46 раза.

УДК 621.7

Исследование процесса полунепрерывного литья чугунных заготовок с использованием имитационного моделирования

Андриц А.А., Крутилин А.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время заготовки ответственного назначения изготавливают в основном литьем в песчано-глинистые формы, кокильным и центробежным способами литья, на установках горизонтального непрерывного литья.

Ввиду несовершенства традиционных способов литья, постоянного повышения требований к качеству отливок, экономии топливных и энергетических ресурсов существует необходимость в освоении более эффективных способов литья.

Наиболее перспективным направлением, обеспечивающим получение качественных заготовок, является использование непрерывных способов литья.

Сдерживающим фактором при производстве ответственных деталей, например, гидро- и пневмоаппаратуры методом непрерывного и полунепрерывного литья является сложность определения оптимальных параметров технологического процесса.

В работе исследуется процесс полунепрерывного литья чугунных заготовок с использованием имитационного моделирования с целью определения оптимальных технологических параметров, обеспечивающих получения герметичных деталей гидро- и пневмоаппаратуры без термической обработки.

Для проведения компьютерного моделирования литейных процессов в настоящее время наибольший интерес представляет профессиональная система ProCAST, в которой для моделирования непрерывного и полунепрерывного литья предусмотрено сразу два способа решения: в стабильном состоянии и переходные расчеты в нестабильном состоянии.

В ходе исследований с использованием системы ProCAST были установлены зависимости изменения температур и термических напряжений на разных расстояниях от поверхности отливки при различных скоростях процесса (0,3 м/мин; 0,5 м/мин; 0,7 м/мин), а также при различных значениях начальной температуры металла (1320 °С; 1350 °С; 1380 °С).

Полученные данные могут быть использованы при выборе оптимальных технологических параметров процесса для конкретного типа отливки.

Методы повышения износостойкости хромистых чугунов

Барановский К.Э.¹ Урбанович Н.И.¹ Горецкий Г.П.²
¹Белорусский национальный технический университет,
²Физико-технический институт НАН Беларуси

Современные тенденции развития промышленности требуют повышения ресурса работы деталей машин, работающих в условиях абразивного износа. Износостойкие хромистые чугуны (ИЧХ) являются одним из наиболее распространенных износостойких материалов. Ресурс работы деталей из ИЧХ определяется их структурой, твердостью и в значительной степени количеством, размером и морфологией специальных карбидов.

В настоящее время в СНГ и Республике Беларусь в основном используются доэвтектические чугуны, содержащие 2,2-3% углерода и соответственно 25-30% карбидов: ИЧХ28Н2, ИЧХ16МЗ, ИЧХ18. Отливки изготавливаются литьем в земляные формы. Увеличение износостойкости вышеназванных чугунов возможно за счет использования специальных способов литья: литье в металлические формы (кокили) и комбинированные формы. Применение этих способов позволяет увеличить скорость кристаллизации и организовать направленное затвердевание, в результате чего отливки имеют в 3-4 раза более мелкую структуру, чем при литье в земляные формы и на 20-50% более высокую износостойкость.

Известно, что износостойкость ИЧХ линейно повышается с увеличением содержания углерода (количеством карбидов). Поэтому одним из методов резкого увеличения износостойкости ИЧХ является использование заэвтектических чугунов, содержащих 4,2-4,6% углерода и соответственно 50-52% карбидов. Но использование заэвтектических чугунов, изготовленных по обычной технологии, приводит к резкому снижению износостойкости и механических свойств, что связано с наличием в структуре первичных карбидов, размер которых превышает в 5-10 раз эвтектические карбиды. Значительно повысить ресурс работы деталей из заэвтектических ИЧХ можно за счет использования комплекса легирующих и модифицирующих добавок, позволяющих измельчить первичные карбиды в заэвтектических чугунах до размеров сопоставимых с эвтектическими карбидами.

Изготовлены экспериментальные детали из заэвтектического чугуна, содержащего 50-52% карбидов. Предварительные испытания показали увеличения износостойкости по сравнению со стандартными чугунами.

Композиционные материалы на основе алюминия

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Использование армированных материалов на основе алюминия в качестве пар трения – ввиду их относительной дешевизны и малого веса – представляет несомненный интерес. Алюминиевые материалы при трении по стали в условиях подачи смазки или ее ограниченной подачи отличаются быстрой прирабатываемостью, высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения. Так, при нагрузках 25-35 МПа, температуре 470-490 К и скорости скольжения 10-20 м/с коэффициент трения составляет 0,007-0,02. Износостойкость таких материалов в 1,5-3 раза выше износостойкости оловянистых бронз. При нагрузках до 10 МПа в условиях отсутствия внешней смазки коэффициент трения составляет 0,08-0,2. В качестве объекта изучения были приняты материалы на основе вторичных силуминов, упрочненные армирующей фазой из гранул серого чугуна диаметром от 1,0 до 1,2 мм. Материал получали методом жидко-твердого синтеза. Анализ микроструктуры показал, что при традиционном заполнении каркаса из гранул расплавом силумина скорость пропитки недостаточно высокая, что приводит к формированию значительных переходных слоев на границе «матрица–гранулы» (рис. 1а). Кроме того, наблюдается неполное заполнение пространства каркаса из гранул, что приводит к формированию местной пористости (рис. 1а). Изменение условий синтеза, обеспечивающих более высокую скорость пропитки, обеспечивает формирование плотная структура, без образования пористости (рисунок 1б). На структуре видны первичные кристаллы кремния. Анализ распределения железа показывает, что в структуре вторичного силумина содержится тройная фаза алюминий-кремний-железо (рис. 1в).

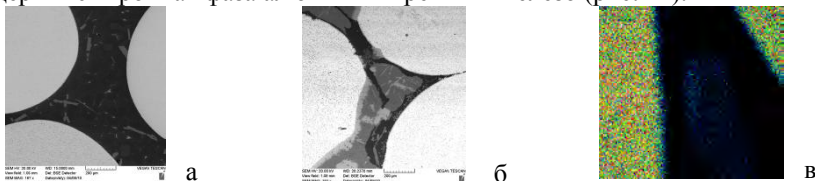


Рис. 1 – Микроструктуры силумина упрочненного железом углеродистыми гранулами.

Анализ распределения кислорода показывает, что на границе «матрица-гранула» содержится тонкий слой оксидов, что свидетельствует о взаимном взаимодействии элементов системы. Результатом является

прочное сцепление между матрицей и гранулами.

УДК 669.018:621.793

Некоторые аспекты синтеза высокоэнергетическим воздействием макронеоднородных композиционных материалов

Зелезей А.Е.

Белорусский национальный технический университет

Для постановки реперных точек для последующего синтеза композиционных материалов с помощью лазерного излучения была использована лазерная установка Комета-2. В качестве образцов для последующей обработки был использован сэндвич, состоящий из подложки (инструментальная сталь толщиной 5,8 мм), литой чугунной дроби Ø1,0 мм, обработанной активным флюсом и цветного сплава для пропитки частиц дроби. В качестве цветного сплава использовалась латунь листовая и литейная кремнистая бронза толщинами 1,6 и 5,0 мм соответственно. Параметры лазерного излучения для синтеза композиционного материала были следующие: фокусное расстояние 7,0 мм, скорость прохождения луча 70 $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$. Результаты обработки с латунной матрицей представлены на рис. 1а и с бронзой на рис.1б соответственно.

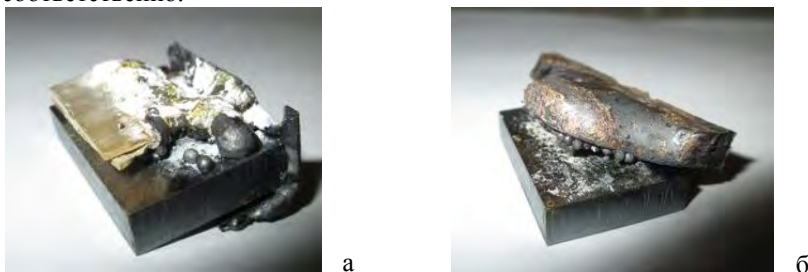


Рис.1. Заготовки композиционного материала после лазерной обработки

В результате проведенных исследований было выявлено, что при использовании латуней идет выгорание матричного материала (рис 1а), чего не наблюдается при использовании бронзы. Однако во втором случае из-за высокого теплоотвода бронзы наблюдалось неполное проплавление. По анализу полученных данных было рекомендовано продолжить исследования исключительно с бронзовой матрицей; причем для снижения тепловпотерь – изменить компоновку сэндвича, разместив бронзу между армирующим элементом, либо расположив армирующий элемент непосредственно на матричном сплаве. При этом для увеличения

поглощающей способности следует снизить скорость прохождения лазерного луча.

УДК 621. 745

Проницаемые литые материалы на основе алюминия

Андрушевич А.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Области применения пористых материалов постоянно расширяются. Пористые металлы изготавливают, в основном, спеканием из порошков бронзы, никеля, нержавеющей стали. Технология спекания имеет ряд ограничений (по размерам и конфигурации изделий, производительности и т.п.). Все эти проблемы решаются с использованием пористых литых металлов, которые значительно дешевле и менее дефицитны.

Литейно-металлургические технологии по сравнению с другими методами формообразования отличаются наибольшей эффективностью вследствие возможности получения изделий непосредственно из расплава при сравнительно низких материальных и энергетических затратах. Их физическую основу составляет процесс кристаллизации расплава, от характера протекания которого зависит структура и, следовательно, механические и служебные свойства пористых литых изделий.

Совершенствование традиционных и разработка новых технологий литья определяет современный уровень создания и применения пористых материалов различных типов, в т.ч. пористых литых металлов с открытым типом пор – проницаемых пористых литых материалов. Это фильтры газов и жидкостей, пневмоглушители, шумопоглощающие панели, демпферы, барботеры, теплообменники, тепловые трубы, фитили и др.

Проницаемые литые материалы являются особым классом композиционных материалов на металлической основе, с высоким показателем открытой пористости. Литые композиционные материалы с алюминиевой матрицей, имеющие проницаемую структуру (не менее 40 - 60%), обладают уникальной совокупностью параметров (малая удельная плотность, высокие механические и гидродинамические свойства, коррозионная стойкость и др.), которые могут изменяться в широком интервале.

Предложена технология получения пористых литых материалов и изделий из алюминия и его сплавов с использованием вымываемых твердых наполнителей – вставок, в которые расплав инфильтруется под действием избыточного внешнего давления газа. Разработанные технологические процессы литья позволяют получать размеры открытых пор от сотых долей до нескольких миллиметров и объемную пористость

изделий в пределах 80-85%.

УДК 621.762

Композиционные проницаемые материалы, полученные методами порошковой металлургии

Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Компактно-пористые материалы представляют композит из компактной подложки и проницаемого слоя, соединенные друг с другом металлическими контактами. Фрикционные диски, тепловые трубы, взрывные выключатели – примеры подобного рода изделий, наиболее широко применяемых в машиностроении. Технология их получения может, например, включать напыление порошка на пористую подложку; уплотнение и спекание заготовок из порошка, волокна, сетки в различном сочетании; пропитку пористого каркаса суспензиями, расплавами; осаждение газопылевого потока в пористой заготовке и т.п. [1]. Следует полагать, что деление компонентов на матричный и армирующий не имеет смысла, если оба компонента равнозначны по геометрическому признаку. Подобная совокупность «матричного» и «армирующего» компонента позволяет выделить в качестве самостоятельных (по макроуровню) группы комбинированных и компактно-пористых материалов. Комбинированные проницаемые материалы (КПМ) представляют совокупность дисперсных частиц различного вида, расположенных в объеме произвольно, либо отдельными слоями. В ряде случаев компоненты, составляющие макроструктуру КПМ, различаются по геометрическому признаку, присутствуя в его структуре одновременно. Причем один из них – непрерывный в объеме проницаемого материала – называется матричным или составляющим основу КПМ. В отличие от структуры твердого тела структуру КПМ следует рассматривать как многоуровневую. Ее первый микроструктурный кристаллический уровень – это кристаллическая структура самих дисперсных частиц, их точечные, линейные и объемные искажения, а второй уровень – макроскопическая структура, представляющая собой упаковку объектов макроскопических размеров – частиц, отличающихся количественными геометрическими и качественными характеристиками. Для проницаемых материалов, полученных методом порошковой металлургии, макроструктура – это прежде всего вид дисперсных частиц, используемых для получения проницаемого каркаса. Различают: проницаемые порошковые, волоконные, сетчатые и материалы из проволочных спиралей.

Литература:

1. Александров В. М. Композиционные проницаемые материалы, особенности структуры и методы классификации // Порошковая металлургия. – 1999. – Вып. 22. – С. 112

УДК 621.762

Подготовка порошковых составов для создания композиционных материалов

Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

При подготовке материалов для производства композиционных материалов методами порошковой металлургии важную роль играет гомогенное смешивание, необходимое для объединения различных фракций порошка в одну партию, по возможности однородную, определенного гранулометрического состава. При этом смешивают порошки разных, компонентов, (медь-чугун) получая гетерогенные смеси со статистическим распределением. Порошки определенного гранулометрического состава необходимы для оптимизации насыпной массы и прессуемости. Увеличение насыпной массы порошка позволяет уменьшить высоту матрицы и повысить производительность прессования. Чем лучше прессуемость, тем ниже давление прессования, позволяющее достигнуть требуемой плотности заготовки. Качество смешивания зависит от плотности, величины и формы частиц компонентов, гранулометрического состава и структуры поверхности, а также от соотношения компонентов в смеси и от вида смесителя. Применяемые смесительные агрегаты целесообразно различать по мощности, определяющей перемещение частиц [1].

Для улучшения однородности смеси и уменьшить образования агломератов можно, применять наполнители, в качестве которых пригодны все смачивающие жидкости, не ухудшающие спекания, например спирт. При достаточной присадке смачивающей жидкости сцепление между частицами уменьшается, а их обмен ускоряется. Однако в ряде случаев необходимы стабилизаторы, ограничивающие перемещение частиц во избежание чрезмерного смешивания и изменения структуры смеси при дальнейшей ее переработке. Малые количества жидкости могут привести к увеличению капиллярных сил сцепления, зависящих, прежде всего, от напряжений на границе раздела фаз и исчезающих при заполнении пор жидкостью. Если же добавлять стабилизатор при оптимальной продолжительности смешивания, то силы сцепления будут препятствовать повторному снижению достигнутой

благоприятной однородности. В качестве стабилизатора пригодна любая смачивающая жидкость, содержащая присадки, которые и после испарения растворителя, например в виде масляной пленки, поддерживают стабилизацию смеси.

Литература:

1. Порошковая металлургия, спеченные и композиционные материалы / Под ред. В. Шатта. – М.: Металлургия. 1983. 520 с.

УДК 669.018:621.793

Композиционные материалы, созданные высокоэнергетическим воздействием

Калиниченко В.А., Зелезей А.Е.

Белорусский национальный технический университет

В качестве альтернативы чисто литейной технологии были проведены работы по синтезу макрогетерогенного композиционного материала на основе бронзы с чугунными армирующими гранулами с помощью лазерного излучения. В качестве подложки были использованы шлифованные пластинки из стали 40, на которые производилась наплавка композиционного материала на основе самофлюсующейся бронзы БрО8НСП. Для экспериментов по лазерному синтезу композиционного материала были выбраны параметры варьирующие в фокусном расстоянии 3,0-7,0 мм, скорость прохождения луча 70 мм/мин , шаг 3,0 мм. Образцы изготавливались методом лазерного проплавления смеси самофлюсующейся бронзы и чугунной дроби фракцией 0,5-1,0 мм. Как было установлено, в образцах наблюдается практически полное растворение чугунных гранул и относительно ровное распределение их по объёму матрицы с образованием композиционной структуры. Однако по краям образцов расплавления гранул не наблюдалось, и они входили во взаимодействие с матрицей в цельном виде. Для лучшей сцепляемости гранул с материалом основы решено было использовать специальный флюс применяемый при синтезе литых композиционных материалов. Было установлено, что при технологических параметрах фокус 7,0 мм и скорости прохождения луча 70 мм/мин начинает формироваться типичная для литых макрогетерогенных композиционных материалов структура, хотя следует отметить частичное проплавление гранул без их растворения в матрице образца. В то же время по краям образцов оплавление полностью отсутствуют. По результатам проведённой работы можно с уверенностью сказать, что данная тематика является актуальной и имеет высокий потенциал для дальнейшего развития и применения в машиностроительной отрасли. Для корректировки базовых

технологических параметров необходимо проведение дополнительных исследований физико-механических свойств полученных покрытий, таких как коэффициент трения, износостойкость и прочность сцепления покрытия с основой.

УДК 621.74

Разработка состава литейных красок с использованием промышленных отходов.

Комаров О.С., Барановский К.Э., Розум В.А.,
Бандарович Д.Н., Розенберг Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных компонентов, который определяет качество поверхности получаемых отливок при литье, является огнеупорное разделительное покрытие. В качестве наполнителей для высокотемпературных противопожарных покрытий наиболее часто применяют оксиды алюминия, магния, силикаты алюминия и циркония и др. Используемые в настоящее время наполнители имеют ряд серьезных недостатков: обладают высокой стоимостью, являются дефицитными (не добываются на территории Республики Беларусь). Не все из них обладают и достаточными противопожарными свойствами.

В связи с этим представляет интерес изучение возможности использования отходов производства в составе литейных красок. Промышленные отходы должны удовлетворять следующим требованиям: обладать высокой термостойкостью, иметь определенную дисперсность (<63 мкм), не ухудшать технологических свойств красок. Исходя из вышеизложенного была рассмотрена возможность использования следующих отходов: отход резки кремния (30% органическая жидкость, 50% карбид кремния (5–6 мкм), 20% кремний (0,5–0,6 мкм); сконденсированная пыль, получаемая при обработке чугуна магнием (ультрадисперсный оксид магния); осадок раствора алюмината натрия (ультрадисперсный гидроксид алюминия); доломит (<8 мкм). Все отходы имеют ультрадисперсные размеры и поэтому могут использоваться (до 10–15%) в качестве технологической добавки, улучшающей свойства краски и снижающей цену. Исследования проводились с красками на водной основе. В качестве термостойкой базы использовались следующие наполнители: дистен-силлиманит, оксид алюминия, цирконовый концентрат. Применялись следующие связующие: лигносульфонат и жидкое стекло.

Добавки ультрадисперсных отходов к литейным краскам показали увеличение прочности красок при высоких температурах и улучшение их технологических свойств.

**Порошковая металлургия,
сварка и технология
материалов**

Перспективное оборудование для автоматизации и механизации сварочных работ

Писарев В.А., Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

С целью увеличения производительности труда и качества сварочных работ при изготовлении строительных металлоконструкций, в первую очередь, в монтажных, а также при необходимости в заводских условиях оптимально использовать установки типа «мобильная сварочная тележка с переносной модульной направляющей движения» и «самоходная сварочная тележка» различных конструкций.

Применение таких мобильных устройств позволяет успешно реализовать движение сварочного инструмента с определенной скоростью, по точной траектории, на заданное расстояние.

В монтажных условиях появляется возможность организации мобильной сварочной системы «сварочный источник – самодвижущая тележка – переносная направляющая рейка движения».

В общем виде сварочные тележки представляют собой комплекс узлов и механизмов, предназначенных для обеспечения их перемещения со сварочной или маршевой скоростью вдоль свариваемого изделия с закрепленной на них сварочными горелками.

По конструктивному исполнению сварочные тележки могут быть классифицированы по следующим признакам.

По положению сварных соединений относительно горелки: в нижнем положении, в нижнем и вертикальном положениях, в горизонтальном положении, в наклонном положении.

По количеству сварочных горелок: с одной сварочной горелкой, с двумя сварочными горелками.

По наличию механизма колебания сварочной горелки: без колебания сварочной горелки, с колебанием сварочной горелки.

По оснащению магнитом (для лучшего сцепления колес тележки с поверхностью детали или с направляющими рельсами): без магнита (на колесах имеется канавка для направляющего элемента), с постоянным магнитом, с электромагнитом.

По вариантам питания электросхемы тележки: от источника питания сварочной дуги, от аккумулятора.

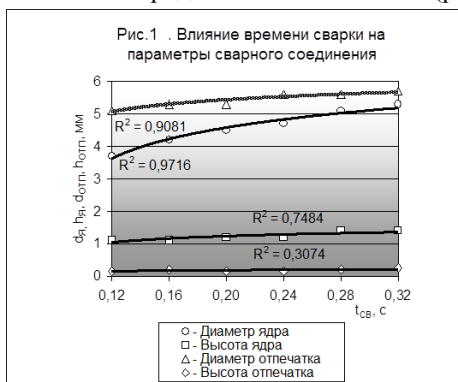
По конструктивному исполнению: несменяемого набора узлов и механизмов, модульного набора узлов и механизмов.

По типу выполнения сварных соединений, только для: стыковых швов, угловых швов, стыковых и угловых швов, наружных угловых швов.

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Исследования зависимости изменения диаметра и высоты ядра ($d_{я}$, $h_{я}$), и отпечатка ($d_{отп}$, $h_{отп}$) от времени протекания сварочного тока ($t_{св}$) проводили при сварке стали 08 кп толщиной 0,8 и 2,0 мм. Время протекания сварочного тока изменяли в пределах (0,12...0,32) с, усилие сжатия электродов составляло 200 кг (рис. 1).



Анализ показал, что с увеличением времени протекания сварочного тока происходит значительное увеличение диаметра ядра с 3,7 до 5,3 мм и диаметра отпечатка с 5,1 до 5,7 мм. При этом высота ядра и отпечатка увеличиваются соответственно с 1,1 до 1,4 мм и с 0,15 до 0,25 мм. Такой характер изменения параметров сварного соединения при увеличении длительности

действия сварочного тока объясняется выделением большего количества тепла в зоне контакта свариваемых деталей, увеличением пластичности материала, а также геометрией рабочих поверхностей электродов.

При $t_{св}=0,12$ с наблюдается практически полный несплав деталей. Возникающее ядро расплавленного металла сдвинуто в тонкую заготовку. Размеры отпечатка сравнимы с размерами отпечатков при более высоких значениях величины времени сварки. При увеличении времени сварки до $t_{св}=0,32$ с ядро приобретает форму одностороннего вогнутого эллипса. Наблюдается явное вытеснение металла из зоны кристаллизации и образование пластического пояса, свойства которого в значительной степени определяют свойства сварного соединения. На основании результатов исследования можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным режимом процесса сварки является режим сварки при времени протекания сварочного тока $t_{св}=0,24$ с. Форма ядра имеет эллиптическую форму, расположение ядра относительно поверхности контакта деталей симметрично, размеры и прочностные характеристики ядра и отпечатка соответствуют рекомендуемым режимам для данных толщин сталей.

Актуальность вопросов разработки эффективной методики управления структурой и механическими свойствами сварных соединений объектов теплоэнергетики

Снарский А.С., Жемойта А.В.

Белорусский национальный технический университет

Требование максимальной надежности и безопасности при эксплуатации ответственного оборудования и металлоконструкций были и остаются весьма актуальным. Особенно обострились данные проблемы в последнее время – с учетом прогрессирующего старения большинства технологических объектов повышенной опасности.

Характерным представителем данных объектов является различное технологическое оборудование и металлоконструкции (в первую очередь технологические трубопроводы пара и горячей воды) объектов теплоэнергетики. Особенностью эксплуатации указанных объектов является как правило их длительная работа при воздействии повышенных температур и давлений. Анализ материального исполнения указанных технологических объектов показывает, что основными сталями для изготовления большинства из них являются так называемые теплоустойчивые стали с системой легирования «хром+молибден» или «хром+молибден+ванадий». При этом характерной особенностью, которую необходимо учитывать при их сварке, является их высокая склонность к подкалке и, как следствие, к образованию холодных трещин. Также указанные стали (и их сварные соединения) весьма склонны к старению при эксплуатации, как правило, вызванному коагуляцией карбидов и сопровождающемуся снижением всего комплекса механических и эксплуатационных свойств, напрямую связанных с надежностью и безопасностью их эксплуатации. При этом лимитирующим («слабым») звеном являются сварные соединения, поэтому при диагностике данных технологических объектов уделяется повышенное внимание именно сварным соединениям. Поэтому актуальность задачи, связанной с разработкой эффективной методики управления структурой и свойствами сварных соединений, сдерживающей процессы старения при их длительной эксплуатации, в т.ч. и за счет управления технологическими режимами сварки при изготовлении и ремонте указанных объектов, не вызывает сомнений. Следует также отметить, что уже разработана и апробирована на ряде металлоконструкций оригинальная методика неразрушающего контроля, позволяющая определить эффективность проведенных мероприятий по управлению структурой и свойствами сварных соединений.

Электролитно-плазменная обработка при вакуумметрическом давлении среды

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

В машино-, приборостроении, при производстве изделий медицинского назначения существует широкий перечень изделий, финишная обработка которых электро-физико-химическими методами затруднена из-за особенностей геометрии, а также из-за применения специальных материалов, характеристики которых не должны меняться в процессе обработки от силового воздействия или теплового действия тока. К таким изделиям относятся, например, изделия с малой площадью поперечного сечения и изделия малой жесткости.

Для решения указанных проблем разработаны метод и оборудование для электролитно-плазменной обработки в условиях вакуумметрического давления, обеспечивающие существенное уменьшение удельной мощности за счёт снижения энергии, необходимой для обеспечения плёночного кипения и поддержания стабильной парогазовой оболочки вокруг обрабатываемого изделия. В работе оценивалось влияние вакуумметрического давления на плотность тока.

Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что обработка в условиях вакуумметрического давления обеспечивает снижение плотности тока: с $0,28-0,60 \text{ А/см}^2$ (в зависимости от напряжения) при атмосферном давлении до $0,075-0,21 \text{ А/см}^2$ при значении вакуумметрического давления -63 кПа (в 3–4 раза). Снижение плотности тока можно объяснить повышением сопротивления парогазовой оболочки, формирующейся вокруг образца, за счёт увеличения её толщины. Увеличение толщины парогазовой оболочки вокруг образца связано с уменьшением давления среды и гидростатического давления электролита, действующего на неё.

Существенное снижение плотности тока и удельной мощности при электролитно-плазменной обработке в условиях вакуумметрического давления открывает широкие возможности для разработки новых процессов финишной обработки изделий малого сечения и изделий, конструкция которых обладает малой жесткостью. Обработка при низких значениях плотности тока позволяет выполнять качественное полирование и очистку поверхности с сохранением исходной структуры и характеристик материала, без деформации изделий при их монтаже на оснастке, без подгорания и оплавления контактной поверхности.

Характеристика процесса сварки трением без мгновенного торможения

Данилко Б.М.

Белорусский национальный технический университет

Сварка трением – высокоэффективный и надежный процесс сварки давлением без внешнего источника тепла. Способ сварки трением был предложен ленинградским токарем А.И. Чудиковым, авторское свидетельство на изобретение было выдано в 1956 г. В работы по изучению и использованию сварки трением включились ведущие научно-исследовательские организации и предприятия, а также специалисты в Великобритании, США, Германии. Пионером в области внедрения сварки трением для изготовления ответственных деталей тракторов признан Минский тракторный завод. Специалисты Проблемной сварочной лаборатории завода провели большой объем теоретических и экспериментальных исследований по сварке трением, разработали технологию сварки, создали и изготовили специализированные машины сварки трением типа СМСТ. Технология сварки трением и машины СМСТ внедрены на многих предприятиях: МТЗ, ХТЗ, ЧТЗ, КТЗ, на Держачевском турбокомпрессорном заводе. Работы МТЗ по сварке трением признаны ведущими специалистами, результаты докладывались на конференциях, публиковались в специальных сварочных журналах; специалисты лаборатории награждены дипломами и медалями ВДНХ СССР. Получено более 10 а.с. на изобретение и защищены 2 диссертации. Используется два способа сварки трением – конвекционный способ с нагревом свариваемых поверхностей за счет энергии взаимного трения до температуры пластического состояния и последующего мгновенного торможения, а также способ инерционной сварки, при которой механическая энергия аккумулируется в маховике сварочной машины. Для осуществления обычного процесса сварки машины оборудуются тормозными системами, которые представляют собой муфты и реверсирование электродвигателя противотоком. Машины СМСТ первой серии были снабжены системой противотока, контроля скорости. Опыт эксплуатации показал, что электродвигатели работают в режиме перегрузки, наблюдается перегрев, а также выход двигателей из строя. Учитывая это, мы предложили конструкцию машин СМСТ без мгновенного торможения. В результате упростилась конструкция машин и схемы управления, улучшилась эксплуатация электродвигателя. Реализуется комбинированный способ сварки – обычный с принудительным вращением и инерционный в момент прекращения принудительно вращения.

Получение модификаторов расплавов стали с использованием нанопокровтий вольфрама и кобальта на стальную дробь

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Жук А.Е., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Модификаторы расплава стали изготавливали нанесением слоистых нанопокровтий на стальную дробь марки ДСК (ГОСТ 11964-81) размером < 1 мкм вакуумным магнетронным распылением охлаждаемых катодов вольфрама и защитного кислотостойкого кобальтового сплава ЭП131 с суммарной толщиной нанопокровтия до 2,5 мкм. Разработанная технология предусматривала активирование (очистку от оксинитридов) поверхности стальной закаленной дроби предварительной обработкой плазмой тлеющего разряда (ПТР), с последующим нанесением слоя вольфрама длительным (3 ч.) распылением вольфрамового катода и защитного слоя (1 ч.) высоколегированного сплава ЭП131, содержащего Cr 17 – 19%, Ni 10 – 12%, W 13 – 15%, остальное – Co. В расплаве при введении модификатора образуются зоны переохлаждения, которые формируют дополнительные центры кристаллизации, что способствует созданию мелкозернистой структуры стали. Карбидные когерентные фазы железа с решеткой ϵ – Fe_2C_4 и γ – Fe_2C располагаемые по границам зерна (α – твердого раствора), играют роль барьеров межкристаллитной диффузии. Фазовые превращения в покрытии устанавливали испытаниями в dilatометре «Netzsch 402 E». Морфологию поверхности нанопокровтий после нагрева в dilatометре и вакуумной печи изучали на сканирующем электронном микроскопе "Mira". Фазовый состав покрытий определяли на дифрактометре ДРОН-3.0.

Модифицирование расплава стали осуществляли в два этапа: **первый этап** – операция очистки (активации) поверхности дроби химико-механической обработкой и обработкой ПТР.; **второй этап** – нанесение наномодификаторов на поверхность дроби – проводили в магнетронной распылительной системе (МРС) с размещением ее в перемешивающем устройстве. Стальная дробь (< 1 мм) с покрытием 30 и 70 г. подавалась в струю расплава массой 10 кг. Введение в расплав стали модификатора увеличивает в среднем на 16 – 28% предел текучести и временное сопротивление стали по сравнению с исходной, а также в 1,5–2 раза увеличивает относительное удлинение, где более высокие значения соответствуют большему количеству вводимого модификатора. Использование дроби из стали с содержанием C 0,8 – 1.15% в состоянии закалки позволило предложить проведение исследований по влияния состояния структуры дроби на модифицирование расплава стали.

УДК 621.793

Термомеханическая обработка стальной закаленной дроби – модификатора для получения высокодисперсных карбидов

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Жук А.Е., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Модифицирование расплава сталей дробью марки ДСК (ГОСТ 11964-81) с размером (0,3–3,6 мм), представляющей эвтектоидную сталь с содержанием 0,8–1,1 С% поставляемую в состоянии закалки со структурой мартенсит (твердость по Виккерсу H_v 545–830), с нанопокрытием вольфрамом и смесью молибден–кремний осуществляли путем введения в струю в процессе заливки расплава из печи в разливочный ковш. Нанесение слоистых нанопокровтий на стальную дробь осуществляли вакуумным магнетронным распылением комбинированных и моно катодов с осаждением эмиссионного потока на активированную обработкой плазмой тлеющего разряда поверхность дроби толщиной конденсата 2–5 мкм. Очищенную дробь подвергали отпуску низкому (250°C с длительной выдержкой 5 ч.), высокому (650°C) или 2-х кратному (низкому и высокому). Последняя операция способствовала созданию в эвтектоидной стали дисперсных карбидов типа (Fe_4C_2 и Fe_2C). Наночастицы W и $MoSi_2$ формируют зоны переохлаждения и центры кристаллизации. Результаты модифицирования показали, что использование 2х кратного отпуска закаленной стальной дроби позволяет получить мелкозернистую структуру стали 35 с увеличением предела текучести и временного сопротивления на 32%, а относительного удлинения более, чем в два раза.

Микроструктура стальной закаленной дроби и зона границы покрытие–дробь приведены на рис.1.

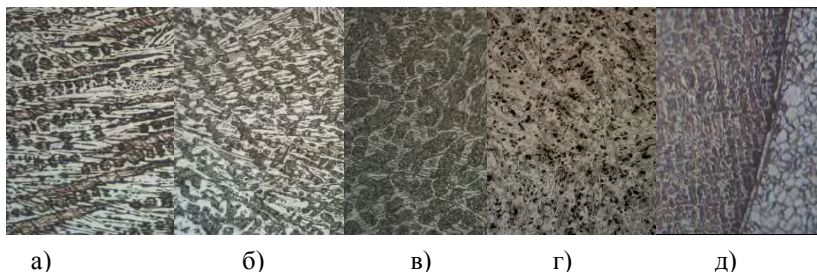


Рис.1-Микроструктуры дроби: исходная (а), после отпусков 250°C (б), 650°C(в), 250+650°C(г); x 500; зона соединения дроби и вольфрамового нанопокровтия, где на границе образуется аморфный слой (д) x 1000.

Изготовление пористых порошковых материалов из сферических порошков титана с управляемым направлением фильтрации

Керженцева Л.Ф., Ковалевская А.В., Жук В.А.
Белорусский национальный технический университет

Изготовление пористых порошковых материалов (ППМ) из порошков Ti определяет основное направление создания фильтров и мембран, работающих в агрессивных условиях. Формование их ведется с активирующими добавками, а спекание протекает в условиях упруго-пластической подпрессовки, что вызывает пластическую деформацию пористой структуры и ухудшает их эксплуатационные свойства. Повышение характеристик ППМ достигается использованием сферических порошков с гладкой поверхностью, спекание которых в свободной засыпке представляет технические трудности. Спекание порошка Ti в вакууме наблюдается при температуре образования из смеси компонентов карбидов или силицидов, что позволяет получить ППМ с высокими свойствами. Получение фильтрующих элементов из Ti с покрытием, имеющим гладкую поверхность, осуществляли по технологии включающей:

- а) обработку плазмой тлеющего разряда (ПТР) исходного порошка Ti (операция проводится перед каждой разгерметизацией для смены катода);
- б) распыление моно - Si и C и комбинированных (Mo+Si) катодов (осаждение конденсата на очищенную поверхность исходных частиц);
- в) формование под давлением $p < \sigma_{0,2}$ Ti в металлической пресс-форме;
- г) активированное реакционное спекание в вакууме при нагреве до температур 900 – 1000°C с изотермической выдержкой.

Спекание порошка протекает через прослойку MoSi₂ при 940–1000°C. Использовали низкие давления рабочего газа до 0,3 – 0,35 Па при токе катушки до 1 А, что увеличило присутствие Mo в плазме. По микротвердости при нагрузке 1 кг оценивали прочность связи в спеченных частицах. Микротвердость внутри частиц 5600 МПа, на границах 5300 МПа. Конденсат из смеси Mo + Si представляет многокомпонентную систему с ограниченной взаимной растворимостью с Ti. Реакционное спекание протекает по экзотермическим реакциям (Mo + 2 Si + C = MoSi₂ C). При нагреве со скоростью 5 – 8°C/мин наблюдается расширение частиц Ti, что разрушает покрытие. Ti в зоне контакта с конденсатом образует высоко- и низкотемпературные фазы TiSi и TiSi₂. при 650 – 900°C. Процесс уплотнения при спекании ППМ происходит вследствие вязкого течения конденсата в объем пор.

Модифицирование порошковых полимерных материалов

Ваганов В.В., Безверхий М.С.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

Цель данной работы – создание полимерных порошковых композитов, модифицированных за счет введения наночастиц, в том числе и функциональных, обеспечивающих изменение структуры матрицы и приводящих к улучшению эксплуатационных характеристик.

В качестве полимерных матриц использованы термореактивные порошковые полимерные материалы на основе пигментированной эпокси-полиэфирной и полиэфирной смол, полиуретана, полиамида 11.

В качестве модифицирующих добавок использовались дисперсные порошки алюминия (99,8%), никеля, оксида алюминия Al_2O_3 и оксида кремния SiO_2 , с размерами частиц 200 нм – 10 мкм. Соотношение полимер – модификатор составляло 100:1. Смешение материалов производилось в закрытой ванне псевдооживления при давлении сжатого воздуха 0,02 МПа в течение заданных интервалов времени (3; 6; 9 мин).

Определен положительный эффект взаимодействия модификатора с полярным полимером на уровень механических свойств композиций. Выполнены работы по модифицированию полимерных материалов с наложением внешнего электростатического поля напряжением 60-90 кВ.

При напылении модифицированных полимерных композиций время полимеризации удалось уменьшить с 6 часов до 45 мин. за счет повышения температуропроводности покрытия толщиной 200-250 мкм.

Когезионное взаимодействие оценивали по соотношению площади частиц модификатора к площади окружающей частицу полимера методом «случайных секущих». Исследование проводили с помощью металлографического микроскопа МИМ-7 при увеличении 400.

Для эпокси-полиэфирных и полиэфирных материалов характерно большее взаимодействие с частицами модификаторов, в первую очередь, благодаря развитой форме частиц полимера и пигментации по массе. Непигментированные частицы полиамида 11 (марки D20) близки к сферической форме, и процесс когезионного взаимодействия происходит в большей степени для частиц Al_2O_3 и SiO_2 , который интенсифицируется при наложении внешнего поля, в том числе и для частиц Al и Ni.

Установлено, что частицы полимера эпокси-полиэфирного материала в большей мере «аккумулируют» к себе частицы модификатора, т.е. происходит процесс агломерации из-за увеличения когезионного взаимодействия. Покрытия, в состав которых введены модификаторы Ni, SiO_2 , обладают повышенной адгезионной прочностью к стали и

алюминию.

УДК 621.791.753-026.51:519.22

Исследование зависимости скорости и типа плавления электрода с основным покрытием от плотности тока при ручной дуговой сварке

Голубцова Е.С., Каледина Н.Б.¹, Комаровский В.Л.

Белорусский национальный технический университет,

¹Белорусский государственный технологический университет

Исследовали зависимость скорости плавления электродов (v_{nl} , см/с) с основным покрытием от плотности тока при плавлении электродов без разбрызгивания ($x_1 = -1$) и с разбрызгиванием ($x_1 = +1$). Вторым фактором была плотность сварочного тока ($x_2 = -1$, 10 А/мм²; $x_2 = +1$, 20 А/мм²). В качестве параметра оптимизации (y_3) была выбрана скорость плавления v_{nl} , см/с. Для проведения эксперимента был выбран полнофакторный план $N = 2^2$, где N — число опытов (строк) в матрице плана, а степень 2 — число факторов. После расчетов получили уравнение, устанавливающее связь между скоростью плавления и типом плавления электрода (x_1) и плотностью тока (x_2) в виде полинома

$$y_3 = v_{nl}, \text{ см/с} = 0,415 + 0,02x_1 + 0,075x_2.$$

Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на скорость плавления оказывает плотность тока (x_2). Чем она выше, тем больше скорость плавления. При плотности тока 10-15 А/мм² (125-170 А для электродов диаметром 4 мм) плавление электрода происходит без разбрызгивания электродного металла, что способствует приращению массы шва за счет металлических добавок покрытия. При этом в капле постепенно повышается давление газов до некоторого критического значения, а силы поверхностного натяжения втягивают каплю в сварочную ванну. Взаимодействие давления газов и сил поверхностного натяжения обеспечивает переход металла в сварочную ванну. При плотности тока 15 А/мм² (170 А) и более зависимость между скоростью плавления и давлением газа в капле нарушается: часто давление газов разрушает металлическую оболочку капли, изменение положения капли не согласуется с силами поверхностного натяжения и происходит выброс части металла в без участия межфазных взаимодействий.

Оценка напряженно-деформированного состояния деталей с упрочняющими покрытиями методом магнитных шумов

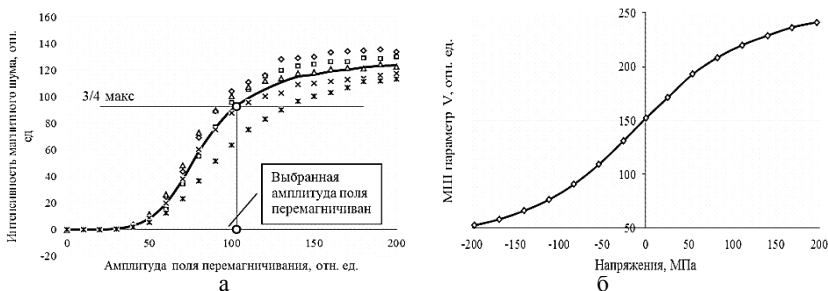
Поболь А.И.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшей проблемой изготовления и восстановления деталей с использованием газотермических и других методов нанесения покрытий является оперативный неразрушающий контроль их напряженно-деформированного состояния (НДС). Особую значимость она сохраняет и при последующей эксплуатации деталей. Эффективным методом контроля фактического НДС стальных конструкций и изделий с покрытиями, получающим распространение на практике, является метод магнитных шумов (ММШ), обладающий высокой чувствительностью к изменению напряжений и простотой регистрации шумов Баркгаузена (ШБ) [1].

Диагностику НДС деталей с различными упрочняющими покрытиями (имеющими в своем составе ферромагнитные материалы) методом ММШ проводили с помощью магнитошумового анализатора напряжений и структуры металлов «ИНТРОСКАН», разработанного в ИПФ НАН Б.

Калибровочные диаграммы для образцов из Ст3 показаны на рисунке.



а – амплитуды поля перемангничивания; б – напряжения в Ст3 [1]

Рисунок – Калибровочные диаграммы

Построение калибровочных диаграмм требует проведения отдельных измерений ШБ со стороны покрытий и основы при нагружении образцов известной нагрузкой. Это позволяет учитывать обезуглероженность поверхности, тензорный характер напряжений, поверхностную неоднородность и микроструктуру.

Литература:

1. Венгринович В.В., Дмитриевич Д.В. Методика измерения напряженно-деформированного состояния / ИПФ НАН Б. – Минск, 2011. 22 с.

Расчет пространственно-энергетических параметров плазмы дугового разряда методом пробной частицы

Мисник И.В., Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет

Движение ионизированной частицы в магнитном поле фокусирующих катушек вакуумных электродуговых испарителей представляет собой движение по спирали, ось которой параллельна линиям магнитного поля. Поток имеет ярко выраженную осевую направленность в пределах $\pm 40^\circ$ от оси испарителя и его распределение подчиняется закону косинуса. Принимая для расчетов характерные величины скорости направленного движения ионов и напряженности магнитного поля, для ионов титановой плазмы, максимально отклоненных от оси испарителя ($\alpha = 40^\circ$), в пределах технологического объема вакуумной камеры радиус спирали составит порядка 0,15 м при шаге спиральной линии порядка 1,2 м; таким образом, траектория ионов может быть принята соответствующей прямой линии.

Для анализа пространственно-энергетических параметров плазменного потока разработан численный алгоритм и составлена программа моделирования движения ионов на основе метода пробной частицы электродугового испарителя с учетом парных упругих взаимодействий с атомами технологического газа.

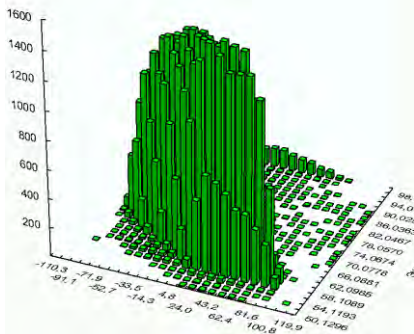


Рисунок – Результаты численного моделирования

Анализ результатов моделирования (см. рисунок) показывает, что потери энергии ионов на упругие столкновения составляет порядка 25...43% от их первоначальной энергии. Это говорит о значительном вкладе процессов упругих столкновений в потери энергии ионами потока. Только около 1% ионов, достигших подложки сохраняют свою первоначальную энергию. Следовательно, наличие технологического газа в объеме вакуумной камеры оказывает влияние на величину энергии конденсирующихся ионов.

Сопоставление результатов численного моделирования с расчетами по теоретическим методикам показало адекватность предложенной модели.

Численное моделирование электроконтактного спекания порошковых композиций на основе отходов твердых сплавов

Кункевич Д.П., Поболь А.И.

Белорусский национальный технический университет

Процессы консолидации материалов с использованием электрического тока как основной энергетической составляющей достаточно хорошо известны [1]. Решение задачи использования отходов с целью удешевления производства, в том числе высокотехнологичной продукции, приводит к необходимости разработки новых технологических процессов.

Цель исследований – создание адекватной численной модели процесса электроконтактного спекания (ЭС) твердосплавной композиции, раскрывающей закономерности, которые помогут управлять такими параметрами спека, как плотность, пористость, напряженно-деформированное состояние, структурой материала, и как следствие – его эксплуатационными характеристиками. Для реализации численной модели используется метод конечно-элементного моделирования (КЭМ). Сложность ЭС порошковых композитов с точки зрения КЭМ определяется одновременным протеканием электрических, термических и механических процессов. Последние описываются на основании уравнений механики дисперсных сред и, в частности, в рамках теории дискретного порошкового тела. Для достоверности расчетов все эти процессы должны быть подкреплены соответствующими свойствами материалов. В процессе прессования порошок предварительно уплотняется без деформации частиц, затем наступает черед упругих деформаций, и, наконец, пластические деформации непосредственно частиц металла. Для описания поведения сыпучих сред подходит модель непрерывной пластичной среды, изначально разрабатываемая для грунтов. В системах КЭМ, например, в пакете ANSYS имеется возможность использовать модель Друкера-Прагера, которая в сочетании с моделями «металлического» поведения позволяет получить вполне адекватные результаты.

Проведено численное моделирование процесса ИЭС. Приведены полученные результаты расчетов и их сопоставление с реальными экспериментами для оценки адекватности модели. Модель требует верификации, дополнения реальными измеренными или литературными физическими свойствами материалов, проведения серии экспериментов по определению степени соответствия модели протекающему процессу.

Литература:

Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. – М.: Металлургия, 1987. – 128 с.

Влияние конвективных потоков расплава на затвердевание отливки при горизонтальном непрерывном литье

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Результаты моделирования показали, что конвективные потоки расплава, действующие вдоль фронта затвердевания, оказывают существенное влияние на формирование твердой корки вплоть до ее оплавления. Степень этого влияния определяется способом литья, его возможностями, технологическими параметрами и зависит от характера распределения и интенсивности конвективных потоков.

Критическую скорость конвективных потоков расплава вдоль фронта затвердевания $\omega_{крит}$, достаточную для начала оплавления корки для горизонтального литья рассчитали по формуле

$$\omega_{крит} = 3,02 \times 10^{-10} \left[\frac{q_{2n}(z, t)}{\Delta T} \right]^2.$$

Установлено, что наиболее уязвимым местом в системе «металлоприемник – кристаллизатор», подверженным активному влиянию вынужденной конвекции, является верхняя зона кристаллизатора. Интенсивность потоков зависит от режима вытяжки отливки и разности температур в системе. Однако, несмотря на то, что вынужденная конвекция носит кратковременный характер, именно в этот период, степень влияния потоков достаточна для оплавления корки по всему фронту затвердевания. Скорости потоков ω_n в этот момент в верхней и нижней области кристаллизатора (зоны II–III) выше критических скоростей $\omega_{n,крит}$. Исключение имеет место лишь в зоне I, где скорости потоков ω_n меньше критических $\omega_{n,крит}$ и оплавления корки не происходит.

При использовании разделительного устройства оплавление корки полностью отсутствует в верхней области кристаллизатора во всех зонах. Именно здесь при обычном литье концентрация горячего расплава всегда выше, чем в нижней зоне.

В нижней зоне кристаллизатора, в случае использования разделительного устройства оплавление корки незначительно. Достаточно мощный поток расплава ($\omega_n=0,28$ м/с), истекающий из отверстия разделительного устройства существенного влияния на ход процесса затвердевания не оказывает ввиду удаленности от зоны выхода отливки из кристаллизатора.

Таким образом, использование разделительного устройства при горизонтальном литье позволяет снизить влияние конвективных потоков и предотвращает оплавление корки отливки.

Механические и триботехнические свойства газопламенных наномодифицированных покрытий

Горанский Г.Г.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

Представлены результаты выполненного исследования структуры, механических и триботехнических свойств газопламенных покрытий на основе самофлюсующейся системы Ni-Cr-B-Si, наномодифицированной добавками Fe, Mo, Co.

Контролируемый параметр	металл без покрытия, натурные испытания	покрытие до испытаний	покрытие после лабораторных испытаний	покрытие после натуральных испытаний
Твердость HRC	52-54	58-62	60-64	58 – 64
Микротвердость, ГПа	до 6,8-7,2	9,6 - 10,2	10,2-10,6	9,8 - 10,4
Аморфные фазы в покрытии, %		6-12-	-	-
Наноразмерные фазы в покрытии, %		22-28	26-32	22-30
Пористость, %		до 4	до 6	до 6
Толщина покрытия, мм		до 3,6	до 3,6	до 3,6
Прочность адгезии, МПа*		52,0 – 56,0		52,0 – 56,0
Прочность когезии, МПа*		430 – 460		430 – 460
Пластичность материала покрытия, %*		до 3,6		до 3,6
Ударная вязкость материала, кДж / м ² *	48-52	62-74		62 - 74
Коэффициент сухого трения по стали	0,19 – 0,21		0,76 - 0,81	0,16 - 0,17
Износ, мкм / км	0,78 - 0,98		2,8 – 3,4	0,18 – 0,21
Температура эксплуатации, °С	до 600		до 400 – 420	до 400 – 420

Примечание. Лабораторные триботехнические испытания покрытий: скорость $V = 0,1$ м/с, усилие контакта $P = 1$ МПа. Натурные испытания: $V = 90-120$ м/с, $P = 3,2 – 3,5$ МПа.

* Измерения проводили на экспериментальных образцах.

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет

Применяемые в настоящее время в высокотемпературной технике стали и сплавы отличаются высокой стоимостью. Это приводит к поиску путей использования более дешевых материалов для их замены. Цель работы – исследование возможности использования углеродистых сталей с жаростойкими вакуумными электродуговыми покрытиями для изготовления ответственных деталей машин работающих при высоких температурах.

Жаростойкость углеродистых сталей ст3, 20, 35 с покрытиями на основе силицидов тугоплавких металлов испытывали в спокойной воздушной среде в режиме термоциклирования в печи СНОЛ весовым методом. Цикл включал: нагрев до температуры выдержки в течении часа, 5 часов – выдержка при заданной температуре, остывание вместе с печью. Температура выдержки – от 600 до 1200°C $\pm 5^\circ\text{C}$. Образцы взвешивали в конце каждого цикла нагрева без удаления продуктов коррозии с их поверхности с точностью до 0.0001 г.

Испытания сталей с покрытиями титан-кремний толщиной 10 мкм при 600°C показывают, что за 7 часов выдержки привес конструкционных сталей в 2-3 раза превышает привес сталей 1X18N9T и 12X18N10T. Потери веса на образцах из стали ст3 при 950 °C за 5 часов составляют 608 г/м². Все образцы полностью разрушаются при такой температуре с образованием на их поверхности глубоких трещин. Нанесение покрытия толщиной 10 мкм резко уменьшает скорость окисления сталей - привес образцов из стали ст3 составляет -55.66 г/м², а из стали 20 – +6.57 г/м².

Кинетика окисления углеродистых сталей с покрытием титан-кремний показывает, что в начальный момент наблюдается практически линейное плавное увеличение массы образца. Покрытие обеспечивает эффективную защиту стали в течении нескольких часов. Затем скорость окисления резко возрастает и образец разрушается. Точку перегиба на кинетической кривой окисления можно принять за критерий оценки жаростойкости испытуемых сталей с покрытиями. Без защитного покрытия образцы окисляются интенсивно. В ходе окисления в них образуются глубокие трещины, что приводит к значительному разбросу измеряемых скоростей окисления. Одной из причин слабой эффективности жаростойких силицидных покрытий является их интенсивное диффузионное взаимодействие с основой. В результате этого происходит образование хрупкого переходного подслоя. Для уменьшения данного эффекта исследовали подслои из нитрида титана и сплава железо-хром.

УДК 621.7.014; 669.017.539

Свойства газопламенных наномодифицированных покрытий на основе отходов твердого сплава

Горанский Г.Г.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

Целью работы являлось создание наномодифицированной порошковой композиции из отходов (стружка) твердого сплава РУП БМЗ с высокими технологическими и эксплуатационными свойствами при газопламенном напылении износостойких покрытий.

Композиция изготавливалась диспергированием компонентов в атриторе. Модификатором являлся синтезированный в атриторе порошковый сплав на основе железа системы Fe-Ni-Cr-B-Si-Co-Mo с аморфными и наноразмерными фазовыми включениями (авторское обозначение ВГ). Содержание ВГ в композиции варьировалось от 2 до 15 вес. %. Средний размер зерен WC составлял 2-5 мкм, частицы ВГ плакировали до 38% поверхности конгломератов частиц твердого сплава (в зависимости от количества ВГ). Толщина слоя – 2-4 мкм. Содержание аморфной фазы в материале будущего покрытия достигало 2,2-13,6%, а наноструктурированных (40-80 нм) интерметаллидных соединений – до 2,1-12,3%.

При газопламенном напылении порошковой композиции давление газов: МАФ – 0,12 МПа, кислород – 0,19 МПа. Расход газов: МАФ – 1 м³/час, кислород – 3,2 м³/час. Скорость истечения газа из сопла 180-200 м/с. Температура газовой смеси – до 3080 К. Средняя скорость частиц (размер d=40-63 мкм) напыляемого материала 100-120 м/с. Максимальная температура нагрева в струе: чистого порошка WC-Co 1220 К, композиции WC-Co + ВГ – до 1480 К. Температура нагрева заготовки в зависимости от ее конфигурации и содержания добавки ВГ – от 520 до 760 К.

Таблица – Свойства материала покрытия

Содержание добавки ВГ, %	HRA	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	a_k , кДж/м ²	Температура спекания, К
-	86	1312	4286	23,9	1635
2	81	1281	4272	25,4	1595
6	82	1340	4254	26,1	1530
10	85	1396	4235	16,9	1460
15	85	1463	4212	28,2	1415

Толщина полученных покрытий – 1,6-3,2 мм. Содержание аморфной фазы в покрытиях достигало 3,8-6,1%, а наноструктурированных (40-80 нм) интерметаллидов – до 6,2-8,3%.

УДК 621.762

Создание новых огнеупорных и тугоплавких теплоизоляционных материалов из порошковых смесей «алюминий–трепел–углерод» с использованием экзотермического синтеза, энергетически стимулированного микроволновым излучением

Саранцев В.В., Какошко Е.С., Реут О.П.

Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ

В настоящее время микроволновая обработка неорганических смесей относится к числу перспективных методов повышения скорости твердофазных процессов. В силу особенностей микроволнового нагрева использование электромагнитной энергии открывает широкие возможности для синтеза порошков неорганических соединений с контролируемыми свойствами.

Создание новых огнеупорных и тугоплавких теплоизоляционных материалов целесообразно проводить с использованием экзотермического синтеза (СВС), энергетически стимулированного микроволновым излучением (СВЧ). Термодинамическое взаимодействие в реакционных порошковых смесях «алюминий–трепел–углерод» в таких условиях носит более управляемый характер, направленный на получение материалов с заданными свойствами. Использование микроволнового нагрева приводит к значительному увеличению скорости реакции по сравнению с традиционными способами нагрева, что позволяет уменьшить время процесса – совмещение во времени и пространстве нескольких операций, например, растворения исходных веществ и непосредственно переноса энергии к реакционной смеси.

Синтез материалов проводится на основе природного сырья – известкового трепела единственного в Беларуси месторождения «Стальное» (Хотимский р-н, Могилевская обл.). Для обеспечения протекания процессов вспучивания и экзотермического синтеза используются добавки металлического алюминия, силикатов натрия и калия и др. Кроме этого, возможно использование промышленных отходов нефтепереработки Мозырьского НПЗ.

Разработанные огнеупорные, теплозащитные и теплоизоляционные материалы найдут широкое применение при конструировании тепловых агрегатов в различных отраслях промышленности. С помощью СВС-материалов с градиентом плотности, основанные на применении технологии СВС, стимулированного микроволновой обработкой, можно конструировать теплозащиту любого теплового агрегата.

Получение антифрикционных покрытий на основе эпоксидных порошковых материалов

Ваганов В.В.¹, Комарь В.В.²

¹Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси

Достоинства тонких полимерных покрытий (40-60 мкм) как антифрикционных материалов определяются их способностью проявлять значительные упругие деформации, что затрудняет образование при трении адгезионных узлов сцепления в зоне контакта полимер-полимер и полимер-металл, а также легкостью введения в композиции функциональных добавок для регулирования механических свойств, адгезионных характеристик и, следовательно, коэффициента трения. Однако реализация данных свойств возможна только при обеспечении стабильности адгезии тонкослойных покрытий с металлической подложкой при эксплуатационных нагрузках.

Учитывая этот фактор для исследования использовали порошковые эпоксидные композиции П-ЭПк 701 (ТУ РБ 100029049.026-2004, изв. №1 об изм. от 25.11.2010г.). Композиции получали методом экструзионного смешения, последующего измельчения сплава и классификации частиц по дисперсности. Для исследования использовали фракцию порошка композиции со средним размером частиц 45мкм. Порошковая композиция включала эпоксидный олигомер, отвердитель, ускоритель полимеризации, пигменты, наполнители и функциональные добавки. Дополнительно в качестве антифрикционной добавки (АФД) в композицию вводили политетрафторэтилен (средний размер частиц 6мкм) в смеси со специальным наполнителем. Суммарная степень наполнения композиции с АФД составляла 42-45%. Покрытия получали методом электростатического напыления. После полимеризации проведены триботехнические испытания покрытий по определению коэффициента трения на машине МТВП-9 без смазочного материала. Контртело – деревянный цилиндр (d=10 мм), удельная нагрузка 2МПа. В результате испытаний установлено снижение коэффициента трения в 2-4 раза (в сравнении с немодифицированными покрытиями) до 0,1-0,14 при 2000 циклах испытаний. Наименьшее значение коэффициента трения наблюдается для полимерной композиции, содержащей 5% АФД. Показано, что введение АФД не приводит к снижению физико-механических свойств покрытий: прочность на удар составляет не менее 140см (ГОСТ 4765), твердость по Бухгольцу – 125 усл. ед. (ГОСТ 22233), адгезионная прочность – 0 баллов (ГОСТ 15140).

Состав и микроструктура электрохимических композиционных покрытий (Ni-B)-BN в зависимости от условий получения электролитов-суспензий

Якубовская С.В., Ходан Е.П., Некшило А.Д.
Белорусский национальный технический университет

Для повышения физико-механических (твердости, прочности, износостойкости) и химических (сопротивление коррозии) свойств поверхностного слоя изделий используются композиционные электрохимические покрытия (КЭП), в том числе на основе никеля, содержащие ультра-, наноразмерные частицы упрочняющей фазы. Однако получение подобных КЭП сопряжено с рядом проблем: наноразмерные частицы склонны к агломерации, суспензии на их основе неустойчивы. Формирование дисперсной фазы в процессе электролиза в форме наноразмерных частиц, либо прекурсоров, образующих далее наноразмерные частицы, позволяет избежать агломерации и получить покрытия с высокими физико-техническими характеристиками.

В настоящей работе изучалось влияние условий получения электролита $\text{Co}(\text{NH}_2)_2\text{-NiCl}_2\text{-H}_3\text{BO}_3$ на состав, микроструктуру и механизм формирования КЭП. Электрохимическое осаждение покрытий проводили при стандартной схеме электролиза. Исследование микроструктуры поверхности покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA / TESCAN (Япония).

Показано, что при определенных условиях приготовления электролита бор может присутствовать в электролите в виде растворимых соединений. (эфира борной кислоты (прекурсор бориды никеля), прекурсоров нитрида бора). При этом электролит обладает высокой агрегативной устойчивостью.

Формирование КЭП (Ni-B)-BN из электролитов, содержащих прекурсоры приводит к образованию достаточно однородных по составу и микроструктуре покрытий с меньшим объемным содержанием частиц дисперсной фазы. Варьируя условия приготовления электролита и температуру проведения процесса электролиза возможно получение покрытий различного состава: с большим содержанием в никелевой матрице бора (преимущественно в виде частиц бориды никеля Ni_3B) при 360-375 К; с большим содержанием BN при 370-400 К.

При температурах, превышающих 400 К происходит образование дисперсных частиц гексагонального нитрида бора и неустойчивой суспензии с соответствующим повышением неоднородности распределения и объемного содержания дисперсных частиц в КЭП.

Инверторный источник для проведения электроискрового легирования

Пантелеенко Ф.И., Саранцев В.В., Азаренко Е.Л.
Белорусский национальный технический университет

Повышение срока службы деталей машин, энергооборудования, приборов, является важной задачей изготовителей и ремонтных организаций. Каждый из существующих методов нанесения покрытий имеет свою область применения [1].

Положительные результаты, полученные при формировании покрытий на рабочих кромках лопаток турбин с применением технологии электроискрового легирования (ЭИЛ) потребовал разработки и изготовления современного и надежного оборудования [2]. Для ОАО «Белэнергоремналадка» был разработан и изготовлен комплект оборудования для ЭИЛ состоящий, из источника питания и вибратора. Масса установки – 21 кг. В используемой схеме постоянное напряжение после выпрямителя силового блока преобразуется с помощью электронного преобразователя в мощные импульсы тока с заданной частотой и длительностью. Недостатком оборудования является наличие трансформатора с массой 14 кг, что составляет 2/3 массы всей установки. В связи с этим были проведены работы по разработке инверторного источника. В последние годы на рынке появилось достаточное количество силовых транзисторов (MOSFET или IGBT), что позволило в совокупности с соответствующими драйверами осуществлять коммутацию мощных импульсных токов на частотах до 120 кГц, а использование микропроцессорной техники дало возможность реализовать программное управление импульсными режимами работы.

Исходя из энергетических и технологических особенностей процесса ЭИЛ для установки мощностью 2 кВт, были определены оптимальные диапазоны частоты 0,6 – 15,0 кГц и длительности импульсов от 10 до 250 мкс (скважность 10-75%). По данным параметрам был изготовлен макет инверторного источника для проведения ЭИЛ. Масса источника за счет использования инверторной схемы была снижена до 10 кг.

Литература:

1. Упрочнение и восстановление поверхностей деталей. Лабораторный практикум: учебное пособие / К.В.Буйкус [и др.]; под ред. Ф.И. Пантелеенко. – Минск: БНТУ, 2010. – 344 с.

2. Продление срока службы лопаток последних ступеней паровых турбин / Саранцев В.В., Федоров И.Г. // Энергетическая стратегия. – №4 – 2012. – С.23-26.

Электролитно-плазменная обработка внутренних поверхностей длинномерных трубчатых изделий

Алексеев Ю.Г., Паршутто А.Э., Кособуцкий А.А., Головач С.И.
Белорусский национальный технический университет

Качество и надежность трубопроводных изделий современного машиностроения существенно зависят от совершенства применяемых технологических процессов очистки и подготовки внутренней поверхности. Известные методы внутренней обработки труб, основанные на пескоструйной и химической очистке, а также электрохимическом полировании, имеют ряд недостатков, таких как низкая производительность, высокая себестоимость, сложности с утилизацией материалов.

Для решения указанной проблемы предложен метод электролитно-плазменной обработки, который при условии применения специального электродного устройства и гидравлической системы позволяет выполнять качественную очистку и полирование внутренней поверхности трубчатых изделий. Электролитно-плазменная обработка является одним из наиболее прогрессивных процессов обработки поверхности металлов. В основном это связано с рядом существенных преимуществ процесса по сравнению с механическими, химическими и электрохимическими методами.

В ходе испытаний разработанного специального электродного устройства выполнялась обработка внутренней поверхности трубы из стали 12Х18Н10Т с диаметром 22 мм, имеющей сварной шов. Электродное устройство имело наружный диаметр 18 мм. Суммарная площадь сечения щелевых сопловых аппаратов составляла 1,2 см². Обработка велась при скорости истечения струй электролита 1,0 м/с. Электролит подавался через штуцер-токоподвод, соединенный с отрицательной клеммой источника питания. В качестве электролита использовался водный раствор сульфата аммония концентрацией 7 % с температурой 80 °С. Продолжительность обработки составляла 60 с.

В результате испытаний отмечена высокая интенсивность очистки и сглаживания микронеровностей внутренней поверхности труб (выше в 3–5 раз) по сравнению с электролитно-плазменной обработкой наружной поверхности в её классическом виде. Исследования обработанной поверхности трубы показали, что окалина и сварочный шлак удаляются полностью, поверхность металла очищается и имеет блестящий вид. При исходной поверхности с параметром шероховатости Ra 0,28–0,48 мкм после обработки получен параметр шероховатости в пределах Ra 0,06–0,26 мкм.

Полирование и очистка поверхности с применением биполярных импульсных режимов электрохимической обработки

Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Паршуто А.Э., Королёв А.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Для подготовки поверхностей металлических изделий для нанесения различных покрытий в зависимости от вида покрытия и требований, предъявляемых к нему, в настоящее время применяются механическое полирование и очистка, обезжиривание, травление и активация, химическое и электрохимическое полирование.

Электрохимическое полирование поверхности металлов и сплавов является одним из наиболее прогрессивных процессов подготовки поверхности для нанесения покрытий. В основном это связано с рядом существенных преимуществ процесса по сравнению с механическими методами. Одним из недостатков электрохимического полирования является зависимость режимов обработки и состава электролита от материала обрабатываемого материала. Для электрохимического полирования применяются агрессивные дорогостоящие, электролиты, требующие специальных технологий по утилизации.

Электрохимическое полирование поверхности возможно при использовании импульсов тока определенных амплитудно-временных параметров, что позволяет осуществлять преимущественное растворение микровыступов, приводящее к сглаживанию высоты микронеровностей поверхности и появлению блеска. Использование коротких импульсов тока определенных амплитудно-временных параметров поддерживаются необходимые скорости этих процессов.

Для выполнения импульсной электрохимической обработки разработан импульсный источник технологического тока, который имеет крутопадающую вольтамперную характеристику. Изменение параметров импульсов тока осуществляется по командам системы автоматического управления. Источник выполнен по ключевой бестрансформаторной схеме, отличается высоким коэффициентом полезного действия, компактностью и модульностью конструкции.

Установлено, что применение миллисекундных импульсов положительной и отрицательной полярности позволяет добиться эффективного полирования и очистки поверхности при электрохимической обработке в электролитах с низкой концентрацией и с относительно малыми энергетическими затратами. Наилучшее качество обработанной поверхности обеспечивается при условии обработки в области транспассивного анодного растворения.

Генерация электромагнитной энергии в околоземном космическом пространстве

Ушеренко С.М.¹, Овчиников В.И.², Ушеренко Ю.С.³

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Обособленное хозрасчетное подразделение «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», ³ Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ

В околоземном пространстве существуют массивные пылевые облака, состоящие из остатков комет, остатков горючего от запуска в космос космических аппаратов (КА) и при соударении на околоземной орбите твердых тел. Массу пылевых объектов в околоземном пространстве можно ориентировочно оценить, исходя из того, что ежегодно на нашу планету падает свыше ста тысяч тонн космической пыли. Одним из важнейших факторов, воздействующих на космические аппараты (КА), являются заряженные частицы средних и высоких энергий (~0,01–100 МэВ), входящие в состав радиационных поясов Земли, космического корпускулярного излучения солнечного и галактического происхождения. Диэлектрические материалы при облучении заряженными частицами с энергией 1-100 МэВ могут аккумулировать избыточный электрический заряд и создавать в объеме облученного материала высокие электрические потенциалы. Если напряженность электрического поля в объеме облученного диэлектрика от внедренного заряда превысит его электрическую прочность (1-1,5 МВ/см), то произойдет электрический пробой диэлектрика на его поверхность. При некоторых условиях характер кумуляции энергии в разрядном канале соответствует электрическому взрыву, при этом в окружающую среду инжектируется плазмод, создающий широкий спектр электромагнитных помех (ЭМП).

Пылевые сгустки при наличии разницы потенциалов ускоряются электрическим полем, реализуется высокоскоростной удар сгустка дискретных частиц о металлическую преграду. Поскольку фракция частиц космической пыли составляет 1 – 100 мкм в диапазоне скоростей свыше 500 м/с ударное взаимодействие происходит в режиме сверхглубокого проникания. В режиме сверхглубокого проникания частиц космической пыли в объеме КА генерируется электромагнитное поле в форме шаровой молнии, что приводит к поражению систем управления, т.е. к ускоренной деградации электронных элементов и схем. Таким образом, за счет увеличения в околоземном пространстве массы пылевых объектов снижается срок службы космических аппаратов, осуществляющих

наблюдение, ретрансляцию и контроль за наземными объектами.

УДК 538.913

Легирование внедрением в объем металлических материалов ступков дискретных порошковых частиц

Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно повышение уровня физико-механических свойств достигается за счет дополнительного легирования сплава. Однако легирующие добавки имеют высокую стоимость, а процесс их введения требует значительного количества энергии. Динамические методы легирования позволяют существенно изменять концентрацию легирующих элементов за доли секунды. Технология динамического легирования основана на эффектах динамического массопереноса в твердом теле за счет энергии ударных волн. Сверхглубокое проникание (СГП) реализуется при соударении с твердыми телами ступков легирующих порошковых частиц. При скоростях соударения дискретных порошковых частиц 300–3000 м/с с металлической преградой в ней создается неравномерное пульсирующее поле давлений. За счет суперпозиции ударных волн возникают длинномерные пульсирующие зоны высокого давления (5–20 ГПа), окруженные зонами фонового давления (0,2–1 ГПа). Частицы легирующего вещества, двигаясь внутри зон высокого давления, трутся о стенки формируемых канальных элементов. Пульсирующие в поперечном и продольном направлении зоны высокого давления переводят матричный материал в квазижидкое состояние. Это происходит за счет, т.н. динамических фазовых переходов. При обработке в режиме СГП стальной преграды за период времени $2,57 \cdot 10^{-7}$ с происходит разрушение структуры исходной кристаллической решетки, потеря дальних связей и формирование новой кристаллической структуры ($\alpha \leftrightarrow \gamma$). В период времени, когда исходная решетка уже разрушилась, а новая еще не возникла, материал зоны пульсирующего высокого давления представляет собой квазинейтральную смесь положительно заряженных ионов и электронного облака (плотная плазма). При движении дискретных частиц в зоне высокого давления происходит потеря массы микроударников, за счет чего зоны высокого давления избирательно легируются. При легировании этих зон концентрация легирующих элементов, а соответственно изменения структурных элементов и макро свойств, в объеме твердого металлического тела создается композиционный материал. При этом матричный материал (металл, сплав) оказывается

прошитым волокнами, созданными при взаимодействии вводимых частиц с матрицей.

УДК 537.87

Особенности генерации электромагнитной энергии в режимах сверхглубокого проникания

Ушеренко Ю.С.², Боровик Д.И.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ

В околоземном пространстве существует огромное количество космического мусора. Значительную его часть составляют сгустки космической пыли. Сгустки порошковых частиц при соударении и прошивке металлических преград двигаются в них, теряя массу, заряжаясь и создавая в них переменное поле давления. За счет огромного количества космической пыли в околоземном пространстве давление составляет $\approx 10^4$ Па. При этом регистрируются потоки высокоэнергетических ионов, энергия которых в объеме металлического тела достигает и превышает 100 МэВ. Значимость генерируемого электромагнитного поля заключается в том, что выходя из объема оболочки космического аппарата, т.е. при выходе за пределы твердого металлического тела и попадании в область отрицательной зоны электрического поля ионы дополнительно ускоряются до энергии до 490 МэВ. Поскольку формируемые электромагнитные поля являются переменными, то при попадании в область положительно заряженной зоны электрического поля ионы металла тормозятся. Такие высокоэнергетические частицы способны проникать сквозь защитные оболочки и поражать электронные системы управления, приводя к ускоренной деградации. Выходящие за пределы металлической оболочки струи плотной плазмы под действием переменного электромагнитного поля теряют квазинейтральность, заряжаются и испытывают колебания. При этом головная часть струи внедряется в пластину кремния, записывая сигнал. Частота колебания поля достигает $-f \approx 15 \cdot 10^6$ Гц.

Плотность энергии в зоне генерации электрического поля достигает при этом

$$\omega_e = \frac{E_w}{V_t} = 3,483 \cdot 10^{10} \text{ Дж/м}^3$$

При экспериментальной плотности электрического поля 34 ГДж/м^3 объемная энергия этого поля в объеме металлической оболочки в каждый период реализации отрицательной зоны электрического поля составляет 13 МДж. Генерируемое электрическое поле за счет высокочастотной составляющей излучает электромагнитную энергию в открытое

пространство. Однако этот процесс достаточно длителен. Если в качестве критерия для оценки этого поля использовать устойчивость микрочипов, то время испарения покрытий микросхем составляет десятки минут.

УДК 666.3-184:661.687:519.22

Взаимосвязь состава и свойств горячепрессованной керамики на основе нитрида кремния из ультрадисперсных порошков

Нисс В.С., Каледина Н.Б.¹, Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет,

¹Белорусский государственный технологический университет

При проведении экспериментов применяли ультрадисперсные порошки плазмохимического синтеза системы $Si_3N_4-Y_2O_3$, которые отличаются повышенной удельной поверхностью ($55 \text{ м}^2/\text{г}$), химической активностью, сложным фазовым составом. Горячее прессование проводили и использованием индукционного нагрева в графитовых пресс-формах в среде азота при температуре до $1850 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 25 МПа . Связь содержания в порошках $\alpha-Si_3N_4$ и Y_2O_3 с прочностными свойствами керамики можно объяснить морфологией растущих зерен, а также составом и состоянием фаз на межзеренных границах. Эту связь можно представить в виде таблицы

№	Доля Y_2O_3 , %	$\sigma_{изг}$, МПа	K_{1c} , МПа · м ^{0,5}
1	2,3	380	«.7
2	5,0	430	3,5
3	9,5	650	7,0
4	15,0	720	8,5
5	17,8	1080	9,0

Тесноту этой связи определяли с помощью коэффициента парной корреляции r_{ij} . Вычисленные значения r_{ij} позволили установить связь между долей Y_2O_3 (y_1), $\sigma_{изг}$ (y_2) и K_{1c} (y_3) в виде линейных корреляционных уравнений: $K_{1c}, \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5} = 0,52 + 0,00933\sigma_{изг}$.

$$Y_2O_3, \% = 0,022\sigma_{изг} - 4,424.$$

$$Y_2O_3, \% = 2,2K_{1c} - 3,611.$$

Эти уравнения позволяют по величине доли Y_2O_3 (y_1) прогнозировать с вероятностью 95% значения $\sigma_{изг}$ и K_{1c} .

Обработка материалов давлением

Разработка технологии и оборудования для пластического формообразования стойки чизельного культиватора

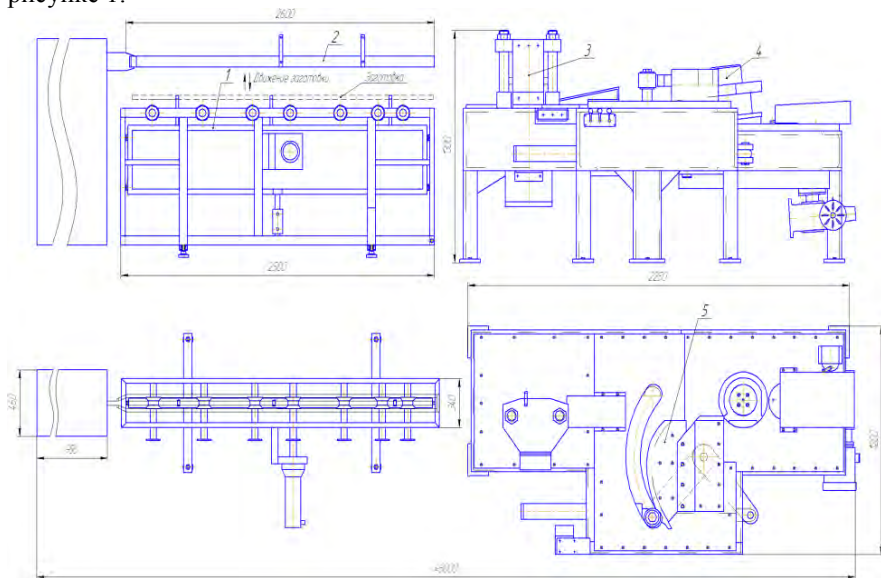
Давидович Л.М.¹, Шиманович И.М.¹, Давидович А.Н.², Лемеза А.Г.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Технология включает в себя следующие операции: нагрев заготовки 30×30×2500 мм в П-образном индукторе, установленном на генераторе СЭЛТ 004-200/44 и последовательное осуществление формообразования стойки – изгиб колена, навивку спиральной части и формовку С-образной части стойки.

Оборудование для осуществления этой технологии изображено на рисунке 1.



- 1 - механизм подачи заготовки в индуктор, 2- индуктор, 3- механизм привода рольганга, 4- устройство навивки спиральной части стойки, 5 -формовочный узел с С-образным ручьем и копиром.

Рисунок 1 - Оборудование для пластического формообразования стойки чизельного культиватора

Особенности термической обработки крупногабаритных пружинных изделий

Давидович Л.М.¹, Мазуренок А.В.¹, Шиманович О.А.¹, Давидович А.Н.²,
Лемеза А.Г.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

При изготовлении стойки чизельного культиватора из стали 55С2А применяют заготовку сечением 30×30 мм и длиной 2500 мм. Для нагрева такой заготовки используют индукционный нагреватель. Индукционный нагрев заготовки при этом используется как средство, обеспечивающее пластическое формоизменение стали 55С2А, так и в качестве средства, обеспечивающего фазовое превращение в стали под последующую операцию закалки после формообразования изделия.

Одной из особенностей термической обработки пружинной стали является необходимость ступенчатого нагрева заготовки, обусловленная низкой теплопроводностью этого материала. На первом этапе производят нагрев заготовки до температуры 400°-500°С с выдержкой при этой температуре ≈ 1 мин. Такой прием снижает опасность возникновения трещин при дальнейшем нагреве до температуры 1000°-1100°С. После окончания процесса формообразования производят фиксацию формы изделия выдержкой в течение 0,5 мин и контролируют температуру заготовки до достижения температуры интервала 870°-850°С. В качестве охлаждающей жидкости использовали воду из соображений допустимости применения ее при закалке стали 55С2А, экологичности процесса охлаждения и как среду, обеспечивающую необходимую скорость охлаждения, в интервале 600°/сек-300°/сек. На практике эти сложные режимы охлаждения достигаются следующим образом. В начальный момент стойка чизельного культиватора погружается в ванну с водосливом, заполненную водой, своей наиболее массивной витой пружинной частью. Далее следует полное погружение с образованием на ее поверхности паровой рубашки, а затем включается проток воды по трубам водослива переполнения и деталь омывается вновь поступившей водой с обеспечением необходимой скорости охлаждения с разрушением слоя пленочного кипения. Тогда температура детали понизится до 300°С, проток воды отключается и изделие охлаждается с замедленной скоростью около 250°/сек.

Особенности радиальной штамповки шлицев на валах

Исаевич Л.А., Сидоренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

В современном машиностроении широко используются различного рода шлицевые соединения, среди которых значительное место занимают треугольные шлицы. Традиционно их получают на наружных поверхностях шлицефрезерованием. В этой связи более предпочтительным является способ радиальной штамповки всех шлиц одновременно, для реализации которого предложено оригинальное устройство. Оно состоит из корпуса 1, в котором установлена нижняя плита 2, сепаратор 3, в радиальных пазах которого установлены пуансоны 4, передние рабочие кромки которых выполнены профильными (рисунок 1), отводимые от заготовки двумя полиуретановыми буферами 5.

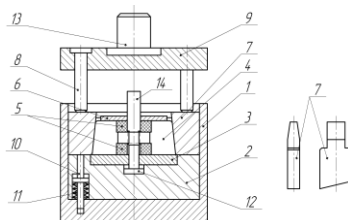


Рисунок 1 – Оснастка для формообразования шлицев

Сверху к сепаратору 3 крепится крышка 6. Соосно корпусу с возможностью перемещения вдоль его оси установлена обойма 7 с конической внутренней поверхностью. Обойма своей конической поверхностью контактирует с пуансонами 4. Перемещение обоймы вниз осуществляется от трёх толкателей 8, закрепленных в верхней плите 9. Подъем обоймы 7 осуществляется выталкивателями 10, установленными на тарельчатых пружинах 11. Заготовку устанавливают на упор 12. Верхняя плита 9 крепится к ползуну прессы с помощью хвостовика 13. Позицией 14 обозначена заготовка. Для выдавливания шлицев заготовка 14 устанавливается между пуансонами 4 на упоре 12 и обойме 7 от толкателей 8 сообщается осевое перемещение сверху вниз. При этом выталкиватели 10 уходят в нижнюю плиту 2, пуансоны 4 перемещаются в радиальном направлении, сжимая буфера 5. в процессе шлицеобразования металл, вытесняемый пуансонами, идет на формирование шлицев. При обратном ходе выталкиватели 10 поднимают обойму 7, освобождая пуансоны 4. при этом буферы 5 синхронно отводят все пуансоны от детали 14 и прижимают их к конической поверхности обоймы 7.

Получены формулы для расчета усилия штамповки.

Расчет опережения при прокатке с нарастающим обжатием

Исаевич Л.А., Ким Сан

Белорусский национальный технический университет

Величина опережения существенно зависит от точности прокатки. Это необходимо учитывать, особенно на участках с переменным обжатием.

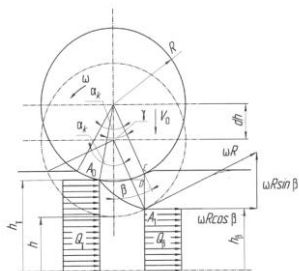


Рисунок 1 – Схема прокатки

Для расчетов обычно используют довольно сложные методики, например методику расчета переменных скоростей. Допускаем, что в рассматриваемом случае не будет изменяться величина критического (нейтрального) угла γ , определяющего положение критического сечения, разделяющего потоки металла на участки опережения и отставания.

Для обеспечения требуемых продольных размеров готового профиля необходим учет опережения на различных фиксированных участках полосы. При такой постановке формула для расчета опережения может быть получена из закона сохранения масс.

Для любого момента времени справедливо условие $Q_\beta = Q_\gamma$, где Q_β и Q_γ — потоки металла, проходящие через соответствующие сечения очага деформации в произвольный момент времени.

После преобразований, получим уравнение для определения мгновенного опережения металла в сечении выхода из очага деформации при прокатке полос переменной толщины с нарастанием обжатия

$$S = \frac{\left(1 + \frac{R}{h} \beta^2 + \frac{R}{h} \gamma^2\right) \left[1 - \frac{(\gamma - \beta)^2}{2}\right]}{\left(1 + \frac{R}{h} \beta^2\right) \left(1 - \frac{\beta^2}{2}\right)} - 1,$$

где β — угол, определяющий положение сечения выхода; $\beta > 0$ при возрастании обжатия и $\beta < 0$ при уменьшении обжатия.

Входящий в выражение критический угол определяют (с учетом знака β) по уравнению, которое может быть получено как из условия равновесия сил в очаге деформации, так и на основе энергетической теории взаимодействия полосы и валков.

Технология изготовления сферообразных изделий из трубных заготовок с использованием локального очага пластической деформации

Карпицкий В.С., Логачев М.В., Карпицкий Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Интенсивное развитие энергетической, химической и нефтегазовой отраслей промышленности способствует все более широкому применению полых сферообразных деталей в трубопроводящих системах этих отраслей в качестве отдельных ее элементов. Так, например, в шаровых кранах для пропуска жидкостей и газа в качестве запорного элемента используется полая деталь шарообразной формы с простой плавной наружной образующей. Также изделия могут быть получены методом раздачи с использованием жесткого деформирующего инструмента-штампа, схема которого приведена на рисунке 1. Штамп состоит из двух полуматриц 3 и 4,

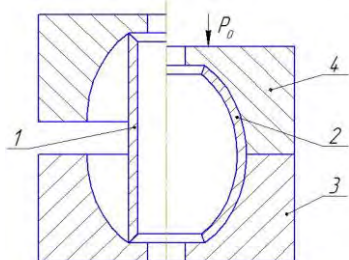


Рисунок 1 – Схема формообразования сферообразных полых изделий.

4, внутренние рабочие поверхности которых имеют полусферическую форму. В процессе деформирования при смыкании полуматриц они образуют собой сферу, соответствующую форме изделия 2. В качестве заготовки 1 используется трубчатая заготовка (материал 12X18H10T ГОСТ 9940-2002) соответствующих размеров.

Экспериментально установлено, что на первом этапе процесса деформирования происходит потеря устойчивости трубчатой заготовки с возможным образованием в ее центральной части участка вогнутой формы, что нежелательно. В связи с этим для устранения такого негативного фактора на внутренней торцевой стенке трубчатой заготовки выполняют фаски, угол наклона которых выбирают конструктивно в зависимости от размеров изделия, что способствовало при потере устойчивости заготовки образованию ее сферообразной выпуклой формы. Эта потеря устойчивости оценивается неравномерностью распределения деформаций по длине заготовки. В процессе деформирования на заготовку воздействует осевое усилие осадки P_0 , что приводит к возникновению в материале заготовки осевых нормальных сжимающих напряжений и тангенциальных растягивающих напряжений, действующих в радиальном направлении.

**Компьютерное моделирование порошковых пористых материалов
с использованием пакета LS-DYNA**

Белявин К.Е.¹, Белый А.Н.¹, Нестерович М.Л.¹, Абрамов А.А.²

¹ Белорусский национальный технический университет,

² Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Компьютерное моделирование позволяет – за счет выбора наиболее эффективных технологических процессов обработки изделий – всесторонне проанализировать свойства получаемых изделий путем проведения виртуальных исследований, не требующих натуральных экспериментов. Однако адекватность применения компьютерных моделей при исследовании порошковых пористых материалов во многом зависит от корректного задания модели деформируемого некомпактного материала.

В рамках данной работы предложен подход использования пакета LS-DYNA при исследовании процесса прессования в закрытой пресс-форме цилиндрических образцов, изготовленных из порошкового алюминиевого и циркониевого сплавов. Рассмотрены две модели: MODIFIED DRUCKER-PRAGER CAP MODEL (DPC модель) для сплава циркония и GEOLOGIC CAP MODEL для алюминиевого сплава. Для оценки адекватности выбранных моделей материала были решены тестовые задачи. Одной из таких задач является эксперимент поставленный Ли и Кимом для модели материала GEOLOGIC CAP. В их работе рассматривался процесс одноосного сжатия под давлением 300 МПа цилиндрического образца в закрытой пресс-форме из алюминиевого сплава, с размерами – диаметр $D=20$ мм, исходная высота $H=30$ мм, начальная относительная плотность – 0.51.

Результаты численного моделирования на примере данного тестового эксперимента показывают, что используемая модель GEOLOGIC CAP достаточно адекватно описывает процесс прессования порошкового материала. Максимальная погрешность результатов не более 2%.

Результаты проведенных виртуальных экспериментов позволили дать представление о характере протекающих процессов, общих закономерностях формоизменения порошков, получить численные данные, характеризующие физические величины (плотность, напряжения и др.). Таким образом, можно говорить об адекватности разработанных компьютерных моделей и их возможности использования при моделировании более сложных процессов, к примеру, прокатке заготовок из порошкового материала.

Разработка технологических схем штамповки двухслойных изделий трубчатой формы из однослойных заготовок вместо биметалла

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

В работе рассматривается возможность изготовления полых двухслойных изделий различной формы из плоских и полых заготовок с применением комбинированных методов обработки металлов давлением. Предложенные технологические схемы (рисунок 1) предполагают применение, наряду с операциями листовой штамповки (вытяжка, протяжка, отбортовка, обжим, раздача), и таких операций, как прямое и обратное выдавливание, волочение, дорнование и др. При пластическом деформировании материал более мягкого слоя заполняет микронеровности, канавки, локальные углубления, имеющиеся на поверхности заготовки более твердого слоя, обеспечивая прочное механическое зацепление слоев.

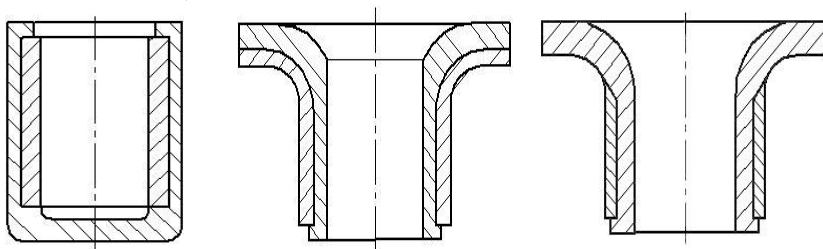


Рисунок 1 - Примеры полых двухслойных изделий

В первом случае осуществляется обжатие заготовки по толщине стенки при незначительном уменьшении ее диаметра. При этом замковые соединения создаются преимущественно за счет пластического деформирования заготовки более мягкого слоя одним из инструментов (матрицы или волоки, пуансона или дорна). Во втором случае имеет место существенная деформация и по толщине и по диаметру заготовки.

Создание замковых соединений возможно как при одновременном деформировании слоев составной двухслойной заготовки, так и при раздельном (последном) их деформировании. Метод последовательного деформирования имеет более широкие технологические возможности и позволяет получать изделия более сложных форм, с равномерной толщиной слоев по длине изделия и требуемым соотношением их толщин.

Новая технология производства биметаллического стержневого инструмента штамповой оснастки

Шарий В.Н., Власов В.В., Рубченя А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время важнейшей задачей является углубление знаний о процессах, определяющих образование соединения металлов в твердой фазе, особенностях их совместной пластической деформации, исследование закономерностей формирования и изменения свойств биметаллических композиций при их изготовлении, обработке и эксплуатации.

Особенно эффективным для современных условий хозяйствования следует считать уникальную возможность получения биметаллического стержневого инструмента на основе использования эффектов скоростного формоизменения.

Формообразование изделий осуществляли в конической матрице специальной конструкции по новому запатентованному способу изготовления стержневых деталей за счет совместного пластического истечения обоих металлов в осевом направлении, выполненную в матрице.

В результате проведенных исследований установлены закономерности и технологические особенности соединения разнородных материалов с образованием прочных связей за счет синхронного скоростного пластического течения в условиях горячей деформации двух материалов в радиальном либо аксиальном направлениях, реализуемого при начальных скоростях деформирования 70-80 м/с, с увеличением контактирующих площадей не менее чем в два раза, с приложением сжимающей нагрузки на поверхности контакта и обеспечением адиабатных условий (за счет высокой скорости деформации) реализации процесса пластического течения.

Разработаны технологические процессы, экспериментальная оснастка и оборудование, предназначенные для изготовления биметаллических стержневых деталей штамповой оснастки из композиций материалов 40X+5XНМ, 40X+ДИ-23, методом скоростного горячего выдавливания.

Результаты испытаний показали, что новая технология обеспечивает повышение стойкости стержневых изделий типа «Толкатель» и «Выталкиватель» по сравнению с заводской (механическая обработка резанием плюс традиционные операции термообработки) в 3–5 раз при одновременной экономии до 90% легированных инструментальных сталей.

Химический состав и механические свойства зоны соединения разнородных материалов при скоростном горячем выдавливании биметаллического (40X+ДИ23, 40X+5ХНМ) стержневого инструмента

Качанов И.В., Шарий В.Н., Власов В.В.
Белорусский национальный технический университет

Использование скоростных процессов объемного формоизменения, особенно в части изготовления биметаллических стержневых и формообразующих деталей штамповой оснастки, следует считать перспективным направлением современной металлообработки. Благодаря ряду преимуществ, включая ряд попутных эффектов (благоприятное действие сил инерции, снижение сил контактного трения), процессы скоростного формоизменения, особенно скоростного горячего выдавливания (СГВ), создают благоприятные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов. Особенно эффективным для современных условий хозяйствования следует считать уникальную возможность получения биметаллического стержневого и формообразующего инструмента на основе использования эффектов скоростного формоизменения.

Биметаллический образец, относящийся к торцевой части детали «Толкатель» с нумерацией точек для измерения микротвердости (№1-7) представлен на рисунке 1. Микротвердость на данном образце измерялась в диаметральной плоскости в направлении по стрелке.



I – основная часть (ДИ23), II – рабочая часть (40X), III – сварное соединение (шов) между основной и рабочими частями биметаллического выталкивателя

Рисунок 1 – Схема размещения точек для измерения микротвердости в стержневой части биметаллического образца

Микроструктура зоны соединения двух металлов, в которых измерялась микротвердость, представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Расположение точек для определения микротвердости в зоне шва биметаллического образца; × 1000

Измерения микротвердости показали, ее уменьшение при приближении к границе контакта со стороны сталей ДИ-23 и 40X (рисунок 3).

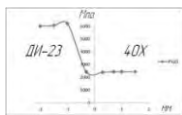


Рисунок 3 – Распределение микротвердости в зоне соединения.

Наличие более "мягкой", чем свариваемые материалы, зоны вблизи контакта способствует снижению остаточных напряжений вследствие их релаксации в этой зоне и повышению прочности сварного соединения.

Новая технология производства биметаллического формообразующего инструмента «вставка пуансона»

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А.

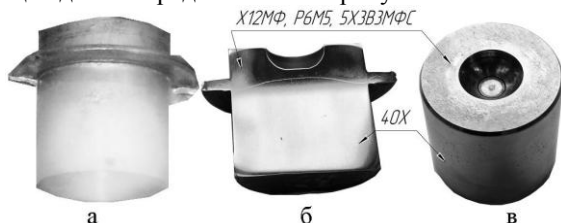
Белорусский национальный технический университет

Анализ существующих в настоящее время способов и технологий, изготовления деталей штамповой оснастки показывает, что они являются неэкономичными, т.к. характеризуется увеличенным расходом дорогостоящих штамповых сталей и низкой стойкостью деталей штамповой оснастки при изготовлении механической обработкой резанием.

Для устранения этих недостатков был разработан способ скоростного горячего выдавливания формообразующих деталей «вставка пуансона» из номенклатуры штампового инструмента ОАО «МАЗ», который позволяет получать изделие с минимальными припусками под шлифовку за один удар, а за счет формирования биметаллического соединения экономит до 60 % дорогостоящих высоколегированных штамповых сталей.

Для получения опытных образцов использовали составные заготовки из высоколегированных штамповых сталей X12MФ, P6M5 и 5X3B3MФC в качестве рабочей части, а в качестве материала основы использовали легированную конструкционную сталь 40X.

Режим скоростного горячего выдавливания осуществлялся в диапазоне скоростей 60-65 м/с с энергией удара 25 кДж при температуре составной заготовки $T_0=1200^{\circ}\text{C}$ с формированием биметаллического соединения за счет совместного пластического течения двух металлов в заусенечную канавку. Полученные по новой технологии биметаллические формообразующие детали представлены на рисунке 1.



а – поковка; б – поковка в разрезе; в - деталь после шлифовки

Рисунок 1–Внешний вид биметаллических деталей «вставка пуансона»

Проведенные исследования путем измерения микротвердости показали максимальные значения в очаге деформации, за счет большей проработки структуры, что ведет к повышению износостойкости инструмента.

УДК 620.1-1/-9

**Структурный анализ биметаллического соединения полученного
скоростным горячим выдавливанием для композиции сталей
40X+X12МФ**

Кудин М.В., Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

Благоприятные предпосылки для сваривания слоев разнородных сталей в процессе обработки давлением обеспечиваются при возможно большем увеличении площади соединяемой поверхности и возможно более высоких сжимающих напряжениях.

В процессе скоростного горячего выдавливания (СГВ) обеспечиваются условия для получения качественного биметаллического соединения за счет совместного пластического течения двух сталей с увеличением площади взаимодействия как минимум в два раза. При скоростном нагружении процесс можно считать адиабатическим, т.е. теплообмен между инструментом и заготовкой практически отсутствует, а за счет деформации происходит приращение температуры, что способствует удалению оксидных пленок. Также с увеличением скорости выдавливания повышается и скорость пластической деформации на контактных поверхностях, что приводит к росту плотности и частоты выхода дислокаций в зону контакта соединяемых металлов и увеличению концентрации активных центров взаимодействия. При этом увеличивается вклад механической активации в процесс образования прочного сварного соединения.

В результате экспериментальных исследований были получены опытные биметаллические образцы с композицией сталей 40X+X12МФ. Процесс СГВ для композиций сталей 40X+X12МФ осуществляли в диапазоне начальных скоростей деформирования $v_0 = 40-50$ м/с и энергией удара $E_0 = 3,5-4$ кДж.

Результаты спектрального анализа для композиции сталей 40X+X12МФ, полученные на электронном микроскопе, показали перераспределение легирующих элементов в зоне соединения двух металлов, которая составила порядка 10мкм. Повышение концентрации легирующих элементов хрома, марганца, молибдена и ванадия наблюдалось от стали X12МФ к стали 40X. Для исключения влияния последующих температурных воздействий на качество биметаллического соединения полученные образцы подвергали отжигу и закалке с проведением спектрального анализа зоны соединения, которые показали сохранение ранее полученных концентраций легирующих элементов, что говорит о стабильном качестве полученного соединения.

Технологические основы упрочнения закаленных деталей методами поверхностного пластического деформирования

Иваницкий Д.М., Король В.А., Иваницкий С.В., Баранов Д.А.
Белорусский национальный технический университет

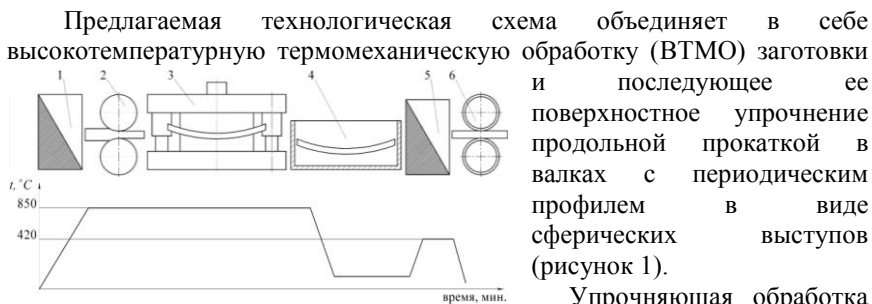


Рисунок 1 - Схема способа термомеханического поверхностного упрочнения рессорных листов

Упрочняющая обработка включает нагрев до температуры заковки, прокатку,

формообразование, закалку, отпуск и дробную деформацию поверхности. На заключительной стадии прокатку осуществляют в режиме дробной деформации поверхности (ДДП) рессоры путем создания в ее поверхностном слое деформированной структуры, образованной сферическими впадинами периодического профиля.

Реализация процесса упрочняющей обработки поясняется на примере технологической схемы (рисунок 1). Схема осуществления способа упрочнения содержит индукционную установку 1 для нагрева, прокатный стан 2, выполненный в виде двухвалковой клетки, штамп 3 для формообразования, закалочную ванну 4 и отпускную печь 5, а так же двухвалковый прокатный стан 6 для ДДП.

На стане 2 осуществляют продольную прокатку при температуре заковки. После прокатки производят формообразование штамповкой-гибкой в штампе 3, сохраняя при этом режим температуры заковки. После формообразования полосу подвергают закалке в ванне 4 и отпуску в печи 5. В стане 6 для ДДП установлены рабочие валки с периодическим профилем в виде сферических выступов, выполненных на бочке в виде сепаратора с шариками, расположенными в шахматном порядке.

Материаловедение в машиностроении

Влияние термической обработки на свойства топокомпозита на основе нержавеющей стали

Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Ковальчук А.В.
Белорусский национальный технический университет

Создание топокомпозита на основе нержавеющей стали (марка 12Х18Н10Т) с защитной пленкой из нитрида титана с высокими эксплуатационными характеристиками является весьма актуальной задачей. Основная цель создания топокомпозита – это достижение максимальной твердости, прочности на любой металлической основе.

Во многих научно-исследовательских работах не учитываются механические и эксплуатационные свойства основы. За счет покрытия стремятся улучшить свойства поверхности подложки, но повысить эксплуатационные характеристики всего изделия за счет тонких пленок затруднительно. Поэтому слоистую систему «покрытие – подложка» следует рассматривать, как один материал (топокомпозит) для изменения свойств которого достаточно оказать воздействие на подложку. Изменение свойств можно добиться, прибегнув к термическому упрочнению материала основы. В работе были выполнены исследования, показывающие влияние температуры на свойства топокомпозита.

Отжиг топокомпозита на подложке из нержавеющей стали проводился в окислительной атмосфере и представлял собой выдержку 1 час при температуре 300 °С и 620 °С. Состояние поверхности топокомпозита после отжига на 300 °С значительных изменений не претерпело. Отжиг при 620 °С вызвал значительное окисление элементов входящих в состав покрытия. Отжиг топокомпозита позволил повысить твердость поверхности образцов с «сырой» основой (2200 HV0.01) в 1,3 (300 °С) и 1,5 (620 °С) раза, что составило 3050 HV0.01 и 3300 HV0.01 соответственно.

Оценка адгезии покрытий проводилась при определении пластичности методом испытания на вытяжку сферической лунки по Эриксену. Качество адгезии оценивалось по площади сколов и трещин на сферической части пластины. Покрытия, нанесенные на пластину, и не подвергнутые отжигу проявили наименьшие адгезионные свойства. Покрытие скололось полностью с поверхности лунки. Пластина нержавеющей стали после отжига 620 °С в течение 1 ч сохранила свою пластичность, адгезия и пластичность самого покрытия увеличились.

Таким образом, термическая обработка топокомпозита позволяет повысить твердость в 1,5 раза, адгезионную прочность пленок нитрида титана увеличить в 2,0 раза.

**Пластичные смазочные материалы с бинарной дисперсной фазой
для тяжело нагруженных узлов трения**

Жорник В.И.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Введение наноразмерных добавок в пластичные смазки представляет значительную технологическую сложность, что связано с характерной трехмерной структурой дисперсной фазы пластичных смазок, имеющей вид связанных друг с другом волокон из солей высокомолекулярных кислот. Применение высокоэнергетических диспергирующих устройств для измельчения агломератов наночастиц, введенных в готовую пластичную смазку, невозможно, так как в процессе диспергирования будет происходить интенсивное механическое разрушение волокнистой структуры дисперсной фазы смазки. Наряду с этим частицы наноразмерной добавки остаются в дисперсионной среде незакрепленными в структурном каркасе дисперсной фазы, способствуя образованию из них в процессе работы твердых абразивных агрегатов.

С целью устранения этого недостатка разработан метод получения модифицированных пластичных смазок, при котором наноразмерная добавка вводится в состав смазочной композиции до начала процесса формирования структурного каркаса дисперсной фазы, в результате частицы добавки выступают в качестве активных центров структурообразования дисперсной фазы и при этом оказываются имплантированными в нее. Модифицирование обеспечивает формирование более разветвленной структуры дисперсной фазы с большей маслоудерживающей способностью. При разрушении структурного каркаса пластичной смазки наноразмерные частицы алмазно-графитовой шихты, входящие в состав волокон дисперсной фазы, высвобождаются и попадают в зону трения в активном состоянии, сохранив свои сверхмалые размеры. Это предопределяет повышенные противозадирные и противоизносные свойства смазки и обеспечивает ее приработочный эффект. В процессе проведения испытаний на трение ряда материалов и покрытий в присутствии смазки, содержащей частицы наноразмерной алмазно-графитовой шихты ША-А (ТУ РБ 100056180.003-2003), было обнаружено явление трибомеханического модифицирования поверхности трения, внешне проявляющееся в существенном улучшении триботехнических характеристик пар трения на стадии приработки. Установлено, что проявление этого эффекта зависит от типа и структурного состояния материала, а также от уровня контактных давлений в зоне трения и концентрации ША-А в смазке.

Структурно-фазовое состояние и триботехнические характеристики гиперзвуковых газотермических покрытий, обработанных ионами азота по различным режимам

Григорчик А.Н., Кукареко В.А.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

В работе исследовались покрытия из сталей Св-08Г2С, 06Х19Н9Т, 40Х13 толщиной ~ 0,8 мм. В результате напыления формируется слоистая структура с пористостью ~ 5 % и содержанием оксидов ~ 20 - 25 %. На рисунке 1 представлена зависимость интенсивности линейного изнашивания от температуры ионно-лучевой обработки для исследуемых покрытий.

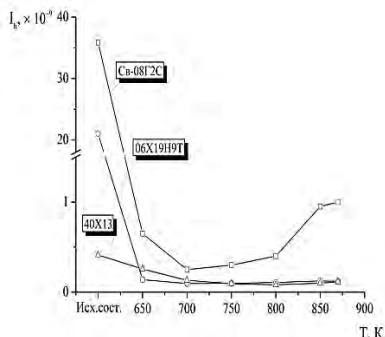


Рисунок 1 - Зависимость интенсивности линейного изнашивания (I_n) от температуры (Т) ионно-лучевого азотирования для покрытий из сталей Св-08Г2С, 06Х19Н9Т и 40Х13 при трении в смазочном материале И-20 ($P=50$ МПа, $L=10000$ м)

В работе было установлено, что в результате ионно-лучевой азотирования гиперзвукового газотермического покрытия из ферритной стали Св-08Г2С при температурах 650—870 К на его поверхности формируется модифицированные слои толщиной 30—120 мкм. В азотированном поверхностном слое после обработки при этих температурах выделяются нитридные фазы ϵ - $Fe_{2.3}N$, γ' - Fe_4N . Микротвердость обработанного поверхностного слоя покрытия увеличивается до значений 650—1050 HV 0,025, а его износостойкость возрастает в 143 раза по сравнению с исходным состоянием.

Ионное модифицирование покрытий из сталей 06Х19Н9Т и 40Х13 при температурах 650—870 К, приводит к формированию азотированных слоев толщиной 5—55 мкм. В покрытии из стали 40Х13 после азотирования выделяются нитридные фазы ϵ -(Fe, Cr) $_2$ - $_3N$, γ' -(Fe, Cr) $_4N$, CrN. Микротвердость покрытия из мартенситной стали после обработки увеличивается до значений 1000—1450 HV 0,025, а износостойкость повышается в 5 раз. Ионно-лучевая обработка покрытия из стали 06Х19Н9Т приводит к выделению нитридной фазы γ_N -(Fe, Cr), а также нитридов γ' -(Fe, Cr) $_4N$, CrN. Микротвердость азотированного слоя увеличивается до 1000—1400 HV 0,025, износостойкость возрастает от

200 до 300 раз в сравнении с исходным состоянием.

УДК 621.787.52

Цинксодержащий отход для термодиффузионного цинкования стальных изделий

Урбанович Н.И., Басалай И.А., Барановский К.Э., Сенченко Г.М.,
Розенберг Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на предприятиях Республики Беларусь широко применяется метод цинкования в расплавленном цинке (метод горячего цинкования), который приводит к накоплению больших объемов цинксодержащих отходов в виде изгари и гартцинка. В связи с этим существует необходимость в переработке образующихся отходов и их рециклинге в промышленный оборот. Метод цинкования в многокомпонентных порошковых средах, которые в своем составе кроме цинка могут содержать оксиды алюминия, оксиды кремния и железосодержащие компоненты, позволяет обрабатывать изделия сложной конфигурации и из различных материалов. Следует отметить, что в Республике Беларусь не существует источников сырья для производства порошкового цинка, и предприятия вынуждены покупать его в других странах. В то же время цинксодержащий отход (изгарь) состоит из оксидов, хлоридов и металлического цинка и имеет вид рассыпчатого порошка.

Целью данной работы являлось изучение возможности использования изгари в составе порошковой композиции для термодиффузионного цинкования.

Исследования выполняли на образцах из Ст3. Составы насыщающих сред, режимы и результаты по толщине покрытия представлены в таблице.

№ п/п	Массовая доля компонентов в насыщающих средах, %	Условия ХТО		Толщина покрытия, h, мм
		T°, с	τ, ч	
1	20 изгарь +40Zn + 40 корунд	450	4	79
2	99 изгарь + NH ₄ Cl	450	4	105
3	100 изгарь	450	4	105

Результаты исследований позволили сделать вывод, что изгарь можно рекомендовать как дешевый заменитель цинка для термодиффузионного цинкования, а так же ее можно использовать как цинксодержащую добавку к насыщающей среде Zn + инертный наполнитель (Al₂O₃, корунд).

Термическое упрочнение шлицевых валов с получением наноразмерных элементов структуры

Андрушевич А. А., Одерий И. В.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Применяемые материалы и технологии упрочнения стальных деталей достигли своего предела в получении требуемой конструкционной прочности и износостойкости, и требуют дальнейшего совершенствования путём формирования в них объёмного микро- и наноструктурного состояний. Эффективное формирование субмелкодисперсных структур в стальных деталях сельскохозяйственной техники может быть достигнуто также в результате прогрессивной термической обработки.

Термическая обработка шлицевых валов диаметром 30мм из стали 40X, выполнялась на экспериментальной установке ТВЧ с различной интенсивностью охлаждения. Валы для повышения усталостной прочности предварительно подвергали улучшению: закалке с температуры $850 \pm 5^{\circ}\text{C}$ в масло и высокому отпуску при температуре $550 - 560^{\circ}\text{C}$. Время аустенизации составляло 15 минут. Последующее упрочнение шлицов осуществлялось поверхностной индукционной закалкой (температура нагрева $880-900^{\circ}\text{C}$) на толщину закаленного слоя 1,5-2мм при охлаждении интенсивным водяным душированием, при степени переохлаждения порядка $600-650^{\circ}\text{C}$. Температура воды находилась в пределах $10 \pm 3^{\circ}\text{C}$, время охлаждения – в интервале 2-5с в зависимости от толщины изделия. Низкотемпературный отпуск валов проводился при $180 - 200^{\circ}\text{C}$. Поверхностная твердость упрочненного слоя составила 56-58 HRC, а сердцевина имела твердость 36-38 HRC.

Микроструктура улучшенной стали 40X, состояла из сорбита и отдельных включений троостита. Структура в зоне шлица после поверхностной закалки и низкого отпуска представляла отпущенный мартенсит различной степени дисперсности в зависимости от режимов охлаждения при поверхностной закалке. Такая микроструктура характерна для мартенсита реечного типа со средним поперечным размером реек 250–350 нм. Определено, что мартенситные иглы частично фрагментированы, размер фрагментов находится в диапазоне 20–150 нм, их средний размер составляет 40–50 нм.

Выявлены предпосылки для определения влияния размеров игл мартенсита в наноразмерном диапазоне на механические характеристики конструкционных сталей, обеспечивающих оптимальное соотношение прочностных и эксплуатационных свойств шлицевых валов.

К вопросу повышения эксплуатационных свойств конструкционных сталей для работы в условиях Севера

Галимский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Эксплуатационные свойства деталей изготовленных из сталей в первую очередь зависят от механических свойств, требуемых нормативной документацией. Однако, одна и та же деталь, работающая в местах с различными климатическими условиями, будет иметь существенное различие в своем ресурсе, либо вообще будет непригодна для работы в этих условиях. Одним из наиболее неблагоприятных регионов для работы деталей является крайний север. Важнейшим критерием работы детали при отрицательных температурах является хладостойкость.

Под хладостойкостью традиционно понимают способность сталей противостоять хрупкому разрушению при низких температурах.

Отметим, что если хрупкость при комнатной и повышенной температуре связана в основном с интеркристаллитным разрушением, то при хладоломкости в большинстве случаев имеет место хрупкое транскристаллитное разрушение. Это связано с тем, что с понижением температуры прочность связи между кристаллитами на границе снижается медленнее, чем прочность межатомных связей внутри зерна. Поэтому одним из путей повышения хладостойкости сталей является измельчение зерна путем использования термической или термомеханической обработки, а также использование составов сталей, придающих им свойство наследственной мелкозернистости (например, раскисление алюминием и марганцем, которые измельчают зерно стали).

Одним из важнейших компонентов стали, обеспечивающих ее высокую прочность, является углерод. Поэтому для изготовления деталей высоких категорий прочности используют стали с более высоким содержанием углерода. Но с повышением его содержания прочность увеличивается, а пластичность и особенно ударная вязкость снижаются. Одновременно с эти повышается температура перехода стали в хрупкое состояние, что в свою очередь снижает надежность детали.

Таким образом, хладостойкость определяется следующими факторами:

- содержанием “вредных” примесей, в первую очередь серы и фосфора,
- легированием, в том числе микролегированием, которое, с одной стороны, устраняет или снижает влияние вредных примесей, а с другой стороны повышает прочность межатомных связей в матрице (феррит),
- термическая или термомеханическая обработка, которая обеспечивает создание оптимальной структуры стали.

Реализация процессов термодиффузионного цинкования при антикоррозионной защите термообработанных стальных изделий

Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях постоянного повышения цен на энергоносители, перспективу представляют только те технологии цинкования, которые помимо обеспечения качественной антикоррозионной защиты, являются энергетически эффективными и экологически безопасными для окружающей среды. С учетом данных требований, перспективными являются процессы термодиффузионного цинкования (ТДЦ) в порошковых насыщающих средах. Особенностью данного способа цинкования является возможность совмещения процесса ТДЦ с общим циклом термической обработки изделий из металла, за счет широкого температурного интервала реализации процессов термодиффузионного цинкования, находящегося в пределах 300–700 °С в зависимости от ряда специфических особенностей реализации данного процесса.

Наиболее эффективно процессы ТДЦ можно реализовывать при замене среднего отпуска – характерной завершающей стадией термической обработки для снятия внутренних напряжений большинства упругих элементов (граверные шайбы, пружины). Реализация данных процессов осуществима при использовании стандартных режимов диффузионного цинкования в порошковых насыщающих смесях (380–450 °С) и не требует сложных систем контроля атмосферы и подготовки насыщающей смеси.

При использовании термодиффузионного цинкования для защиты термообработанных стальных элементов металлоконструкций с регламентируемыми требованиями к классу прочности могут возникнуть проблемы, связанные с потерей изделиями прочностных характеристик. Установлено, что для образцов с различными классами прочности обработанных способом термодиффузионного цинкования (450 °С, 1 ч) наблюдали снижение значений предела прочности σ_b и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, что связано с активацией диффузионных процессов при дополнительном термическом воздействии и, как следствие, изменении структуры стали. Установлено, что для крепежа с классами прочности вплоть до 8.8 снижение указанных характеристик не выходят за пределы допустимых значений оговоренных соответствующей нормативно-технической документацией (ГОСТ Р 52643-2006).

Трещинообразование алюмооксидной керамики, полученной методом высоковольтного электрохимического оксидирования

Паршуто А.А., Чекан Н.М.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Одной из эффективных технологий обработки поверхности является анодирование, в частности для получения заготовок печатных плат на алюминиевой подложке, обладающей повышенной прочностью, термостойкостью и способностью эффективно отводить тепло от микросхем при высокой степени их интеграции. Дифференциальные тепловые нагрузки на систему алюминий-оксидный слой могут приводить к формированию сетки трещин и нарушению целостности изолирующей поверхности. В защитных плёнках, образующихся при окислении металлов и сплавов, могут возникать механические напряжения различных видов: внутренние сжимающие напряжения при росте, отрывающие усилия, как следствие сжимающих напряжений на неровной поверхности металла, напряжения, возникающие при изменении температуры из-за различия коэффициентов теплового расширения металла и оксидной пленки, механические напряжения при работе (удары, изгибы и т.д.).

Для пленок, полученных методом высоковольтного электрохимического оксидирования, опытным путем были определены коэффициент линейного теплового расширения (КТР), который составляет $10,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и модуль Юнга 65 ГПа. Для определения модуля Юнга использовалась система двусторонняя пленка на основе из алюминиевого сплава, закрепленного на шарнирно-подвижных опорах, расположенных на концах пластины и подвергается действию сосредоточенной нагрузки P в ее центре. По величине прогиба определяли модуль Юнга пленки и подложки. КТР определяли по относительной деформации подложки и подложке с плёнкой при различных значениях температуры.

Значения КТР и модуля Юнга достаточно близки по значениям с алюминиевой подложкой, что позволяет использовать алюмооксидные покрытия при тепловых нагрузках до 200°C без возникновения трещин. Лучше всего противостоят трещинообразованию защитные плёнки средней толщины 20-25 мкм достаточно тонкие, чтобы не иметь внутренних напряжений, но достаточно толстые, чтобы сохранить функциональные свойства. Пленки алюмооксидной керамики полученные методом высоковольтного электрохимического оксидирования, обладая теплопроводностью $3 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, применимы для изделий электронной промышленности с различными тепловыми нагрузками.

**Дефекты оксидных плёнок после высоковольтного
электрохимического оксидирования
с предварительной электролитно-плазменной обработкой**

Соколов Ю.В., Томило В.А., Паршуто А.А.
Физико-технический институт НАН Беларуси,
Белорусский национальный технический университет

Всем производственным процессам свойственно появление дефектов, которые являются причиной брака. Дефекты не возникают по какой-либо случайной причине. Они обусловлены неисполнением технологии, необходимого или недостаточного технического обслуживания оборудования и плохим техническим оснащением. Дефекты могут возникнуть в результате недостатков со стороны человеческого фактора, при монтаже, механической обработке, обезжиривании, травлении, полировке, промывке, на ваннах анодирования.

Предварительная электролитно-плазменная подготовка алюминия и его сплавов снижает параметр шероховатости образцов с Ra – 0,02 мкм до 0,200 мкм. Однако, несоблюдение технологических режимов (надёжное крепление заготовок на подвеску, температуры, состав электролита, корректировка pH в процессе работы) приводит к образованию серого налета, частичному оксидированию, питтинговому травлению заготовки. Такие типы дефектов сохраняются и после высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО) изделий, нарушая как внешний вид, так и функциональные параметры оксидных слоев. Необходима хорошая промывка изделий, так как остатки электролита переносимые в ванну оксидирования после ЭПО отравляют электролит оксидирования; также хлорид ионы вызывают образование очагов травления на оксидной пленке.

Основными дефектами при ВВЭО являются термоэлектрические пробои, причиной которых являются загрязнения; некачественная предварительная подготовка; несоблюдение технологических режимов, а также неплотный контакт крепежа к изделию и его плохое состояние.

Дефекты также зависят от выбора материала, качества его изготовления, условий хранения, предварительной механической и термической обработки, состояния оборудования, квалификации персонала и других внешних факторов. Поиск и устранения возможных причин брака – важная задача для любой технологии.

УДК 621.793

Изучение износостойкости плазменных покрытий после лазерной обработки

Пантелеенко А.Ф.

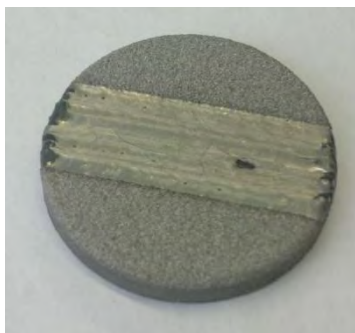
Белорусский национальный технический университет

Лазерной обработке подвергались плазменно-напыленные покрытия из диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9 на установке лазерной наплавки Комета-2; режимы лазерной обработки: мощность –1 кВт; подача образца – 200...300 мм/мин; плотность энергии – $0.32 \cdot 10^9$ Вт/м²... $1,27 \cdot 10^9$ Вт/м².

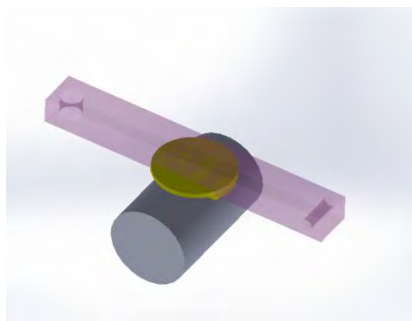
Испытания проводили по схеме «вал-плоскость», без смазки, в условиях абразивного трения. Величину износа оценивали по формуле:

$$I_h = \frac{b^2}{8 \cdot r \cdot L_T};$$

где I_h – интенсивность изнашивания пары трения; L_T – путь трения, мм; b – длина лунки, мм; r – радиус истираемого диска, мм.



а)



б)

а) образец для испытаний на износостойкость; б) принципиальная схема испытания обработанного лазером покрытия на износостойкость.

Рисунок 1 – Определение износостойкости плазменно-напыленных покрытий после лазерной обработки.

После лазерной обработки наблюдается существенное увеличение эксплуатационных характеристик полученных покрытий. Если для необработанного лазером покрытия увеличение износостойкости составляло 1,5...1,9 раза, то после лазерной обработки наблюдался рост износостойкости в 2,5...3 раза (для различных режимов лазерной обработки увеличение износостойкости различно).

Структурообразование цементита перлита в условиях циклической термической обработки

Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Изучение влияния циклических фазовых превращений на процесс изменения формы и размеров цементитных включений проводили на образцах, изготовленных из улучшаемой (сталь 40X), пружинной (сталь 65Г) и инструментальной стали марки У13. Цель исследований: формообразование цементита перлита и структурно свободного цементита вторичного.

Циклический индукционный нагрев для всех выбранных марок сталей проводился с полной фазовой перекристаллизацией, перегрев выше точки A_3 на $100\text{ }^\circ\text{C}$ для доэвтектоидной стали, а для заэвтектоидной – выше линии A_1 на $100\text{ }^\circ\text{C}$, но ниже линии A_{cm} . Скорость нагрева (от 25 до $35\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$) оптимальна для прогрева сечения образца, а скорость охлаждения (от 2 до $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$) обеспечивала распад аустенита на ферритоцементитную смесь.

Предварительная подготовка состояла в перегреве стальных образцов при $1000\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 часов для получения заведомо крупнопластинчатой структуры перлита более 5 баллов. Циклический нагрев стали 65Г привел к увеличению дисперсности структуры перлита и формированию квазиэвтектоидной структуры с одновременной сфероидизацией отдельных пластин цементита.

После перегрева стали 40X длина пластинок цементита составляла более $10\text{ }\mu\text{м}$, расстояние между пластинами $0,2\dots 0,3\text{ }\mu\text{м}$. Такое расстояние между пластинами характерно для структуры перлита. Циклический нагрев привел к уменьшению длины пластинок до $0,8\dots 0,2\text{ }\mu\text{м}$ и сокращению расстояния до $0,01\dots 0,1\text{ }\mu\text{м}$. Расположение пластинок цементита определяет структуру троостита и в отдельных местах сорбита.

При термоциклировании стали У12 наблюдается увеличение дисперсности цементита вторичного с $20\text{ }\mu\text{м}$ (без ТЦО) и $2\text{--}4\text{ }\mu\text{м}$ (4 цикла), количество карбидной фазы также возрастает при циклической обработке из-за диффузионного перераспределения углерода и его выделения при охлаждении из аустенита с образованием карбидов. Благодаря этому возрастает поверхностная твердость с 60 HRC (без ТЦО) до 66 HRC (после ТЦО). Сфероидизация карбидов идет немного легче, из-за термоциклической обработки с неполной фазовой перекристаллизацией.

Легирование наплавленных покрытий медью и хромом

Стефанович А.В., Борисов С.В., Стефанович В.А., Люцкевич А.И.
Белорусский национальный технический университет

Наплавленные покрытия, полученные из проволоки стали 06Х19Н9Т, подвергнутой предварительному борированию, имеют структуру, состоящую из дендритов по границам которых находится эвтектика. В литом состоянии в структуре стали присутствует дендридная ликвация. Распределение элементов по сечению дендрита и в эвтектике системы Fe-Cr-Ni-B показало, что в центре дендрита содержание хрома составляет 12,92% , а на периферии – 14,49% , в боридной эвтектике содержится хрома – 22,66%. Такое перераспределение хрома может вызывать снижение коррозионной стойкости. Повышение сопротивления коррозии возможно за счет дополнительного легирования хромом и медью. Легирование хромом повышает электродный потенциал материала и при содержании хрома более 12% сталь приобретает положительный электродный потенциал.

Для повышения коррозионной стойкости при легировании медью её содержание должно быть в пределах 1,2...3,5%. Совместное легирование хромом и медью позволит повысить коррозионную стойкость за счет повышения электродного потенциала сплава и катодной поляризации поверхности. Дополнительное легирование наплавленного покрытия хромом и медью возможно путем нанесения гальванического покрытия на проволочный электрод. Толщина гальванического покрытия 10, 15, 20 мкм повысит содержание легирующего элемента в наплавленном покрытии на 2; 3; 4% соответственно.

Для наплавки изготавливались композиционные электроды следующих видов: 1 – боридный слой + хром (рис. 1а); 2 – боридный слой + медь (рис.1б); 3-боридный + медь + хром (рис. 1в). Микроструктуры композиционных электродов представлены на рисунке 1.

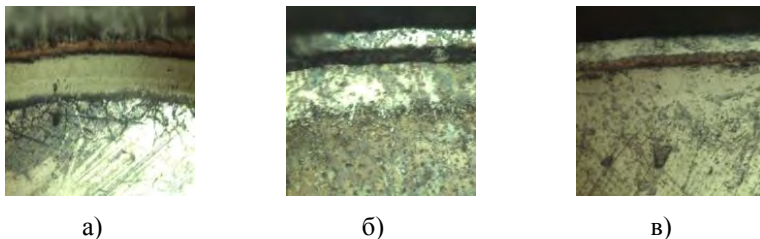


Рисунок 1 – Микроструктуры покрытий на проволочном электроде
Vel. 3381857.

Волокнистый фильтрующий материал из отходов медной сечкиЩербаков В.Г.¹, Чугаев П.С.²¹ Белорусский национальный технический университет,² Белорусский государственный аграрно-технический университет

Известно, что работа машин и механизмов без использования соответствующих смазочных материалов невозможна. Одним из методов очистки смазочных материалов является фильтрование. Большой интерес вызывают фильтрующие материалы (ФМ), изготовленные из отходов производства медного кабеля – т.н. медной сечки.

Работа посвящена исследованию свойств предварительно диффузионно-легированных (ДЛ) медных отходов кабельного производства (сечки) для производства волокнистых фильтрующих материалов. Исследованы микроструктура и технологические свойства (температура спекания и давление прессования) волокон, полученных из диффузионно-легированных медных отходов.

Известно, что цинк повышает прочность и пластичность меди, но только до 30 %. Цинк также снижает и температуру плавления меди. Толщина диффузионных слоев после ДЛ существенно зависит от количества насыщающего элемента в смеси и микропластических деформаций, возникающих в процессе обработки. Так, в поверхностных слоях медных волокон обработанных в смесях с содержанием цинка 30-50% диффузионный слой составляет порядка 80-100 мкм и разделен на две зоны. Нижний диффузионный слой является твердым раствором цинка в меди высокой концентрации. Данный слой обладает высокой прочностью и пластичностью. Верхний диффузионный слой в медных волокнах, из-за высокой концентрации цинка, состоит из γ , ϵ , и δ -фаз различной концентрации. Пористость диффузионных слоев составляет порядка 5-8% при концентрации цинка 50% и снижается с уменьшением насыщающего элемента в смеси. Высокая пористость в образовавшихся слоях с концентрацией цинка 30-50% объясняется высокой концентрацией насыщающего элемента и одновременной микропластической деформацией волокон во время обработки.

ДЛ меди цинком положительно влияет на технологические свойства медных волокон и позволяет снизить энергетические затраты при производстве ФМ. Анализ результатов по спеканию образцов показал, что лучшие результаты спекания у образцов, обработанных в смеси с содержанием цинка 10-20%. Исследован один из способов влияния на технологические свойства медных отходов кабельной промышленности при изготовлении фильтрующих материалов.

Предварительная высокотемпературная обработка диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

В работе исследовано влияние предварительной высокотемпературной обработки на структурообразование диффузионно-легированных отходов высокохромистой чугунной дроби. Выявлены изменения микроструктуры, микротвердости и химического состава отходов дроби после высокотемпературной обработки. Предложена предварительная ресурсо- и энергосберегающая технология обработки диффузионно-легированной дроби для индукционной наплавки.

Установлено существенное изменение микроструктуры ДЛ дроби ИЧХ28Н2 после обработки в концентрированном потоке энергии. Тугоплавкие слои FeV и Fe₂V образовавшиеся на поверхности дроби в процессе ДЛ полностью расплавились. Пористость в диффузионных слоях из-за микропластических деформаций во время ДЛ дроби после обработки существенно снизилась. Из биметаллической структуры, образованной после ДЛ, микроструктура дроби после оплавления представляет эвтектический сплав, что свидетельствует о полном расплавлении тугоплавкой оболочки с последующей кристаллизацией. Установлено существенное изменение распределения среднего значения микротвердости от центра к краю ДЛ дроби до и после обработки. Микротвердость в приповерхностных слоях снижается с 10000-12000 МПа до 7000-9000 МПа. Микротвердость в центральной части ДЛ дроби изменяется с 6000-8000 МПа до 5000-7000 МПа. Кратковременное высокотемпературное воздействие на предварительно ДЛ дробь ИЧХ28Н2 позволяет получить из биметаллического сплава, содержащего тугоплавкую боридную оболочку, эвтектический сплав с меньшей температурой плавления, что существенно влияет на технологические и эксплуатационные свойства получаемых индукционной наплавкой защитных покрытий. Снижение температуры плавления ДЛ дроби ИЧХ28Н2 позволит повысить качество получаемого индукционной наплавкой защитного покрытия, а, следовательно, и его эксплуатационные свойства.

Предложен один из технологических подходов, позволяющий кратковременным высокотемпературным воздействием влиять на структурообразование и на технологические свойства ДЛ сплава из отходов дроби ИЧХ28Н2 для индукционной наплавки, а значит, –

повысить качество получаемых покрытий с существенным снижением энергозатрат.

УДК 621.79

Исследование свойств боридных покрытий средствами пакета Statistica

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

В условиях современного производства к материалам инструмента предъявляются все более жесткие требования в части поверхностной прочности, износостойкости и других эксплуатационных характеристик.

Диффузионные покрытия на основе бора зачастую обладают набором требуемых свойств: высокая поверхностная твердость, износостойкость, коррозионная и тепловая стойкость. Исследование влияния состава насыщающей смеси и технологических параметров процесса насыщения на микроструктуру и свойства боридных слоев на легированных сталях задача, которую можно решить средствами пакета Statistica [1]. По указанному электронному адресу можно найти подробнейшее описание проведения промышленных опытов. Ресурс доступен круглосуточно и является электронной книгой по пакету Statistica.

Для решения задачи применяем технологию многофакторного эксперимента или метод симплексных решеток. Это не взаимоисключающие методы поиска экстремума целевой функции, а методы более или менее широкого факторного охвата исследуемой проблемы [2].

Для анализа всех факторных планов, планов для поверхностей отклика и для смесей используем специальные опции. Они могут работать с несбалансированными и неполными планами и дают пользователю полный контроль при выборе модели, подгоняемой к данным. Программа Statistica вычислит обобщенную обратную матрицу $X'X$ (где X обозначает матрицу плана) для оцениваемых эффектов, а также эффекты, являющиеся псевдонимами других эффектов. Любой анализ может быть проведен с использованием перекодированных значений факторов или исходных значений факторов. Предусмотрено большое количество опций для просмотра оценок параметров, анализа дисперсионной таблицы.

Литература:

1. <http://www.statsoft.com/Textbook/Experimental-Design/button/1> Дата доступа 20.05.2014.

2. Адлер, Ю.П., Маркова, Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – Москва, Наука, 1976. – 140 с.

УДК 621.79

Математическое моделирование физико-механических свойств многокомпонентных смесей

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Свойства применяемых в технологических процессах индивидуальных веществ и их смесей определяются не только природой и содержанием компонентов в смеси, но и условием протекания процесса. Основной задачей при исследовании реальных смесей является выявление закономерностей изменения их свойств от состава и параметров состояния. Располагая подобной зависимостью, полученной методом симплексных решеток с использованием компьютерного моделирования; изменяя концентрации компонентов, температуру и давление – можно находить оптимальные условия, удовлетворяющие требованиям по выходным параметрам.

Заметим, что при проведении расчетов в любом программном продукте, в планах для смесей опции профиля желательности не основаны на простой перепараметризации модели смеси к модели неограниченной поверхности; вместо этого все вычисления должны производиться на основе фактической модели смеси. Таким образом, при поиске оптимальных установок факторов по функции желательности для одной или нескольких переменных отклика гарантируется, что рассматривается только ограниченная область (смесь), и что итоговые установки факторов приводят к допустимой смеси. Используя набор графических опций, например пакета Statistica, для визуализации предсказанных значений одной или нескольких переменных отклика как функций каждого фактора в анализе при условии, что все другие факторы устанавливаем на некотором постоянном уровне. Точнее, для многомерных переменных отклика следует задать функцию желательности, которая отражает наиболее желательное значение для каждой переменной отклика, а также оценить степень важности каждой переменной для общей желательности. Затем отображаем на графике профили функции желательности для заданного числа уровней каждого фактора. На этом же графике могут быть показаны профили для каждой отдельной переменной отклика, а также доверительные интервалы.

Вводя ограничения снизу для каждого фактора, строим соответствующий план на субсимплексе, определенном этими ограничениями. Исследователь может добавить отдельные опыты или реплики, отобразить и сохранить планы в стандартном или случайном порядке.

УДК 621.81

Практика испытания материалов на фрикционную искробезопасность

Дашкевич В.Г., Бакиновский А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в международной практике испытания материалов на фрикционную искробезопасность чаще всего воспроизводятся реальные процессы искрообразования во взрывоопасных смесях заданного состава. Однако существуют несколько методик испытаний традиционно используемых для этих исследований.

Во-первых, это установка с падающим грузом. Моделирование процесса искрообразования для заданной пары материалов одиночным ударом обеспечивается формой поверхности груза (цилиндр, конус, сфера), энергией и относительной скоростью перемещения деталей в момент соударения. Энергия соударения определяется высотой сбрасывания и массой груза. Во-вторых, это установка с вращающимся диском, где моделирование процесса искрообразования, для заданной пары материалов, проводится на установке с вращающимся абразивным диском. Объективность результатов моделирования обеспечивается формой трущихся поверхностей деталей, относительной скоростью скольжения и усилием прижатия трущихся деталей.

В научно-исследовательской лаборатории кафедры «Материаловедение в машиностроении» БНТУ созданы установки с падающим грузом и с вращающимся диском. Основными элементами установки с падающим грузом являются направляющая колонна, закрепленная вертикально на штативе и плита, которая размещается в наклонном положении под 45° относительно вертикальной оси для имитации скользящего удара.

При испытаниях масса груза и высота сбрасывания, определяющие относительную скорость перемещения деталей в момент соударения, должны приближать испытания к реальным условиям. В нашем случае энергия соударения определяемая высотой сбрасывания и массой груза была равна $\approx 0,3$ кДж.

Для установки с вращающимся диском принцип работы был реализован следующий. Образец прямоугольной формы, фиксировался в устройство крепления образца. Далее, через спусковое устройство с

пружинным блоком и поворотным механизмом он с силой ударялся о поверхность вращающегося абразивного круга. Фиксация процесса контакта осуществлялась камерой видеосъёмки. По записи видео делалась раскадровка, поиск момента начала контакта с абразивным кругом и количественный анализ площади занимаемой искрами.

УДК 621.785.5

Оптимизация составов обмазок для химико-термической обработки в воздушной печной среде элементами в системе «B-Al-Si»

Ситкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее существенные изменения структуры и свойств в поверхностных слоях стальных деталей можно обеспечить процессами диффузионного насыщения элементами в системе «B-Al-Si». При химико-термической обработке (ХТО) крупногабаритных изделий наиболее рационально применение специально разработанных обмазок, которые наносятся тонким слоем только на рабочую часть деталей и функционируют в воздушной среде в процессе длительного периода высокотемпературного нагрева. В данных видах обмазок наличие кислорода, от которого традиционно стараются изолировать изделие при ХТО, даже обязательно при протекании ряда химических реакций, необходимых для выполнения обмазкой диффузионноактивной и защитной функций. Именно в результате взаимодействия кислорода и отдельных компонентов, входящих в порошковую среду, на поверхности обмазки появляется легкоплавкая стеклообразная оболочка, герметизирующая основную массу диффузионноактивной обмазки, создавая в ней избыточное давления газовой фазы. Поэтому и подбор компонентов должен быть таким, чтобы в результате образования легкоплавкой оболочки, при взаимодействии кислорода с поверхностным слоем обмазки диффузионноактивная среда была надежно защищена от атмосферы печи и функционировала подобно герметичному мини-контейнеру.

В настоящей работе с использованием математического планирования экспериментов были выполнены исследования по установлению оптимальных составов таких обмазок в системе «B-Al-Si», обеспечивающие экстремальные показатели износостойкости и жаростойкости образцов улеродистых и низколегированных инструментальных сталей (У7, У8, У10, Х, 5ХНМ и др). В качестве плана экспериментов была выбрана симплексная решетка четвертого порядка. При этом базовые составляющие обмазок для однокомпонентного

насыщения (борирования, силицирования, алитирования) будут в вершинах треугольника, на сторонах треугольника соответственно для двухкомпонентного насыщения (боросилицирования, бороалитирования, аломосилицирования), внутри треугольника – для трехкомпонентного насыщения (бороалюмосилицирования).

УДК 621.785.5

Вопросы использования борирования для повышения свойств систем «сталь – покрытие на основе TiN»

Ковальчук А.В.

Белорусский национальный технический университет

Перспективным в области снижения издержек на производство простых покрытий является использование в качестве материала подложки вместо дорогих легированных конструкционных и инструментальных материалов более дешевых углеродистых сталей. Однако применение «сырых» подложек из углеродистой стали малоэффективно. В этой связи в литературе появляется все больше информации о применении так называемых комбинированных технологиях, предусматривающих модификацию поверхностного слоя подложки и последующее нанесение износостойкого вакуумного покрытия.

Целью работы являлась оценка возможности использования борирования для повышения свойств композитов «сталь – PVD-покрытие на основе наноструктурированного нитрида титана».

Из анализа публикаций сделан вывод, что существенного изменения структуры и свойств нитридных покрытий можно достигнуть в результате легирования такими элементами, как Si, B, Al, Y, Ni и др. При этом высокая эффективность легирования нитридных покрытий именно этими элементами обусловлена их термодинамически контролируемой сегрегацией по границам нанозерен TiN с формированием зернограничной фазы, ограничивающей рост зерна на уровне $d \leq 15$ нм.

Выдвинуто предположение, что переход к наноразмеру для боридных слоев на стали будет сопровождаться повышением их упругих и вязких свойств. Это явление наблюдается для аналогичных покрытий в системах с азотом, где образуются тугоплавкие соединения в аморфной или нанокристаллической матрице и такие структуры не проявляют хрупкости, присущей им в микрокристаллическом состоянии.

Рассмотрены варианты получения поверхностных композитов с введением бора в покрытие как предварительным насыщением подложки в результате химико-термической обработки с последующим перемешиванием при ионной бомбардировке и испарением атомарного

бора в вакууме, так и нанесение непосредственно из мишени, предварительно подвергнутой борированию в порошковой среде. Обоснована эффективность и оценена возможность нанесения покрытий из стальных борированных мишеней, представляющая, по сути, перенос боридных слоев в обратном порядке и выделен ряд актуальных вопросов для прикладных исследований.

УДК.621.745

Анализ технологии переработки отходов производства синтетических алмазов

Комаров О.С.¹, Розенберг Е. В.¹, Урбанович Н.И.¹, Гарост А.И.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Белорусский государственный технологический университет²

Расширение объема производства отливок из высококачественных чугунов требует дорогостоящих легирующих элементов. Эта проблема может решаться за счет использования отходов производства. На предприятии «Гомельское ПО «Кристалл», производящем синтетические алмазы, образуется гальванический отход, содержащий Ni и Mn. Технология получения синтетических алмазов заключается в следующем: к графиту добавляется катализатор, состоящий из 60% Mn и 40% Ni. Полученную смесь взрывают под высоким давлением. После подвергают обработке кислотами, а затем щелочами. По завершению технологического цикла образуется отход в виде шлама следующего состава: Ni – 15-17%, Mn – 21-23%, Fe – 2%, Cr – 2.5%, Ca – 2.5%, Cl – 1.8%, S – 0.29%, Na – 1.5%, F – 1.5-1.8%, O – 33-35%, C – 18-20%. Влажность шлама составляет – 75%.

Данный отход может использоваться в качестве легирующей добавки для повышения марки серых чугунов. Опыты показали, что промывка водой позволяет снизить содержание F, Cl, S в отходе в 3 раза. Были проведены эксперименты по оценке степени усвоения чугуном легирующих компонентов. При плавке серого чугуна состава (C – 2.9%, Si – 2.03%, Mn – 0.82%, Cr – 0.12%, Cu – 0.169%, S – 0.12%) в шихту было добавлено 7% промытого и просушенного отхода. По завершению процесса восстановления из шлаковой фазы легирующих элементов был получен чугун состава: C – 3,1%, Si – 1.51%, Mn – 1.6%, Ni – 1.20% Cr – 0.55%, S – 0.34%. и шлак состава: C – 4.93%, Mn – 11.8%, Ni – 0.07%, Si – 20.98%, O – 47.87%, Ca – 2.51%, F – 0.7%, Na – 1.58%, Mg – 0.33%, S – 0.76%, Cr – 0.31%, Fe – 1.88%. Полученные результаты показывают, что степень усвоения Ni составляет почти 100%, а Mn – 50%

Таким образом, отход производства синтетических алмазов может использоваться для легирования серого чугуна. Данный отход можно рекомендовать для применения в литейном производстве в качестве добавки к брикетам из чугунной стружки при плавки в вагранке.

Ведутся дальнейшие работы по определению оптимальных параметров легирующей добавки, снижению содержанию в отходе нежелательных примесей F, Cl, S, а так же повышению степени извлечения Mn.

УДК 621.7

Исследование свойств диффузионных слоёв на стали 45 в системе «углерод-хром» с использованием легкоплавких добавок.

Стефанович В.А., Борисов С.В., Стефанович А.В.
Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является получение диффузионных слоев высокой твердости и значительной толщины в системе «хром-углерод» с дополнительным введением в смесь легкоплавких добавок, а также других карбидообразующих элементов. В качестве добавок применяли Cu, Zn, Sb, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CoO, MoO_3 .

Насыщение проводили при температуре 1050°C в течение 4ч. в металлических тиглях с плавким затвором.

Для получения оптимальных слоев был применен последовательный симплекс метод (ПСМ) планирования эксперимента с использованием правильного симплекса.

Значение характеристик диффузионных слоёв, полученных на основном уровне (образец 1) и лучших образцов в матрице (образец 14 и 15) представлены в таблице 1.

Таблица 1—Результаты проведенных опытов

Номер опыта	Балл зерна после насыщения	Толщина слоя, мкм	Балл твердых включений	Твердость после закалки HRC	Твердость после отпуска 400°C
1	6	350	1	61	46
14	8	1750	3	69	50
15	7	1400	3	68	50

В результате оптимизации диффузионные слои на основе углерода полученные на стали 45 формируются в 4..5 раз быстрее, после закалки имеют большую твердость (68..69 HRC). Структура диффузионных слоев состоит из мелкозернистого мартенсита (балл №8) и аустенита остаточного со значительным количеством твердых включений.

Антикоррозионные диффузионные слои

Менделеева О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Физико-химические свойства легирующих элементов определяют основной контроль процесса коррозии. Модифицирование поверхности путем термодиффузионного легирования: 1) изолирует защищаемый материал от коррозионной среды (механический контроль); 2) повышает ее термодинамическую устойчивость (термодинамический контроль); 3) понижает скорость коррозионного разрушения в данных условиях (кинетический контроль). Защиту осуществляет внешняя структурная зона диффузионного слоя. Фазами более стабильными термодинамически по отношению к продуктам распада являются: 1) насыщенный однородный твердый раствор, легированный химически инертными по отношению к окислителю элементами; 2) соединение, понижающее разность равновесных потенциалов катодного и анодного процессов коррозии; 3) соединение легирующего элемента, обладающего большим сродством к окислителю по сравнению с защищаемым металлом. Кинетический контроль способны обеспечить легирующие элементы, образующие в диффузионном слое: 1) твердые растворы, замедляющие скорость взаимной диффузии окислителя и/или металла за счет изменения количества структурных дефектов; 2) более инертные (трудно или нерастворимые) соединения; 3) фазы, обеспечивающие пассивное состояние поверхности. Характер защиты при пассивации поверхности зависит от ее потенциала в данной коррозионной среде. По отношению к защищаемому сплаву диффузионный слой может выступать как анод, либо как катод. При нарушении сплошности катодного диффузионного слоя разрушается защищаемый металл. Торможение катодных процессов происходит за счет уменьшения количества катодных компонентов и катодных включений. Анодная поляризация возникает, если основной металл в катодном диффузионном слое склонен к пассивации. Торможение анодных процессов является самым эффективным методом защиты и может быть реализовано тремя путями: 1) уменьшением относительной площади анодных участков поверхности; 2) легированием, повышающим анодную пассивируемость сплава.; 3) повышением эффективности катодных процессов (катодным легированием: чем более положителен собственный стационарный потенциал легирующего элемента, и чем меньше его катодная поляризуемость, тем эффективнее пассивирующее действие). В любом случае сплошной и бездефектный диффузионный слой изолирует защищаемый материал от коррозионной среды.

Теория механизмов и машин

Использование дифференциальных уравнений движения при решении прямой и обратной задачи динамики манипулятора

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М., Ратников А.В.
Белорусский национальный технический университет

Основными задачами динамики манипуляторов являются: 1) определение моментов приводных двигателей при известных обобщенных координатах и их производных (например, из заданного закона движения схвата вдоль его траектории), и 2) определение обобщенных координат и их производных, а также соответствующего закона движения схвата вдоль траектории при известных движущих моментах приводных двигателей. Для решения этих задач используются дифференциальные уравнения движения звеньев манипулятора. Для манипулятора с тремя степенями свободы ($B \perp B \parallel B$), работающего в ангулярной системе координат, получена система из трех дифференциальных уравнений второго порядка в форме уравнений Лагранжа второго рода. Для составления этих уравнений решается прямая задача кинематики манипулятора с целью получения выражений координат центров масс звеньев и центра схвата, а также линейных и угловых скоростей и ускорений точек и звеньев. Для определения кинематических характеристик используется метод преобразования координат. Обобщенными координатами являются углы относительного поворота звеньев. Обобщенная движущая сила Q_i , соответствующая обобщенной координате q_i , складывается из движущей силы Q_{gi} (управляющего момента по координате q_i), а также из слагаемых от сил тяжести звеньев. Для получения выражений кинетической энергии звеньев манипулятора и транспортируемого объекта используется векторно-матричное представление формул. Для решения первой задачи динамики решается система алгебраических уравнений, а для решения второй задачи выполняется численное интегрирование системы дифференциальных уравнений. Для программной реализации алгоритмов интегрирования полученная система приводится к системе из шести дифференциальных уравнений первого порядка. Для определения погрешностей позиционирования схвата находятся движущие моменты приводных двигателей путем решения задач кинестатического расчета. Затем определяются обобщенные координаты и их производные в результате интегрирования системы дифференциальных уравнений. Далее путем решения прямой задачи кинематики определяется траектория движения схвата и выполняется оценка отклонения полученной траектории от заданной.

**Моделирование колебательного процесса при виброзащите
многоагрегатного машиностроительного оборудования**

Кудин В.В., Авсиевич А.М., Иванов А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Машиностроительное оборудование с высокой степенью автоматизации представляет собой многоагрегатное оборудование, состоящее из нескольких блоков функционально зависимых между собой. Виброзащита такого машиностроительного оборудования является одной из важнейших задач при монтаже оборудования на рабочих площадках цехов, поскольку кинематическое возмущение на рабочих площадках не должны превышать допустимых значений, обусловленных условиями технологической эксплуатации. Поскольку каждый агрегат функционально зависим друг от друга, их следует рассматривать в едином комплексе.

Авторами данной работы предлагается все агрегаты многоагрегатного оборудования установить на единый фундаментный блок, что позволит сохранить функциональную связь между блоками, повысить жесткость всей системы, а также уменьшить расстояние между центром масс агрегата и центром жесткости виброзащитной системы, что позволит снизить динамические нагрузки, передающиеся на фундаментный блок со стороны поддерживающих конструкций. Экспериментальные исследования вибраций и их спектрального анализа показал, что динамические воздействия со стороны поддерживающих конструкций (фундамента) подчиняется почти полигармонической зависимости. Приняв это допущение, все динамические воздействия на виброзащищаемый объект заменяем параметрами вибрационного воздействия (виброперемещение, виброскорость и виброускорение), определяемые инструментальным способом непосредственно на рабочей площадке в течении некоторого времени. Массив значений параметра вибрационной активности, как функция времени представляется рядом Фурье с выделением задаваемого количества гармоник. С этой целью разработана компьютерная программа, позволяющая выделить необходимые гармоники с определением амплитуды, частоты и начальной фазы. Полученные математические зависимости, описывающие разложенную на гармоники функцию возмущающего внешнего воздействия используются при проектировании виброзащиты оборудования. Параметры виброизоляции рассчитывают таким образом, чтобы минимизировать влияние той гармоники возмущающего воздействия, частота которой наиболее близка к собственным частотам защищаемого объекта.

**Моделирование фрикционных автоколебаний
при обработке деталей резанием**

Кудин В.В., Карабанюк И.А.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что при определенных параметрах упруго-диссипативных систем и характеристиках трения имеет место самовозбуждение фрикционных автоколебаний. При этом внешнее периодическое воздействие отсутствует. Самовозбуждение колебаний происходит вследствие превышения энергии, получаемой системой от внешнего источника неколебательной природы, над энергией, создаваемой упругой системой при колебательном процессе.

Условием самовозбуждения колебаний является нелинейность, неоднозначность зависимости силы от перемещения, что означает, что одному значению перемещения соответствуют, как минимум, два значения силы. Так, при механической обработке материалов (точение, строгание, фрезерование) могут наблюдаться состояния, при которых сила взаимодействия мгновенно (скачкообразно) изменяется от максимального до минимального значения, что создает предпосылки самовозбуждения фрикционных автоколебаний упругой системы станка. В рамках работ по исследованию фрикционных автоколебаний с использованием средств анимации в программных пакетах 3-d Max и Solid Works было смоделировано возбуждение и протекание фрикционных автоколебаний в процессе резания при токарной обработке заготовки. Моделирование позволяет пользователю наблюдать все этапы процесса, после чего можно приступить к исследованию фрикционных автоколебаний при условии возникновения скачка силы трения вследствие перехода от состояния покоя к движению, влияние на него поступательной скорости ведущей части упругой системы станка. Результаты исследования представляются на экране в виде таблиц и соответствующих графиков, демонстрирующих этапы покоя и движения с учетом измененных значений скорости. Очевидно, что если скорость входного звена мала, то любое малое препятствие может оказаться достаточным для остановки выходного звена. На следующем этапе происходит нарастание упругой силы до состояния, при котором происходит срыв и начинается относительное движение контактирующих тел (резца и заготовки). Затем в некоторый момент наступает остановка, продолжающаяся некоторое время. Таким образом, период автоколебаний равен сумме времени движения и покоя. Анализ расчетных параметров показал, что с уменьшением скорости период автоколебаний возрастает.

Динамическая нагруженность машинного агрегата с учетом коэффициента динамической чувствительности

Николаев В.А. Мосейчук О.О., Орлов С.И.

Белорусский национальный технический университет

Динамическую нагруженность машинного агрегата следует оценивать при самом тяжелом режиме нагружения привода (жесткого стопорения) коэффициентом динамической чувствительности.

Задавая в качестве исходных данных различные угловые скорости вращения ведомого вала ω_i перед резким стопорением, получаем изменения крутящего момента $T_i = f(t_i)$, который зависит от скорости нарастания T_{\max} . Имея максимальные значения крутящих моментов T_{\max} при различных скоростях их нарастания V_{Ti} , получаем общую зависимость $T_{\max} = f(V_T)$. Из ее анализа следует, что начиная с некоторой определенной скорости нарастания крутящего момента, максимальный момент срабатывания значительно превышает момент настройки муфты, т.е. существенно увеличивается коэффициент динамичности муфты, причем данная зависимость носит явно степенной характер.

Количественно степень увеличения момента срабатывания может быть определена коэффициентом динамической чувствительности

$$K_{\text{д.ч.}} = T_{V50} / T_{\text{ном}}$$

Скорость нарастания крутящего момента $V_T = 50 \text{ кНм/с}$ принята как наиболее характерная для практических случаев использования фрикционных предохранительных муфт.

Коэффициент динамической чувствительности $K_{\text{д.ч.}}$ характеризует муфту определенной конструкции относительно влияния скорости нарастания крутящего момента на величину максимального момента срабатывания и должен быть учтен при проектировании привода.

Определив место установки муфты, можно рассчитать скорость нарастания крутящего момента V_{Ti} , а по ней максимальный момент срабатывания муфты: $T_{\max} = K_{\text{д}} \cdot T_{\text{ном}}$, где $K_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности при рассматриваемой скорости нарастания крутящего момента V_{Ti} .

$$K_{\text{д}} = K_{\text{д.ч.}} (V_{Ti} / V_{T50})^n$$

Показатель степени n определяется по зависимости $T_{\max} = f(V_T)$.

Мехатронная система рекуперации энергии мобильных машин

Шашко А.Е., Серик А.Л., Авсиевич А.М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время существуют разработки по двум принципиальным схемам рекуперации энергии. Первая – чисто механическая рекуперация, когда энергия при торможении расходуется на раскручивание маховика с последующей обратной передачей ее на трансмиссию машины при начале движения. Вторая заключается в преобразовании энергии торможения в электроэнергию с последующим ее использованием на работу дополнительного оборудования или обратным преобразованием в механическую. Второй принцип технически реализуется проще, но сопряжен с существенными потерями энергии в процессе ее многократного преобразования. Задачами дальнейших исследований по повышению эффективности системы рекуперации и сохранения энергии являются разработка более совершенных способов и устройств передачи энергии к рекуператору и обратно, включая системы управления процессами рекуперации, оптимизацию работы систем мобильных машин на различных режимах, в частности при движении накатом и холостой работе двигателя.

Накопление механической энергии рекуператором возможно от двигателя в процессе торможения и в режиме холостого хода. Эффективность рекуперации будет определяться следующими факторами: коэффициентами полезного действия передаточных механизмов; оптимальным изменением передаточных отношений в кинематических цепях как при передаче механической энергии рекуператору, так и возвращении ее двигателю; параметрами системы управления рекуперацией энергии, в частности ее быстродействием. Эффективная система рекуперации должна представлять собой сложную мехатронную систему с автоматическим управлением комплексом взаимосвязанных механических устройств и элементами обратной связи, блок управления которой будет оперировать большим количеством входных и выходных параметров. Примером элемента автоматического управления системы рекуперации может быть установка акселерометра, управляющего аккумулярованием кинетической энергии при движении автомобиля на спуске. Важно определить эффективный угол уклона дороги, при котором стоит включать рекуператор, чтобы ожидаемый прирост кинетической энергии оказался больше, чем дополнительная работа сил сопротивления, обусловленная подключением элементов системы рекуперации. Значение эффективного угла, вероятно, будет зависеть в том числе и от конкретных дорожных условий и состояния автомобиля.

EXCEL как инструмент для проектирования и исследования механизмов двигателей внутреннего сгорания

Николаев В.А. Мосейчук О.О., Орлов С.И.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование и исследование механизмов является сложной многофакторной задачей, для реализации которой чаще всего используют специальные CAD/CAE программы. Однако многие задачи могут быть успешно решены на базе стандартных программ, в частности MS Excel. Программой может быть решена задача определения кинематических и динамических параметров (кинематические характеристики, параметры динамической модели, силы реакции). В приложении Excel производится расчёт с отображением графической информации для проектируемого механизма. Исходными данными для проектирования являются: геометрические параметры механизма; массы и моменты инерции всех подвижных звеньев; средняя угловая скорость вращения кривошипа. После ввода исходных данных, автоматически производится расчёт для каждого положения механизма через 6° , и построение графической информации. Программа условно разбита на 2 части: кинематику и силовой расчёт.

В первой части отображаются: базовая схема механизма; область ввода размеров; схема механизма, построенная по введённым данным; план 12-ти положений механизма; графики функции положения, аналогов скорости и ускорения ползуна; числовые данные результатов кинематического расчёта.

Во второй части отображаются: поля для ввода значений рабочей нагрузки для каждого положения механизма с шагом 6° ; область ввода угловой скорости кривошипа, массы и моментов инерции звеньев; график рабочей нагрузки; годограф главного вектора сил инерции; график движущего момента; график реакции на ползун; годографы реакций в шарнирах; числовые данные результатов силового расчёта.

Программа имеет интуитивно понятный интерфейс. Использование данной программы значительно сокращает время проектирования и расчёта многозвенного механизма. Сразу после ввода исходных данных можно проанализировать всю полученную информацию: в виде различных графиков, построенной схеме механизма, результатам кинематического и силового расчётов. Все результаты расчета и графический материал можно распечатать на 5 страниц формата A4.

**Математическое моделирование процесса
эксплуатации механических систем**

Пилипчук А.П., Мишин А.Н., Гончаревич С.Н., Кочеров А.Л.
Военная академия Республики Беларусь

В процессе эксплуатации технических систем периодически возникает необходимость выполнения технического обслуживания или ремонта, без которых невозможно обеспечить их длительное эффективное использование. Задачей данной работы является построение математической модели процесса эксплуатации, которая, с одной стороны, содержала бы основные сведения об исследуемом объекте, а с другой стороны – могла быть исследована минимальными математическими методами.

При анализе работы служб, обеспечивающих эксплуатацию технических систем, отмечаются два взаимосвязанных потока событий: случайный во времени поток заявок на обслуживание систем и связанный с ним встречный поток событий длительности обслуживания. Подобные задачи относятся к классу задач теории массового обслуживания. При этом если поток заявок следует закону Пуассона, а время обслуживания распределено по показательному закону, то такие процессы называются марковскими, для исследования которых имеется хорошо разработанная теория. Если же поток заявок не следует закону Пуассона и время обслуживания распределено не по показательному закону, то такие задачи не подпадают под марковский процесс.

Наиболее эффективным инструментом решения этих задач является метод имитационного моделирования (метод Монте-Карло), учитывающий многовариантность, стохастический характер, динамику производства. Данный подход позволяет не только прогнозировать исследуемые рабочие характеристики, но и выявлять их причинно-следственные связи с параметрами и характеристиками совокупности процессов, происходящих при функционировании исследуемой системы. Имитационное моделирование состоит в математическом описании структуры исследуемой системы с включением в процесс ее функционирования генераторов случайных последовательностей, представляющих законы распределения интервалов между заявками во входных потоках или времени обработки в обслуживающих приборах. Это допускает использование случайных процессов с произвольными законами распределения и обеспечивает более точный результат, чем традиционные методы теории массового обслуживания. Такое моделирование может оказаться единственным для сложных систем, когда невозможно их аналитическое описание.

Сравнение вариантов многослойных газотермических покрытий на элементах кинематических пар по уровню остаточных напряжений¹Пилипчук А.П., ¹Девойно Д.Г., ²Девойно О.Г.,¹Военная академия Республики Беларусь²Белорусский национальный технический университет

В механике остаточных напряжений можно выделить несколько проблем, не полностью решенных, связанных с корректным определением величин остаточных напряжений. Эффективным способом исследования процесса формирования остаточных напряжений в настоящее время является математическое моделирование на основе теории пластичности. Для решения данной задачи в настоящее время применяются графоаналитические методы и методы, основанные на использовании теории упругости и пластичности. В данной работе для выявления закономерностей образования остаточных напряжений после поверхностного упрочнения предлагается использовать метод переменных параметров упругости. На основе использования данного метода определены температурные деформации и напряжения в нагреваемой по краю пластине. На первом этапе выполнен расчет напряжений в предположении идеально упругого тела, при этом напряжения в точке с максимальной температурой 800 °С значительно превосходят предел текучести (1435 МПа). На следующих этапах расчета по методу переменных параметров упругости в каждой точке сечения в качестве модуля упругости в n -м приближении принимаем секущий модуль, определяемый в соответствии с кривой деформирования по значениям напряжения и деформации предыдущего приближения. Расчет заканчивается при достаточной близости значений напряжений данного и предыдущего приближения, при условии, что изображающая точка лежит на кривой деформирования. В рассмотренной задаче данные условия выполнены в четвертом приближении, что свидетельствует о хорошей сходимости данного процесса последовательных приближений. Таким образом, применение метода переменных параметров упругости позволяет решить задачу оценки напряженного состояния в детали при интенсивном нагреве с использованием лазерного излучения. Полученное решение возможно использовать для определения оптимальных способов и режимов поверхностного упрочнения деталей на стадии их проектирования, что позволит при сравнительно небольших затратах улучшить качество выпускаемых деталей.

**Мехатроника в отработке законов движения мобильных машин
с маховичным и гибридным двигателями**

Астахов Э. И., Кузнецов Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Отличительной особенностью мобильных машин с маховичным или гибридным двигателями является наличие быстровращающегося маховика, позволяющего получить большой запас кинетической энергии, что может обеспечить любой закон движения на разгоне мобильной машины, например автомобиля. Как показали первые работы на макетах и опытных образцах с маховичным двигателем, даже опытный водитель на традиционной механической коробке передач с дисковым фрикционным сцеплением с трудом может обеспечить необходимый наиболее оптимальный закон трогания с места и разгона. Задачей работы является анализ возможностей современных механотронных устройств в автоматической отработке заданного оптимального закона движения мобильной машины автомобиля при трогании с места и разгоне. Используя принцип мехатроники о комплексном синергетическом объединении механических, электрических, гидравлических, электронных и программных средств в едином узле машины, после синтеза оптимального закона движения на разгоне составляется структурная схема мобильной машины, в которой наряду с традиционными механическими узлами-модулями (компактный маховик-двигатель, муфта сцепления, коробка передач, дифференциал, полуоси колес, пневмоколеса, рулевое управление, тормоза, подвеска и др.) для преобразования энергии поставлены блоки для преобразования информации (измеритель скорости), и информационно-механические узлы-блоки. Оптимальный закон движения для отработки традиционной механической коробкой передач представлен линейно-кусочной характеристикой. Конструктивная реализация линейно-кусочного оптимального закона движения на разгоне является многовариантной задачей. Одним из простейших вариантов в традиционном механическом дисковом сцеплении является особое многодисковое сцепление со ступенчатоизменяемой поверхностью контакта, в котором по заданной программе последовательно подключаются отдельные участки увеличивая площадь контакта и тем самым передаваемый крутящий момент на ведомый вал. Данная отработка включения-выключения ступенчатых участков многодискового сцепления может обеспечиваться системой двоичных элементов алгебры логики, например, пневмоэлементов типа УСЭППА (универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики).

Моделирование динамики автоколебаний процесса резания металлов

Астахов Э. И., Круглик О.С., Кузнецов Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Среди источников возмущающих воздействие на систему СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) и возникновения автоколебаний в системе СПИД в литературе чаще всего выделяют три: 1) нелинейность характеристики силы резания и наличие участков с отрицательной крутизной; 2) изменение ширины реза (и силы резания) вследствие относительного движения инструмента и заготовки по замкнутой траектории с появлением координатной связи; 3) инерционность процесса резания вследствие сдвига фаз между колебаниями и изменением сил резания. Математическое моделирование причин 1 и 2 автоколебаний показано ранее в литературе. Задачей работы является моделирование автоколебаний вследствие инертности процесса резания методом динамических характеристик. Ограничимся одномассовой динамической моделью с одной степенью свободы, соответствующей, например, строганию в продольно-строгальном станке. Динамическая характеристика резания W_p тогда запишется обратно-линейным уравнением $W_p = K_{рез} / (T_p \cdot P + 1)$, а динамическая характеристика упругой системы СПИД – обратно-квадратным уравнением $W_{yc} = K_{yc} / (T_1^2 \cdot P^2 + T_2 \cdot P + 1)$, где $K_{рез}$, K_{yc} – коэффициенты статической жесткости; T – период собственных колебаний; P – оператор дифференцирования. Каждая АФЧХ W_p и W_{yc} не пересекает отрицательную ветвь вещественной оси, а АФЧХ их последовательного соединения в разомкнутой системе ($W_{раз} = W_p \cdot W_{раз}$) пересекает. После замены в выражении $W_{раз}$ p на $j\omega$ и математических преобразований получается формула для величины отрезка Re на вещественной оси АФЧХ $Re = -K_p \cdot K_{yc} \cdot (T_p \cdot T_1^2 / T_2) / (T_1^2 \cdot T_p^2 + T_p \cdot T_2)$. Тогда предельная ширина среза b_{np} , определяется на основании критерия устойчивости Найквиста

$$b_{np} = c \cdot b / K_p \cdot (T_2 \cdot T_p^{-1} \cdot (T_1^2)^{-1} \cdot (T_1^2 + T_p^2 + T_p \cdot T_2)).$$

Величина b_{np} определяет предельную толщину стружки, при которой возникают автоколебания, поэтому для их ликвидации необходимо или уменьшать толщину стружки, или изменять параметры K_{yc} упругой

системы СПИД.

УДК 621.01.001

Динамический синтез и анализ машинного агрегата HONDA CBR 600

Портянков И.А., Кузьмич В.В.

Белорусский национальный технический университет

Курсовое проектирование по теории механизмов и машин по автотракторным специальностям выполняется на примерах автомобилей с одно- (двух-) цилиндровыми двухтактными ДВС. Использование многоцилиндровых четырехтактных ДВС значительно увеличивает объем расчетных и графических работ; кроме того появляется ряд специальных задач, требующих дополнительных решений и увеличения времени на выполнение проекта при прежних сроках выполнения. Поэтому нами, на примере мотоцикла HONDA CBR 600 с четырехтактным 4-х цилиндровым ДВС, предложен электронный вариант выполнения динамического синтеза и анализа машинного агрегата по заданному коэффициенту неравномерности вращения коленчатого вала с расчетом момента инерции параметров маховика, а так же его угловой скорости и углового ускорения.

В основу расчета кинематических характеристик звеньев положена кинематика кривошипно-ползунного механизма одного (первого) цилиндра с учетом относительного расположения кривошипов коленчатого вала остальных цилиндров, определяемых циклограммой ДВС. Наличие циклограммы, выбор которой определяется заданием, позволяет после обработки индикаторной диаграммы составить таблицу значений сил давления газов, действующих на поршни двигателя. Затем выбирается динамическая модель машинного агрегата мотоцикла и определяются параметры модели: приведенный момент движущих сил и переменная составляющая приведенного момента инерции. Решение задачи динамического синтеза осуществляется методом Н.И. Мерцалова как и в обычном проекте. Программирование всего алгоритма, синтеза и анализа, производится в программе "Delphi XE", с применением "Microsoft Excel", что позволяет на всех этапах проектирования видеть результаты расчетов, которые отображаются в виде таблиц, графиков, а в случае отрицательного результата – вернуться и откорректировать исходные данные. Результаты динамического синтеза и анализа являются базой для последующих графических построений по этой части проекта в программах "AutoCAD" либо "КОМПАС". Таким образом, курсовое проектирование полностью выполняется в электронном варианте под непосредственным контролем руководителя проекта.

Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент

Математическая модель обработки корпусных деталей с помощью компьютеризированной экспертной системы

Шлегел В.К., Штуро А.М., Курч Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Экспертная система (ЭС) – это набор программ, выполняющий функции эксперта при решении задач из некоторой предметной области. ЭС выдают советы, проводят анализ, дают консультации, определяют основные направления совершенствования изделий. Экспертная система состоит из базы знаний (части системы, в которой содержатся факты), подсистемы вывода (множества правил, по которым осуществляется решение задачи), подсистемы объяснения, подсистемы приобретения знаний и диалогового процессора.

Авторами предложена математическая модель экспертной системы анализа и совершенствования базовой конструкторско-технологической модели. Она действует полностью в интерактивном режиме. Информация, связанная с конкретным объектом и интегрирована в систему. ЭС включает в себя ряд модулей, таких как построения базы знаний, представления знаний, механизм умозаключений, базу знаний, базу данных и модуль пояснений.

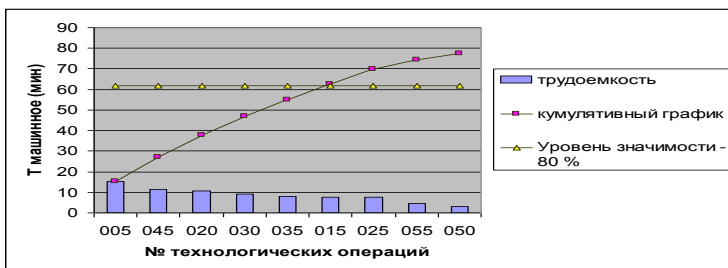


Рисунок 1 – Анализа конструкторско-технологической модели детали.

Предлагаемая авторами экспертная система анализа и повышения технологичности конструкции корпусных изделий предусматривает обеспечение конструкторов и технологов единым информационно-техническим полем, которое дает возможность снижения длительности цикла изготовления детали и производственных затрат.

Литература:

1. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов / И.П.Филонов, Г.Я.Беляев, Л.М.Кожуро и др.; Под общ. ред. И.П.Филонова. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.

Математическое моделирование и апробация оптимальных режимов резания с учетом возможностей современного инструмента

Шелег В.К., Варварина И.А., Курч Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с методикой технико-экономического анализа технологических процессов производства деталей машиностроения, устанавливающей взаимосвязь между характеристиками процесса производства (энергоёмкость, трудоёмкость, материалоемкость) и себестоимостью технологических процессов, разработан программно-методический комплекс по технико-экономическому анализу и совершенствованию технологий изготовления деталей с учетом возможностей современного оборудования, оснастки и инструмента.

Создана математическая модель, позволяющая осуществлять выбор оптимальных сочетаний методов обработки и определять логические взаимосвязи и зависимости между методами обработки и параметрами детали, была апробирована в реальном производстве на Минском заводе колесных тягачей. Авторами проведены экспериментальные исследования сочетаний различных параметров обрабатываемых материалов и материалов режущих пластин при работе с увеличенной скоростью резания и при сохранении стабильных, прогнозируемых параметров износа инструмента. Была испытана режущая пластина Sandvik Coromant GC 4325 в сравнении с существующими аналогами. Были достигнуты следующие результаты: повышена скорость резания с **260** м/мин до **407** м/мин, увеличена подача с **0,25** до **0,3** мм/об, что снизило время обработки с **3,33** до **1,5** мин. При этом стойкость режущей кромки составляла **30-40** мин/кромка при нормальном износе по задней поверхности.

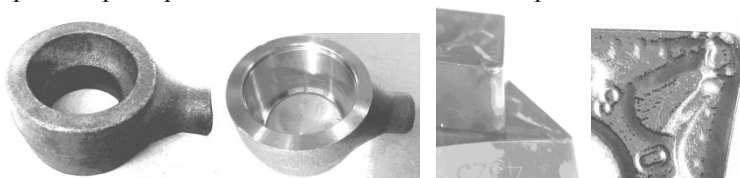


Рисунок 1 – Заготовка, деталь и нормальный износ пластины

Годовой экономический эффект – 30 тыс. долларов США. Экономия производственного времени – 801 час.

Литература:

1. Дополнение к каталогам – «Токарные инструменты» и «Вращающиеся инструменты», CoroPak 14.1 Sandvik Coromant – 2014. – 208 с.

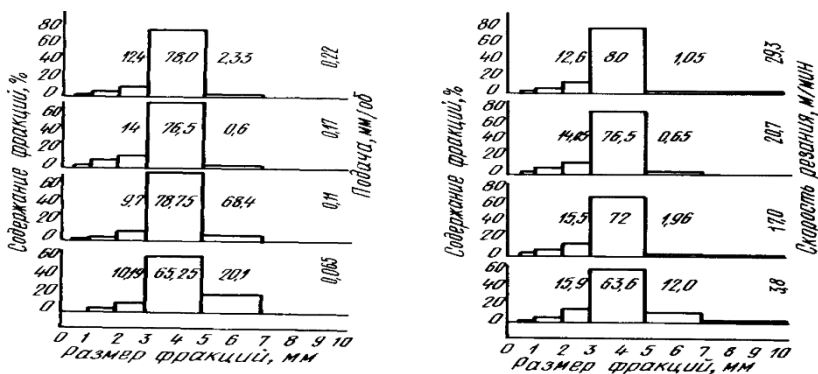
Оценка эффективности дробления стружки

Дечко Э.М.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях интенсификации процессов металлообработки, увеличения использования высокоскоростных обрабатывающих центров остаются актуальными задачами образование стружки определенных размеров, стружкодробление, защита подвижных частей станков и последующее удаление стружки. Ведущими мировыми фирмами – производителями металлорежущего инструмента для дробления стружки – предлагаются сотни вариантов твердосплавных пластин для конкретных групп материалов и конструкций инструментов. Так, наряду с параметрами стружколомов, например, для сверления, MITSUBISHI приводит таблицы видов стружек, образующихся при сверлении различных материалов [1].

Однако такие таблицы не дают возможность оценить параметры частиц и витков стружек, стабильности их размеров в процессе резания. Для количественной оценки частиц стружек предлагается метод ситового анализа, позволяющий произвести статистический анализ фракционного состава стружки и его зависимость от условий резания [2]. Результаты распределения размеров частиц по фракциям при глубоком сверлении стали 45 сверлом $\varnothing 121$ мм представлены на диаграмме.



Литература:

1. <http://MITUBINICARBIDE.com>, 2013.
2. Дечко Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях. – Мн.: Выш. школа, 1979. – 232 с.

**Динамический конечно-элементный анализ станка
для бесцентрового точения прутков**

Довнар С.С., Якимович А.М., Ратько Е.Ф., Мищенко С.Н.
Белорусский национальный технический университет

Был проведен модальный МКЭ-анализ станка и проходящего сквозь него прутка. Выяснялись резонансные моды, формулировались конструктивные и технологические рекомендации.

Диапазоном интереса (от 5 до 50 Гц) является частотный интервал вынужденных колебаний сил резания. Станина станка с трудом удерживает общестаночные резонансы над диапазоном интереса. Крутильная жесткость станины должна быть повышена, например, путем заполнения полимербетоном. Общестаночные резонансные моды оказались плотно уложены в диапазоне от ~60 до ~170 Гц и угрожают возникновением автоколебаний от сил резания. Особенно опасны крутильный и вертикальный резонансы коробки на частотах 132 и 158 Гц.

В прутковом канале все резонансные моды тяготеют к локальности и лежат выше диапазона интереса. Поэтому линейные резонансы в прутке от сил резания не прогнозируются. Однако существенную опасность представляют автоколебания сил резания. Они способны придавать прутку граненую форму в сечении (3–5 граней). Натяжение прутка в диапазоне 0–100 МПа оказывает слабое воздействие на все моды колебаний.

Демпфирующие рычаги играют в динамике прутка роль отсекающих вибраций. Вместе с кулачками, резцами и роликами они образуют опорные пары (например, «резцы + передние рычаги»). Эти пары блокируют смещения и повороты прутка. Тем самым резонансные моды остаются локальными и высокочастотными. Опорные пары не должны разбиваться, поскольку одиночные опоры менее эффективны в ограничении резонансов. Целесообразно введение дополнительных опорных пар.

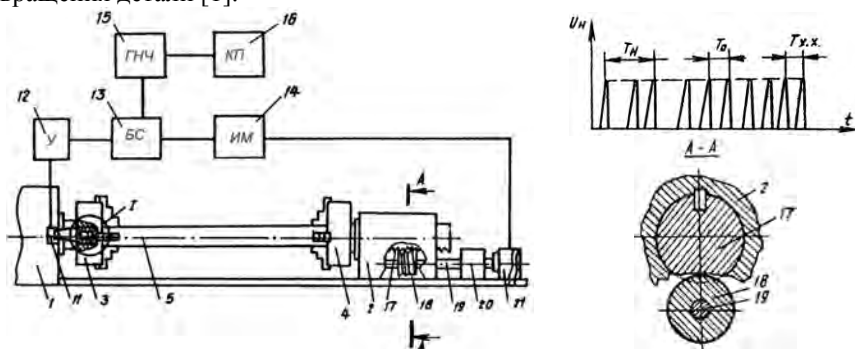
Необходимо сплочение направляющей коробки со шпиндельной бабкой станка во время обработки прутка. Коробка является самым динамически возбудимым узлом. Сплочение может быть выполнено путем создания верхнего силового пояса. Под коробкой обязательно нужно усилить стенки и потолок стружечного прохода.

Установка для обработки нежестких деталей с системой автоматического управления

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

Белорусский национальный технический университет

Для токарной обработки нежестких деталей, закрепленных в двух зажимных патронах передней и задней бабок станка, разработана установка с системой автоматического управления приводом перемещения патрона. Установка (рисунок 1) состоит из передней 1 и задней 2 бабок станка, где в патронах 3 и 4 закреплена деталь 5. На патроне 3 закреплен корпус 6, где расположена батарея питания 7, упругий элемент 8, лампочка 9 и линза 10. На передней бабке 1 закреплен датчик освещенности 11, соединенный через усилитель 12 (У) и блок сравнения 13 (БС) с исполнительным механизмом 14 (ИМ), а блок сравнения соединен с генератором низких частот 15 (ГНЧ), связанным с коробкой передач. Датчик освещенности формирует импульсы тока с частотой $\omega/(2\pi)$, где ω – угловая скорость шпинделя 3. Эти импульсы поступают в БС (13), который связан с ИМ (14). Рейка, установленная на механизме задней бабки 17, входит в зацепление с червяком 18, соединенным валиком 19 с редуктором 20, кинематически связанным с электродвигателем постоянного тока 2. При работе в начальный момент, когда период импульсов T_n больше оптимального T_o , выбранного при благоприятной нагрузке, на ИМ не поступает сигнала, а при достижении оптимального периода T_o включается двигатель 21 и деталь 5 растягивается. Растягивающее усилие прикладывается в момент установившегося режима вращения детали [1].



Литература:

1. Костюкович С.С., Ивашин Э.Я. и др. Устройство для токарной обработки. А.С. 1073003 (СССР), опубл. в Б.И., 1984, №6.

Способы и средства подвода смазочно-охлаждающей жидкости в зону резания на вертикально сверлильно-фрезерно-расточных многоцелевых станках

Каханчик Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Уменьшение теплообразования в зоне обработки, повышение работоспособности режущего инструмента, производительности обработки и улучшение качества поверхностного слоя обработанных деталей зависят от способов подачи смазочно-охлаждающих средств (СОТС) непосредственно в зону обработки. В многоцелевых станках используются следующие способы подвода смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) [1, 2]:

- свободно падающей струей (поливом). Жидкость следует подводить непрерывной струей, начиная с момента врезания, а струю направлять в то место, где отделяется стружка. Недостатками метода является сильное разбрызгивание жидкости при высоких скоростях резания; невозможность наблюдения за местом обработки; слабое смазочное действие;
- под давлением через сопловые насадки (напорной струей). Тонкую струю направляют в зону контакта режущей кромки инструмента с обрабатываемой заготовкой со стороны задней грани лезвия. Достоинствами являются повышение производительности обработки, улучшение дробления стружки, недостатками – трудность обеспечения нужного направления струи СОЖ на режущую кромку инструмента; сильное разбрызгивание упругой и опасной струи жидкости;
- в распыленном состоянии (в виде струи воздушно-жидкостной смеси). Для реализации этого способа станки оснащают установками, в которых образуется воздушно-жидкостная смесь, и соплами для формирования и направления в зону резания струи этой смеси. Недостатком этого способа является слишком громкий свист истекающей струи воздуха;
- через каналы в инструменте с выходом в зону резания под давлением. Применение этого способа обеспечивает не только подачу СОТС в зону резания, но и удаление стружки.

Литература:

1. Маслов А.Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: справ. 3-е изд. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Маслов А.Р. Инструментальная оснастка технологических систем в машиностроении: Сб. материалов / Сост. и ред. А.Р.Маслов. М.: Издательство «ИТО», 2008. – 114 с.

Опыт эксплуатации установки для быстрого прототипирования ProJet 1000

Колесников Л.А., Якимович А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для учебных и исследовательских целей машиностроительный факультет БНТУ приобрел установку для быстрого прототипирования ProJet 1000, основанную на технологии Film Transfer Imaging. На прозрачную подложку наносят слой фотополимера (акрила), сверху опускается платформа с выращиваемой деталью, а снизу проектор проецирует ультрафиолетовое изображение текущего слоя.

Толщина слоя 0.107 мм, размер камеры для выращивания – 171×203×178 мм, разрешение проектора – 1024×768 пикселей (~ 0.2 мм), минимальная толщина вертикальной стенки 0.64 мм.

Скорость выращивания порядка 12 мм/час. Картридж содержит 2 кг фотополимера, его ориентировочная стоимость – 500 \$.

Установка работает практически бесшумно. Посторонних запахов не ощущается даже в плохо вентилируемом помещении. Подготовка 3D-модели к печати осуществляется в простой программе, поставляемой вместе с установкой. Качество поверхности очень высокое – даже «муар» от слоев различим только на самых пологих участках детали. Механические свойства выращенных деталей практически не отличаются от литых из акрила.

К недостаткам следует отнести:

- необходимость постобработки выращенных деталей. Осуществляется в отдельнокупаемых установках, превышающих по габаритам ProJet 1000. Включает в себя экспозицию ультрафиолетовой лампой и промывку пропиленкарбонатом. Без постобработки поверхность детали остается очень липкой неограниченное время;
- необходимость ручного удаления элементов поддержки («столбиков»), выполненных из того же материала, что и деталь. При этом повреждается достаточно точная и чистая поверхность детали. Поддержки расставляются автоматически, их перенос теоретически возможен, но категорически не рекомендуется производителем;
- необходимость очистки камеры выращивания при длительном (порядка 2-х недель) простое установки. Это приводит к большим потерям фотополимера и низкому КПД его использования.

Экономика и организация машиностроительного производства

Проблемы льготирования прибыли от реализации инновационной и высокотехнологичной техники

Адаменкова С.И., Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее существенными льготами по налогу на прибыль для машиностроительных предприятий является льготирование прибыли от реализации продукции собственного производства, включенной в утверждаемые Советом Министров Республики Беларусь перечни инновационных или высокотехнологичных товаров. Для получения этих налоговых льгот предприятию необходимы соответствующие заключения Научно-технического экспертного совета Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь (ГКНТ) о признании товара инновационным и (или) высокотехнологичным. ГКНТ принимает такие решения на основании критериев, установленных в Постановлении Совета Министров Беларуси № 995 «О порядке формирования перечня инновационных товаров» и Постановлении ГКНТ №12 «О порядке выдачи заключений об отнесении товаров (работ, услуг) к высокотехнологичным». Постановление ГКНТ №12 предусматривает оценку продукции на высокотехнологичность по следующим критериям: высокотехнологичность производства; новизна товара; безотходность производства товара; экспортоориентированность; наукоемкость; наличие интеллектуальной собственности; удельная добавленная стоимость по товару; использование высококвалифицированного и интеллектуального труда. Продукция признается высокотехнологичной, если интегральный показатель более 50% от максимально возможной величины (интегральный показатель – это сумма по всем критериям произведений балла по критерию и веса критерия в интегральной оценке).

Анализ действующей методики оценки высокотехнологичности продукции показывает, что получить максимальные баллы по критериям «безотходность производства» и «удельная добавленная стоимость» проще, имея трудоемкий товар, а не материалоемкую продукцию. Для нивелирования подобного предлагается, кроме применяемых в Постановлении № 12 единых для всех товаров диапазонов значений факторных показателей по названным критериям, ввести дополнительные диапазоны значений факторных показателей по этим критериям для трудоемкой и материалоемкой продукции. Это будет способствовать более объективному отбору инновационной и высокотехнологичной продукции, а, следовательно, и получению заслуженных льгот по налогу на прибыль для ее производителей.

Оценка влияния факторов внешней среды на эффективность функционирования промышленного предприятия

Аниканова Е.Э., Короткевич Л.М.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях хозяйствования предприятия в полной мере осознали необходимость изучения внешней среды и ее воздействия на развитие предприятия.

Целью работы было исследование внешней среды предприятия, ее влияние на его деятельность и определение путей совершенствования стратегии предприятия. Для оценки влияния внешней среды на эффективность функционирования открытого акционерного общества «Минский подшипниковый завод» была разработана и использована следующая методика:

Этап 1. Постановка цели и задачи;

Этап 2. Качественный анализ («PEST» - анализ);

Этап 3. Количественный анализ (корреляционно-регрессионный анализ);

Этап 4. Оценка степени нестабильности внешней среды предприятия (матрица И. Ансоффа);

Этап 5. Выработка управленческого решения и дальнейшей стратегии развития предприятия.

Апробация данной методики показала, что открытое акционерное общество «Минский подшипниковый завод» находится в сложном финансово-экономическом положении, которое объясняется частично и влиянием факторов внешней среды.

Наиболее сильная корреляционная связь между прибылью организации и факторами внешней среды наблюдается в отношении с поставщиками, потребителями и рядом экономических факторов.

Оценка степени нестабильности внешней среды показала, что предприятие функционирует в нестабильной среде, испытывает недостаток оборотных средств, который сдерживает дальнейшее наращивание объемов производства и реализации продукции.

В настоящее время любое предприятие волнует вопрос эффективности в текущем и стратегическом режиме; следовательно, руководителям предприятий важно разрабатывать и внедрять систему критериев оценки влияния факторов внешней среды на эффективность функционирования промышленного предприятия.

Наличие такой системы позволит предприятию создавать и контролировать адекватную стратегию своего развития.

Поддержание надежности транспортного обслуживания

Бутор Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Для поддержания требуемой надежности транспортного процесса необходимо совершенствование механизма пребывания автомобиля в пункте погрузки, что на практике может выражаться через коэффициент ускорения выезда на линию.

В качестве метода поддержания надежности предлагается использовать поправочный коэффициент к длительности транспортного цикла, который можно рассчитать по следующей формуле:

$$k_{\text{уск.ТП}} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \frac{t_{\text{од}} + t_{\text{ож}}}{\sum_{i=1}^m T_{\text{погр}i}} \rightarrow \min,$$

где $t_{\text{од}}$ – время оформления документов; $t_{\text{ож}}$ – время ожидания транспортным средством своего выезда на пост отправки (пункт погрузки); λ – интенсивность потока требований; μ – количество партий груза, предназначенных для конкретного автомобиля; $T_{\text{погр}}$ – фактическая длительность цикла пребывания автомобиля на посту (в пункте погрузки).

Коэффициент ускорения выезда на линию должен уменьшать длительность пребывания транспортного средства в пути, а, следовательно, должен стремиться к минимуму. Очевидно, что к нулю данный коэффициент приближаться не может, так как время оформления товаросопроводительных документов значительно меньше всего времени погрузки. Величину данного коэффициента, определяемого с помощью данных предприятий в каждом конкретном случае и предложенной модели, следует учитывать при согласовании нарядов на работу по путевым листам, а также при согласовании дат поставок/закупок при использовании собственного транспорта предприятия.

Наиболее приемлем расчет ускорения процесса перевозок по экономико-математической модели совершенствования механизма поддержания оптимальной надежности транспортного процесса, которая описывает зависимость транспортных издержек, эффекта ускорения транспортного процесса и дополнительной прибыли транспортной службы от надежности транспортного процесса.

С повышением надежности транспортного обслуживания возрастают издержки транспортной службы предприятия, но и растет величина эффекта ускорения транспортного процесса.

Рост издержек должен компенсироваться за счет дополнительно полученной прибыли от деятельности транспортной службы предприятия.

Методология моделирования бизнес-процессов на промышленных предприятиях

Гребенников И.Р.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время многие компании стремятся к повышению эффективности своей деятельности. Одним из направлений повышения эффективности является оптимизация бизнес-процессов (также часто называемая реинжинирингом бизнес-процессов).

Под «бизнес-процессом» будем понимать последовательность действий осуществляемых сотрудниками организации, направленных на создание добавленной стоимости.

Любой бизнес-процесс состоит из множества элементов, взаимосвязанных друг с другом.

Начальным этапом оптимизации является описание существующих бизнес-процессов. Далее проводится оценка стоимости реализации бизнес-процесса и результатов, достигнутых в ходе его осуществления. Выполняется оценка соответствия бизнес-процесса требованиям организации и, в случае необходимости, разрабатываются мероприятия по их совершенствованию, т.е. производится моделирование усовершенствованных бизнес-процессов.

При описании и моделировании бизнес-процессов необходимо руководствоваться следующими правилами: описание и моделирование элементов бизнес-процессов должно осуществляться при непосредственном участии лиц, задействованных в процессе; необходимо использовать визуальные подходы описания бизнес-процессов, способствующие повышению эффективности работы в группе; при описании элементов бизнес-процессов необходимо использовать понятия и термины, принятые в организации; необходимо помнить, что необходимо моделировать схемы деятельности, а не организационных структур, т.к. достаточно часто в реализации отдельных элементов задействованы различные функциональные подразделения и др.

Методику описания бизнес-процессов будем называть нотацией бизнес-процесса. В настоящее время встречаются следующие нотации бизнес-процессов: процессные диаграммы; кросс-функциональные диаграммы; бизнес-графика; IDEF0-диаграммы; нотации консалтинговых компаний. Наибольший интерес представляет методика моделирования процессов в виде IDEF0-диаграмм. Данная методика имеет широкое распространение в США и Западной Европе, однако в Республике Беларусь еще не получила широкого распространения.

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Проведенные исследования показали, что потребность в санации возникает у организации в силу необходимости улучшения экономической состоятельности. В тоже время на состояние санационной восприимчивости большое воздействие оказывает ситуация на рынке (спрос, конъюнктура рынка, конкуренты) и его инфраструктура, уровень научно-технического развития, природно-климатические условия региона, в котором расположена организация, правовые условия, социально-экономические факторы и государственная политика (налоговая, денежно-кредитная, социальная).

Для реализации модели санации администрацию предприятия (антикризисного управляющего) прежде всего интересуют внутренние ресурсы и скрытые возможности (резервы) самого субъекта хозяйствования.

Не существует единого для всех предприятий подхода к управлению. Каждое предприятие имеет свои особенности, и, следовательно, процесс выработки управленческих решений для каждого из них также индивидуален. Он зависит от позиции организации на рынке, ее потенциала, поведения конкурентов, характеристик производимого товара.

Предлагается разрабатывать управленческие решения на основе оценки финансово-экономического потенциала предприятия и выявления параметров, оказывающих на нее отрицательное влияние, а также с учетом определения наиболее значимых показателей. Процесс сопоставления фактического уровня показателей и их значимости позволит определить факторы, которые надо учесть в первую очередь при принятии управленческих решений.

По результатам оценки экономического потенциала целесообразно определять политику воспроизводства или финансирования. Цель финансирования и воспроизводства зависит от стратегии развития и экономической состоятельности. Результатом оценки и анализа экономической состоятельности и санационной восприимчивости будет являться план санации. Разработка плана должна осуществляться в зависимости от стратегии санации.

Мониторинг процедуры санации как заключительный этап процедуры санации призван оценить эффективность санационного механизма в процессе реализации с целью корректировки процедуры санации в рамках сложившихся условий экономического развития.

Экономическая эффективность комбинированного упрочнения инструмента

Иванович А.И.

Белорусский национальный технический университет

В БНТУ разработана и успешно апробирована в промышленных условиях технология комбинированного упрочнения инструмента. Результаты производственных испытаний этого метода упрочнения на Пермском моторном заводе (акт испытания от 20.04. 2007 г.) показал высокую эффективность этого метода при испытании упрочненных гаечных метчиком М 6х1-5Н6Н при машинном нарезании резьбы в гайках. Стойкость метчиков до полного износа увеличивается в 15 раз. Величина экономии за счет повышения стойкости инструмента на программу испытания $N=27074$ штук составит:

$$\mathcal{E} = \frac{N * t_{\text{маш}}}{(n+1) * t_{\text{стб}} * (1-\eta)} * Ц_{\text{б}} - \frac{N * t_{\text{маш}}}{(n+1) * t_{\text{стн}} * (1-\eta)} * Ц_{\text{н}}$$

где $Ц_{\text{б}}$, $Ц_{\text{н}}$ – соответственно цены метчика до и после упрочнения (принимается по заводским данным соответственно 7 и 7,7 у.е.); $t_{\text{стб}}$ и $t_{\text{стн}}$ – соответственно стойкость инструмента между переточками до и после упрочнения, мин; n – число допустимых переточек данного инструмента; $t_{\text{маш}}$ – машинное время обработки одной детали, мин (принимается по заводским данным); η – коэффициент случайной убыли для данного инструмента.

Величина экономии составит:

$$\mathcal{E} = \frac{27074 * 2,01 * 7}{(4+1) * 120 * (1-0,2)} - \frac{27074 * 2,01 * 7,7}{(4+1) * 1800 * (1-0,2)} = 735,4 \text{ у.е.}$$

В расчете на 1 машино-час работы оборудования величина экономии составит

$$\mathcal{E}_{\text{маш-час}} = \frac{\mathcal{E} * 60}{N * t_{\text{маш}}} = \frac{735,4 * 60}{27074 * 2,01} = 0,81 \text{ у.е.}$$

В дальнейшем, имея этот норматив, можно укрупнено определить величину экономии от упрочнения для аналогичного инструмента в зависимости от программы и машинного времени работы инструмента по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{N * t_{\text{маш}} * \mathcal{E}_{\text{маш-час}}}{60}$$

Оптимизация структуры иностранных инвестиций на промышленных предприятиях

Ивашутин А.Л., Хрусталеv С.Б.

Белорусский национальный технический университет

Объем иностранных инвестиций, работающих в отрасли и на предприятиях, зависит от их финансового положения и темпов экономического развития. Но в любом случае соотношение между национальными и иностранными инвестициями (их накопленной составляющей) должно быть оптимальным.

Эта проблема по экономическому содержанию коррелирует с вопросом: *каким должно быть соотношение между собственным и заемным капиталом*. Ответ тот же: оптимальным. Но применительно к этому вопросу и в теории и в практике имеются достаточные методологические наработки, в основном связанные с изучением финансового рычага.

Проблема же оптимизации объемов иностранных инвестиций намного сложнее, хотя связана с той же классической дилеммой: повышать эффективность или снижать риск.

Для решения этого вопроса необходимо определиться с критериями оптимизации. В качестве целевой функции применительно к предприятию можно принять максимизацию добавленной стоимости, относящейся к совладельцам-резидентам, национальным работникам, национальному правительству.

Оптимизация при этом должна касаться не только соотношения между национальными и иностранными инвестициями, но и структуры иностранных инвестиций. В Беларуси под видами иностранных инвестиций понимаются прямые, портфельные и прочие. Если их классифицировать подробнее, то получится следующая структура: а) прямые инвестиции в виде вкладов в уставные фонды, б) кредиты и займы, полученные от прямых инвесторов, в) финансовый лизинг от прямых инвесторов, г) прочие прямые инвестиции (задолженность за товары, работы, услуги прямому инвестору), д) портфельные инвестиции, е) прочие инвестиции (кредиты иностранных банков и иностранные кредитные линии). Воздействие на экономику предприятия иностранных инвестиций разных видов в одном и том же объеме, естественно, разное. В этом и сложность при определении оптимальных пропорций между инвестициями разных видов. Если же эту проблему рассматривать с учетом рисков резидентов, то задача многократно усложняется. Решению этих вопросов и посвящено основное исследование авторов.

Методика расчета организационно-технических параметров процессов поточного производства

Калинкин Г.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Методика включает ряд последовательно выполняемых действий.

1. Определение расчетного числа единиц оборудования на операциях по формуле:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot ti}{60F_{\text{Э}}} \quad (1),$$

где: N – производственная программа на определенный период, шт.; ti – норма штучного времени на i -ой операции, мин.; $F_{\text{Э}}$ – эффективный фонд времени за принятый к расчету период, час;

2. Определение принятого числа единиц оборудования (рабочих мест) на операциях ($C_{\text{пр}}$) путем округления расчетного числа до целого. Это действие осуществляется по общепринятому правилу;

3. Расчет отношений норм штучного времени к принятому числу единиц оборудования на операциях;

4. Определение нормативного рабочего такта поточной линии (граб) по максимальному отношению нормы штучного времени к количеству единиц оборудования;

5. Определение условия синхронности выполнения операций производственного процесса;

6. Определение соотношения эффективного фонда времени и программы. При сложившейся нормальной структуре поточной линии можно варьировать значения производственной программы и эффективного фонда времени в разумных пределах как угодно, оставляя при этом неизменной величину нормативного рабочего такта. Это означает, что не такт поточной линии определяется по соотношению эффективного фонда времени и программы, а это соотношение определяется по такту, который является функцией нормы труда;

7. Определение фонда времени, необходимого для выполнения заданной производственной программы, по формуле:

$$F_{\text{н}} = N_{\text{з}} \cdot \text{граб} \quad (2);$$

8. Определение максимального количества деталей, которое может быть изготовлено при заданном фонде времени, по формуле:

$$N_{\text{max}} = F_{\text{з}} : \text{граб} \quad (3)$$

Другие организационно-технические параметры поточного

производства определяются по общепринятой методике.

УДК 001.895

Кластеры как основа перехода на инновационное производство

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Современное машиностроение – это сфера высоких технологий, в которой и технологии, и материально-техническая база основного производства, и инфраструктура определяются уровнем интеллекта всех компонентов. Современные машиностроительные комплексы в США, Германии, Японии, Великобритании и др. формируют основу пятого и шестого технологического уклада, в котором ядром являются интеллектуальный и информационный ресурс.

Интеграция промышленных предприятий и образование современных кластеров – одна из важнейших тенденций развития организации и управления в XXI в. Изменения среды функционирования организаций вызывают к жизни огромное разнообразие институциональных форм и отношений, в которых реализуются современные процессы промышленного производства. Объединение и сотрудничество в рамках кластера способствует разделению высоких затрат и рисков инновационной деятельности между участниками сетевого взаимодействия. Затраты на инновации зачастую не под силу изолированным организациям, а внутри кластера происходит разделение расходов между партнерами, таких как приобретение и распространение знаний, технологий, движение кадров от одного производителя к другому и непрерывному обучению. Близкая интеграция между организациями способствует преодолению трудностей восприятия важных технологических изменений, включая появление новых научных и производственных знаний.

В Республике Беларусь роль кластерного подхода в решении задач инновационного развития и модернизации экономики Беларуси признана на государственном уровне, что нашло отражение в программных документах: «Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы», «Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы», «Стратегии технологического развития Республики Беларусь на период до 2015 года», «Концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь на период до 2020 года», где отмечено, что в целях повышения эффективности системы управления научно-технической и инновационной деятельностью

необходимо создание отраслевых (межотраслевых) и территориальных интегрированных структур в форме кластеров.

УДК 658

Реализация управления промышленным предприятием

Короткевич А.И., Короткевич Л.М.

Белорусский национальный технический университет

Реализация управления промышленным предприятием представляет собой деятельность менеджмента организации по определению и достижению целей ее развития. При этом процесс управления должен включать следующие этапы: постановку целей и определение задач развития; разработку критериев эффективности, достижения поставленных целей; проектирование организационно-экономического механизма достижения поставленных целей в соответствии с разработанными критериями.

Целью системы называется определенное, «желаемое» (заданное извне или установленное самой системой) состояние ее выходов, т.е. некоторое значение или подмножество значений функции системы. Осуществление управления в соответствии со стратегическими целями развития требует определения критериев, позволяющих измерять эффективность деятельности по их достижению. Для этих целей можно использовать обоснованный в рамках теории хозяйственных систем подход. Процедура построения критерия эффективности в соответствии с данным подходом может быть представлена следующим образом: определение функций рассматриваемой системы как подсистемы вышестоящей системы; определение набора показателей, в наибольшей степени отображающего эффективность выполнения функции; закрепление порядка показателей, в соответствии с которым должны изменяться значения показателей; оценка с помощью ранговых статистик эффективности деятельности на основе измерения динамики изменения значений показателей. В процессе проектирования организационно-экономического механизма достижения целей развития предприятие необходимо рассматривать его как систему. В этом случае проектирование организационной структуры управления позволяет выделить ее подсистемы со следующими составляющими: по целям развития предприятия; по этапам жизненного цикла объекта целеполагания; по обеспечивающим подсистемам; по уровням вертикальной структуры предприятия; по основным этапам цикла управления. Это дает возможность сформировать множество комплексов задач, организация решения которых позволит эффективно осуществлять деятельность по достижению стоящих перед промышленным

предприятием целей.

УДК 316.2

Возможности стратегического картирования в управлении инновационной деятельностью

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Анализ практики управления инновационной деятельностью (ИД) зарубежных компаний показывает активное применение ими инструментов стратегического планирования. Одним из таких методов является рудмаппинг. Этот термин пришел в экономику из политики и дословно означает в переводе с английского – движение по дорожной карте. Авторы системы сбалансированных показателей (BSC) Norton и Kaplan предложили схему, обратную процедуре BSC: использовать показатели деятельности предприятия для разработки стратегии. Такой подход они назвали стратегическим картированием (англ. — Strategy mapping). Стратегические карты позволяют визуализировать причинно-следственные связи между конкретными улучшениями и желаемым эффектом, а также объединить взаимодействие всех участников разрабатываемой стратегии. Используя дорожную карту, можно весьма доступно объяснить как сотрудникам, поставщикам, так и покупателям в каком направлении движется компания. Процедура картирования начинается снизу-вверх и рассматривает стратегические перспективы по таким составляющим как обучение и развитие, внутренние бизнес-процессы, связи с заказчиками и финансы, по каждой из которых указываются мероприятия по реализации стратегии и показатели оценки эффективности достижения поставленных целей. При этом система показателей и их критериальные оценки должны быть сбалансированы. В этом состоит суть стратегического картирования. Основным направлением стратегического развития любого предприятия является его инновационная составляющая. Стратегические карты в управлении ИД позволяют согласовать рыночную стратегию с научно-техническими планами развития, внедрения новых технологий и инновационных продуктов. В силу известных причин инновационный процесс обладает рядом особенностей, которые должны быть учтены при разработке стратегической карты ИД предприятия. Процесс предлагается начинать с формирования ключевых показателей ИД в соответствии со стратегией предприятия, а затем определить важнейшие стратегические перспективы, сгруппированные по таким составляющим как: финансовая эффективность инноваций; маркетинговая эффективность инноваций; производственная

эффективность инноваций; организационная эффективность инноваций. Вся работу нужно организовывать на основе командного взаимодействия предприятия.

УДК 338.24

Моделирование жизненного цикла инновационной продукции

Костюкевич Е.Н., Сенник Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Ориентация отечественной экономики на инновационное развитие требует от предприятий активизации работ по выпуску инновационной продукции. Предприятия могут реализовывать поставленную задачу путем создания, прежде всего, продуктовых инноваций, как с этапа генерации идеи, так и с промежуточных этапов разработки продукта или же приобретая уже готовые разработки. Кривую, которая позволяет интерпретировать развитие рынка и товара, принято называть кривой жизненного цикла (ЖЦ). Базовая кривая ЖЦ включает четыре стадии: внедрение, рост, зрелость и спад. При этом, по каждому из перечисленных выше видов продуктовых инновации будет разное количество стадий жизненного цикла, по-разному будут генерироваться инвестиции по стадиям жизненного цикла разрабатываемых продуктов, будут разные сроки их вывода на рынок. Проведенный нами анализ показывает отличие моделей кривой ЖЦ для различных объектов исследования: товара, отрасли, предприятия, новшества и инновации, как по количеству стадий, так и по их содержанию и особенностям протекания. Например, для продуктовых инноваций можно выделить такие стадии, как: 1) генерация идеи, 2) поиск ресурсов, 3) НИР, 4) ОКР, 5) изготовление пробной партии, 6) начало серийного производства, 7) выход в точку окупаемости, 8) быстрый рост объемов производства, 9) замедление роста, 10) остановка роста, 11) спад, 12) завершение жизненного цикла. Существуют различные подходы к построению моделей ЖЦ инновационной продукции. Л.К. Шаминой и М.Ю. Тутаевой была предложена модель, в которой основное внимание направлено на процесс разработки инновационного продукта. Д.И. Кокурин в своих работах выделяет инновационный цикл и жизненный цикл инновации, под которым понимает время от начала запуска в производство продукта до его устаревания. Моделирование ЖЦ продуктовых инноваций (ПИ) позволяет выделить и систематизировать факторы, определяющие эффективность реализации этапов ЖЦПИ с учетом рыночного спроса и потенциала предприятия. В результате была предложена модель ЖЦ, которая позволяет моделировать стратегию ценообразования и совершенствования, начиная со стадии серийного

производства и до спада. Предложенный подход позволяет учесть спрос, цены на продукцию, объемы продаж, не содержит трудоемких расчетов, прост в графической интерпретации, позволяет проводить корректировку данных.

УДК 621.78.001

Этапы развития теории экономической эффективности

Бабук И. И.

Белорусский национальный технический университет

Принято различать теории... **Позитивная теория** изучает и объясняет наблюдаемые факты, устанавливает связи между ними.

Нормативная теория не только объясняет события и процессы реального мира, но и призвана способствовать выработке рациональных решений. Теория экономической эффективности является нормативной, и в этом качестве проявляется ее значение не только как важное звено экономической науки, но и как инструмент для правительства страны и субъектов хозяйствования при анализе, выработке и принятия решений в реальной экономической ситуации.

Аллокативная эффективность – это такой уровень размещения ресурсов, при котором достигается максимальная полезность для общества. Или – это такой способ распределения ресурсов, который соответствует максимальной полезности для потребителей, для общества.

X-эффективность и X-неэффективность. Американский экономист Харви Лейбенштейн предложил понятие X-неэффективности, которая характеризует долю неиспользованных ресурсов, а доля использованных соответственно выражает X-эффективность.

Принцип **эффективности по Парето** трактует, что эффективным считается всякое улучшение, которое приносит пользу субъекту, но при этом не ухудшает положения ни одного другого.

Эффективность затрат применяется в тех ограниченных случаях, когда имеется трудность в определении результата в измеримом выражении, или когда в теории игр проигравший теряет все, или когда победителю достается все.

Сравнительная эффективность – наиболее широко распространенный метод оценки экономической эффективности альтернативных вариантов принятия решений. Для оценки производственной деятельности производят сопоставление результата с затратами за период одного года, а при оценке инвестиционной деятельности – сопоставление единовременных затрат с результатами.

Эффективность и конкурентоспособность. Производитель выбирает

лучший вариант производства, сравнивая варианты на основе результата и затрат. Критерий – рентабельность изделия. Таким образом, можно утверждать, что конкурентоспособность является высшим критерием эффективности преобразования исходных ресурсов в товар.

УДК 005.932

Управление запасами в цепях поставок

Аниканов Е.С.

Белорусский национальный технический университет

В течение последних десяти лет в Республике Беларусь начало развиваться новое научное направление – логистика. Востребованность логистики и ее динамичное развитие вызвано ростом производства и мировой торговли. Несмотря на растущий интерес к логистике и управлению цепями поставок остается ряд проблем, решения которых позволит повысить эффективность и конкурентоспособности предприятий. Целью функционирования любой организации является развитие методики управления запасами, направленной на повышение эффективности функционирования цепей поставок, а также снижение логистических затрат. Можно выделить несколько этапов управления цепью поставок.

Первый этап. Тщательный подбор предприятий, производящих продукцию, являющуюся последовательно: исходным сырьем, материалом, полуфабрикатом, комплектующим изделием. Предприятия – участники цепи – обеспечивают, каждое на своем этапе, технологической цепочки получения качественного конечного готового изделия, оптимальный вариант предоставления промежуточного продукта.

Второй этап. Создание базы данных имеющихся поставщиков.

Третий этап. Выработка стандартов качества работы и поставляемых товаров для участников цепи, а также формирование планов их технологического и финансового взаимодействия; возможно использование и других направлений сотрудничества.

Четвертый этап. Контроль и обновление базы данных имеющихся поставщиков.

В качестве используемых методов анализа предлагается многокритериальная методика выбора поставщика, методика выбора наиболее эффективной системы управления запасами. Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что методы и модели способствуют разработке и принятию рациональных, обоснованных и эффективных решений в управлении запасами в цепях поставок, что позволит снизить логистические издержки за счет корректного учета затрат. Также оптимизация величины поставок и их

периодичности будет способствовать повышению надежности цепей поставок.

УДК 336.6

Управление финансовыми результатами хозяйствующих субъектов

Зеленковская Н.В., Нечаева Т.Г.

Белорусский национальный технический университет

В условиях рыночной экономики эффективность производственной, инвестиционной и финансовой деятельности любой организации выражается в финансовых результатах.

Цель деятельности субъекта хозяйствования определяет особенности его функционирования, содержание и структуру активов субъектов рынка, в особенности основных средств; формирует существенную часть конечного финансового результата. Управление финансовыми результатами организации требует комплексного системного подхода.

Работа в организациях прежде всего должна быть направлена на создание финансовых ресурсов для развития, в целях обеспечения роста рентабельности, инвестиционной привлекательности, т. е. на улучшение состояния системы хозяйствования. Показатели финансовых результатов характеризуют абсолютную эффективность хозяйствования организации.

Финансовые результаты деятельности для субъектов хозяйствования будут характеризоваться суммой полученной прибыли и уровнем рентабельности каждого звена хозяйствования системы, а, в конечном итоге, эффектом от деятельности организации (экономическим, социальным или любым другим). Для организации финансовый результат деятельности – это система разноименных показателей, дающих возможность оценить целесообразность деятельности. Поэтому объектом управления является система разноименных показателей.

Большое значение в процессе управления финансовыми результатами отводится экономическому анализу. Этот аспект управления становится наиболее значимым в настоящее время, так как практика функционирования рынка показывает, что без анализа финансово-хозяйственной деятельности не может эффективно функционировать любая хозяйственная система.

Основной целью анализа финансовых результатов является получение небольшого числа ключевых параметров, дающих объективную и точную картину состояния системы, ее прибылей и убытков, изменений в структуре и деловой активности. При этом необходимо определить как текущее состояние системы, так и его проекцию на ближайшую или более отдаленную перспективу, т.е. ожидаемые параметры состояния.

Бережливое производство: принципы и этапы внедрения

Лавренова О. А., Рунец В. А., Стрелецкий А. А.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время многие белорусские предприятия сталкиваются с проблемой качества выпускаемой продукции и конкурентной цены. Одним из вариантов решения проблемы могло бы стать активное внедрение на предприятиях концепции бережливого производства, которая, как известно, представляет собой концепцию управления производственным предприятием, основанную на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь. Основными принципами концепции являются следующие: принцип понимания ценности, принцип борьбы с потерями, принцип потока изделий и принцип постоянного совершенствования. Бережливое производство предполагает вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого работника и максимальную ориентацию на потребителя.

Изучение опыта некоторых российских (ОАО «Ульяновский Автомобильный Завод» (холдинг Sollers), ЗАО «ОЗ МИКРОН») и белорусских предприятий (СП ЗАО «Милавица», УП «Белкоммунмаш») показывает, что системное применение инструментов бережливого производства приводит к сокращению трудозатрат, операционных издержек и себестоимости, сроков производственного цикла, высвобождению производственных и складских площадей, а также способствует увеличению производительности труда и получению значимого экономического эффекта. Результаты исследования показывают, что порядок внедрения концепции зависит от характера производства, имеющихся проблем, целей предприятия, квалификации и активности персонала. Тем не менее, внедрение философии бережливого производства обязательно включает такие мероприятия, как организация командной работы и внедрение рацпредложений, организация работы по снижению потерь и эффективному управлению ресурсами. А концентрация на нуждах заказчика во многом способствует решению задачи повышения конкурентоспособности предприятия.

Следует отметить, что внедрение бережливого производства не является однократной акцией, а одним из важных факторов успешного внедрения является вовлеченность в процесс всех работников предприятия. Бережливое производство как концепция управления может успешно применяться не только на производстве, в розничной торговле, документообороте, финансовых и юридических организациях, но также в учреждениях образования и др.

Экономические аспекты применения технологии 3D-прототипирования

Лавренова О.А., Трусов Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Повышение конкурентоспособности продукции машиностроительных предприятий Республики Беларусь на сегодняшний день является одной из важнейших задач в отрасли. Традиционно основными направлениями решения этой задачи являются снижение себестоимости продукции и повышение ее качества, в первую очередь, на этапе конструкторско-технологической подготовки производства. При разработке любого нового изделия обязательным этапом является прототипирование. В последнее время популярность приобретает 3D прототипирование, которое начинается с создания математической модели изделия в CAD-формате и заканчивается печатью модели на 3D принтере. В отличие от традиционных методов производства, при которых происходит удаление материала или изменение его формы, создание модели на 3D принтере происходит путем послойного наращивания материала. Следует отметить, что получить готовую модель изделия можно уже через несколько часов после окончания проектирования CAD-модели. По сравнению с обычным способом производства стоимость опытных образцов продукции снижается в 5-10 раз, а сроки подготовки производства возможно сократить на 50-80%, практически исключив длительный и трудоемкий этап изготовления опытных образцов вручную или на станках с ЧПУ [1,2].

Рынок 3D-принтеров охватывает практически все ценовые категории (от 200 \$ до 1 000 000 \$) [3], поэтому достаточно легко выбрать подходящий для того или иного предприятия или предпринимателя. Основным различием между технологиями является прототипирующий материал, а также способ его нанесения. В ходе исследования выполнена сравнительная характеристика технологий прототипирования: SLA, SLS, FDM, выявлены возможности и ограничения их применения.

Безусловно, технологии 3D прототипирования имеют хорошие перспективы, особенно с учетом постоянного удешевления как прототипирующих материалов, так и процессов их нанесения, в том числе, за счет применения энергоэффективных установок.

Литература:

1. Быстрое прототипирование. Обзор технологий // http://www.vzrt.ru/rp_tec.php. 2. Прототипирование, прототипирование изделий // <http://www.ap-proekt.ru/bystroe-prototipirovanie.htm> 3. 3ders.org-price compare 3D printers // <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>.

Оценка конкурентоспособности промышленного предприятия на основе анализа рентабельности активов

Плясунков А.В., Мулярчик И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Под конкурентоспособностью промышленного предприятия следует понимать способность предприятия к эффективному использованию экономических ресурсов относительно эффективности использования экономических ресурсов предприятиями-конкурентами.

Конкурентоспособность промышленного предприятия предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$КСП2/1 = P2a / P1a, \quad (1)$$

где КСП2/1 – конкурентоспособность оцениваемого предприятия по отношению к предприятию-конкуренту; P2a, P1a – рентабельность активов соответственно оцениваемого предприятия и предприятия-конкурента.

Если $КСП2/1 > 1$, то оцениваемое предприятие более конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент. Если $КСП2/1 = 1$, то оцениваемое предприятие и предприятие-конкурент имеют одинаковую конкурентоспособность. Если $КСП2/1 < 1$, то оцениваемое предприятие менее конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент. Предприятия с отрицательным значением рентабельности активов не рассматриваются, так как они неконкурентоспособны в рассматриваемом периоде.

Рентабельность активов рассчитывается по следующей формуле:

$$P_a = Пч / A, \quad (2)$$

где Пч – чистая прибыль предприятия, А – активы предприятия.

В свою очередь рентабельность активов можно представить в виде факторной модели произведения рентабельности продаж и оборачиваемости активов. Рентабельность продаж зависит от конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя, затрат на производство и реализацию продукции, налогов из выручки и прибыли, которые зависят от законодательства в области налогообложения. Оборачиваемость активов зависит от управления запасами и основными средствами, управления дебиторской задолженностью и денежными средствами предприятия. Рентабельность активов показывает степень эффективности использования ресурсов предприятия. В итоге то предприятие, которое лучше использует свои ресурсы и является более конкурентоспособным.

В условиях жесткой конкурентной среды предприятие должно постоянно повышать эффективность использования своих ресурсов, чтобы быть более конкурентоспособным, чем другие предприятия.

Пути повышения конкурентоспособности промышленных предприятий

Плясунков А.В., Мулярчик И.Н.

Белорусский национальный технический университет

В условиях рыночной экономики конкуренция играет первостепенную роль. В связи с этим рыночным субъектам важно быть конкурентоспособными, чтобы успешно вести свою деятельность.

Конкурентоспособность промышленного предприятия интегрирует все технические, экономические, управленческие, финансовые и другие аспекты деятельности предприятия. В свою очередь, условием обеспечения конкурентоспособности промышленных предприятий является обеспечение конкурентоспособности выпускаемой продукции с точки зрения потребителя.

Направления повышения конкурентоспособности промышленных предприятий для целей структуризации можно подразделить на две основные группы:

1) повышение рентабельности продаж, что должно достигаться через повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции и эффективное управление затратами на ее производство и реализацию;

2) повышение оборачиваемости активов, что должно достигаться через повышение деловой активности предприятия, управление дебиторской задолженностью и основными средствами.

По каждому направлению повышения конкурентоспособности промышленного предприятия должно разрабатываться дерево целей, на последнем уровне которого должны быть мероприятия по достижению целей из конкретных проектов. Этими мероприятиями могут быть повышение качества управления, совершенствование связей с внешней средой, стратегический маркетинг, совершенствование организационно-технического уровня производства, анализ ресурсоемкости каждого товара по стадиям его жизненного цикла и последующее внедрение ресурсосберегающих технологий.

Чтобы создать конкурентоспособное промышленное предприятие, необходимо не только модернизировать производство и управление, но и четко знать для чего это делается, какая цель должна быть достигнута. Главным при этом должно быть умение определить, а затем быстро и эффективно использовать свои конкурентные преимущества. Все усилия необходимо направить на развитие тех сторон, которые выгодно отличают предприятие от потенциальных или реальных конкурентов.

**Комплексный подход к обоснованию рыночной стратегии
промышленного предприятия**

Торская И.В., Барсуков А. А.

Белорусский национальный технический университет

Перед каждым предприятием стоит задача определения правильного направления своего развития. Существует множество методов стратегического анализа, позволяющих осуществить стратегический выбор. Однако необходимо выбрать наиболее подходящий как для текущего состояния рыночной конъюнктуры, так и конкурентного положения самого предприятия. С этой целью предлагается использовать систему FAROUT, предложенную К.Фляйшером и Б.Бенсуссаном, добавив к ней количественную взвешенную оценку значимости в момент принятия решения таких аспектов, как ориентированность не будущее, точность, ресурсная эффективность, объективность и полезность выбираемого для принятия решения метода.

В результате для обоснования рыночной стратегии ОАО «Амкорд» самый высокий рейтинг из предложенных методов получил SWOT-анализ, однако его наиболее слабой стороной является недостаточная точность. Поэтому в результате был выбран разработанный К. Облом SWOT/TOWS-анализ как более точный по сравнению с традиционным SWOT-анализом. Его применение выявило, что такая самая ощутимая сила ОАО «Амкорд», как выгодная цена для покупателя в наибольшей степени может позволить преодолевать потенциальные опасности использовать потенциальные шансы. Такая же ощутимая слабая сторона, как недостаточное обеспечение потребителей продукции запасными частями, в наибольшей степени будет препятствовать использованию шансов окружения, а слабое маркетинговое продвижение продукции в наибольшей степени будет усиливать действие потенциальных опасностей.

По результатам анализа полученных данных выбрана консервативная стратегия (maxi/mini), которая заключается в снижении отрицательного воздействия факторов внешней среды с помощью максимального и интенсивного использования потенциалов организации. Данной стратегии могут соответствовать такие мероприятия, как сегментация рынков, селекция продуктов, снижение затрат и другие. Поэтому далее было проведено уточнение стратегии с помощью матрицы SPACE-анализа и в итоге выбрана консервативная стратегия с элементами развития продукта и развития рынка, что подразумевает поиск новых рынков, совершенствование сбытовой политики предприятия, модификацию существующих продуктов или вывод на рынок новых продуктов.

**Организационно-экономические факторы реализации
инновационного потенциала промышленного предприятия**

Горская И. В., Тацевич М. В.

Белорусский национальный технический университет

В условиях ужесточения конкурентной борьбы и перехода к устойчивому развитию возрастает роль инновационной деятельности промышленных предприятий. Разработка и широкое распространение новых продуктов, услуг, наукоемких технологий становятся ключевыми факторами роста объемов производства, занятости, инвестиций. Однако промышленные предприятия еще не в полной мере используют инновации для повышения конкурентоспособности своей продукции. Среди факторов, препятствующих инновациям, можно выделить низкий инновационный потенциал, обусловленный слабым уровнем развития научно-исследовательской базы предприятий и отсутствием надлежащих условий для освоения новейших научно-технических достижений.

Важным условием активизации и повышения инновационного потенциала промышленных предприятий является их организационно-экономическая устойчивость, максимальное обеспечение которой способствует достижению поставленных целей. Для выявления резервов и путей ее повышения и, как результат, роста инновационного потенциала, необходимо рассматривать предприятие как производственно-сбытовую систему, состоящую из различных подсистем, в том числе внутрипроизводственной, рыночной и подсистемы сервисной поддержки.

Внутрипроизводственная подсистема характеризуется финансово-экономической стабильностью производственно-хозяйственной деятельности. При этом важное влияние на результаты этой деятельности оказывает уровень новизны используемых технологий, уровень загрузки производственных ресурсов, уровень квалификации кадров. Рыночная подсистема обеспечивает управление взаимосвязями с теми субъектами, с которыми предприятие сталкивается в процессе своей деятельности. Поэтому особую роль в ней играет положение предприятия на рынках потребителей, поставщиков и производителей. Подсистема сервисной поддержки определяется степенью обеспечения потребительского спроса (готовность и безотказность поставок, их качество).

Успех предприятия также определяется скоростью его реагирования на постоянные изменения во внешней среде, что предопределяет стремление формировать и развивать свой инновационный потенциал и проявляется в обеспечении гибкости функционирования (сочетании способности и готовности предприятия к обновлению).

Горные машины

О перспективах использования эрлифта для добычи сапропелей

Кислов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Реальным источником органических удобрений в Республике Беларусь являются донные отложения озёр – сапропели. Их запасы оцениваются в 3 млрд. м³; около 1 млрд. м³ сапропеля залегает под торфяниками. Освоение сапропелевых ресурсов сдерживается несовершенством технологий и отсутствием специализированного оборудования. Решение проблем освоения сапропелевых месторождений будет способствовать не только удовлетворению потребностей в удобрениях, но и требованиям экологии.

В разное время в Республике Беларусь были распространены экскаваторно-грейферный и гидромеханизированный способы добычи сапропелей; находят применение шнековый и канатно-скреперный способы разработки залежей. При этом экскавация сапропеля сопровождается его взмучиванием и снижением прозрачности воды, неравномерностью выработки залежи (особенно при грейферном способе), изменением рельефа его поверхности, образованием перепадов водных глубин и застойных зон.

В условиях подводной разработки рациональным представляется использование эрлифтного способа экскавации сапропелей, сущность которого заключается в использовании сжатого воздуха для смешивания его с сапропелем в смесителе и транспортирование воздухожидкостной смеси вверх за счет разности давлений в смесителе и воздухоотделителе. Эрлифт состоит из всаса, смесителя, подъёмной трубы с окном и воздухоотделителя с выходным патрубком. При работе эрлифта воздух компрессором подается в смеситель, где образуется смесь сапропеля, воды и воздуха. Эта смесь поступает в пульпопровод и выдается на поверхность. При проходе через воздухоочиститель газовая фракция отделяется. Высокая надежность эрлифтов состоит в отсутствии вращающихся частей. Эрлифты обеспечивают подъем гидросмеси со значительной глубины – на водоёмах до 120 м при относительном расходе воздуха 20–40 кг на 1000 кг пульпы.

Изготовление эрлифтов можно организовать даже в механических мастерских предприятий. Для обеспечения их работы из покупных изделий требуется компрессор и насос.

В заключение отметим, что эрлифтные экскавирующие устройства высокопроизводительны, надежны в работе, экономически эффективны и щадят окружающую среду.

**Аналитическое описание суммарных характеристик
фракционного состава сильвинитовой руды**

Кислов Н.В., Дубиняк К.П.

Белорусский национальный технический университет

В работе [1] фракционному анализу подвергнута проба породы Второго калийного горизонта Нежинского участка, раздробленная до 10 мм крупности. В результате сделан вывод, что руда этого горизонта может обогащаться с высокими показателями по простым технологическим схемам. Представляет интерес выполнение аналитического описания полученных в [1] данных с целью установления на первом этапе зависимости суммарных выходов P фракций от их размеров d для KCl . Эти зависимости могут служить для оценки выходов любых фракций пробы с размером частиц $d \leq 10$ мм. Для описания графических зависимостей $P = f(d)$ получена формула $P = 100 \cdot 2^{-(d/d_m)^n}$, где n – показатель неоднородности полидисперсной смеси частиц; d_m – медианный размер частиц, соответствующий их суммарному выходу $P_m = 50\%$.

Из формулы следует, что суммарная характеристика по плюсу смеси частиц при построении в координатах $\lg(2 - \lg P) - \lg d$ устойчиво дает прямую линию с угловым коэффициентом n . Численные значения параметров n и d_m могут быть найдены по методу наименьших квадратов, графоаналитическому методу или непосредственно по графикам зависимости $P = f(d)$, построенным в координатах $\lg(2 - \lg P) - \lg d$. В результате обработки данных из [1] для общего суммарного выхода $P_{об} = 100 \cdot 2^{-(d/3,45)^{0,94}}$ и для KCl $P_{KCl} = 100 \cdot 2^{-(d/2,9)^{0,96}}$. Представляется целесообразным сократить количество фракций, суммарные выходы P по плюсу которых берутся в характерных точках, например, в рассмотренном случае для размеров частиц $d \geq 5,0$ мм, 3,15 мм, 0,8 мм и 0,25 мм. Затем, используя один из методов обработки опытных данных, устанавливают аналитическую зависимость $P = f(d)$ и определяют расчетные выходы P для всей группы фракций породы, раздробленной до крупности 10 мм.

Литература:

1. Турко М.Р. Исследование обогатимости сильвинитовой руды Нежинского участка Старобинского месторождения методом фракционного анализа в тяжелых жидкостях / М.Р. Турко, Л.В. Бахмутская, А.М. Журавская // Горная механика и машиностроение. – 2011. – № 2. – С. 43–51.

2. Кислов Н.В. Исчисление характеристик измельчения горных пород и продуктов их переработки / Н.В. Кислов, П.В. Цыбуленко. – Минск: БНТУ, 2012. – 44 с.

УДК 622.7

Использование местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в производстве пористых строительных материалов

Березовский Н.И., Воронова Н.П., Грибкова С.М., Лесун Б.В.
Белорусский национальный технический университет

Использование местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в производстве пористых строительных материалов является весьма перспективным направлением рационального использования твердых горючих ископаемых, в результате чего извлекаются наиболее полно, входящие в них органические и минеральные компоненты; и на этой основе производится несколько видов продукции различного качества и назначения, что равнозначно расширению сырьевой базы промышленности, увеличению ассортимента и улучшению показателей работы предприятий по переработке.

Во многих случаях реальных теплотехнологических процессов не требуется та высокая степень точности, которую дают аналитические либо численные методы моделирования. В таких случаях можно воспользоваться упрощенными, так называемыми, инженерными способами расчетов, позволяющими проектировщику или технологу с достаточной для практических целей степенью точности определить технологически важные параметры процесса.

Работа действующих аглопоритовых предприятий, которые применяют в качестве технологического топлива низкосортные угли, позволяет рекомендовать проведение исследований по разработке технологических параметров производства аглопорита при замене угля на местные виды топлива. Необходимо отметить, что сапропелевые коллоидные отложения содержатся во многих пресноводных водоемах Беларуси и имеют до 93 % органических веществ. Сейчас их добыча носит промышленный характер, и применение сапропелей возможно не только в сельском хозяйстве, но и в производстве легких заполнителей для строительных материалов (аглопорит, пористый кирпич).

Анализ проведенных исследований показывает, что по мере уменьшения крупности топливных частиц, повышается восстановительный потенциал продуктов горения и снижается высота окислительной зоны. Это связано с уменьшением степени использования углерода, а также с увеличением абсолютной температуры в зоне горения, что приводит к снижению температурного уровня процесса. Следует отметить: степень углефикации топлива влияет на возможную скорость спекания шихты, что отражается на скорости горения топлива.

Методика расчета температуры смеси минерального сырья

Чужинов В.А., Воронова Н.П., Грибкова С.М.

Белорусский национальный технический университет

Важным вопросом при производстве строительных материалов является определение температуры исходного материала (t_i) при смешивании различных компонентов (щебня, песка, минерального порошка, битума, воды), имеющих различные температуры; массы (m_i); начальные удельные теплоемкости, зависящие от температуры $C_i^{t_i}$.

Для расчетов воспользуемся уравнением теплового баланса [1]

$$\sum Q_{\text{прих}} = \sum Q_{\text{расх}}, \quad (1)$$

приравнивающий все виды расхода теплоты $Q_{\text{расх}}$ и все виды прихода теплоты $Q_{\text{прих}}$.

Обычно результирующая температура после смешивания (t_n) является технологически заданной. В результате смешивания осуществляется испарение содержащейся влаги и выравнивание температур.

Уравнение (1) в форме энтальпии имеет вид

$$\sum_i m_i C_i^{t_i} t_i = \left(\sum_i m_i C_i^{t_n} \right) t_n + q^{t_n} \sum_i m_{bi}, \quad (2)$$

где q^{t_n} - удельная теплота испарения воды, полученная по аппроксимирующим формулам [2] для температуры t_n , m_{bi} - массы воды в компонентах.

Решая обратную задачу, соответствующую модели (2), находим температуру, до которой нужно нагреть компоненты смеси, чтобы результирующая смесь имела технологически заданную температуру.

Литература:

1. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – 519 с.

2. Воронова, Н.П. Математическое моделирование и управление теплотехнологиями промышленных производств: монография / Н.П. Воронова. – Минск: БНТУ, 2009. – 260 с.

К вопросу развития потенциала минерально-сырьевой базы

Лесун Б.В., Костюкевич И.Г., Береснев В.А., Костюкевич Е.К.
Белорусский национальный технический университет

К нетрадиционному минеральному сырью относят такие концентрации ценных химических элементов природного или антропогенного происхождения, использование которых по промышленно освоенным в стране технологическим схемам неэффективно, или невозможно в принципе, либо находится в начальной стадии и осуществляется в относительно небольших масштабах. Особую группу нетрадиционных видов минерального сырья составляют отходы, образующиеся при добыче и переработке полезных ископаемых, которые в современной интерпретации представляют собой техногенные месторождения. Их следует рассматривать как существенные, но мало вовлеченные в развитие экономики ресурсы, использование которых позволило бы одновременно решать сырьевую и экологическую задачи.

Месторождения и скопления нетрадиционного минерального сырья, как правило, мелкие и разобщённые. Одни виды минерального сырья этой категории выявлены сравнительно недавно, для других не были определены области использования, для третьих отсутствовали технологические схемы добычи, переработки и утилизации отходов.

Для техногенных месторождений характерно расположение в промышленно развитых районах, размещение на поверхности. В Республике Беларусь к такой группе нетрадиционного минерального сырья относятся отходы ОАО "Беларуськалий" и Гомельского химического завода, содержащих ряд ценных компонентов (редкие, редкоземельные и благородные металлы, фосфогипс, низкосортные калийные и каменная соль и тому подобное). Варианты вовлечения в эксплуатацию нетрадиционного сырья возможны при замене части дефицитного традиционного сырья новым нетрадиционным без изменения общего объема производимой на их основе продукции, а также при использовании нетрадиционного сырья в дополнение к традиционному для повышения (или сохранения, поддержания) уровня удовлетворения растущей потребности сфер экономики в производимой из этого сырья продукции.

Литература:

Ларичкин, Ф.Д. Нетрадиционные виды минерального сырья: актуальность, определение и классификация / Ф.Д. Ларичкин, Е.А. Каменев, В.В. Мотлохов // Горн. журн. – 2002. – № 1. – С.16-20.

Направление использования топливосодержащих отходов

Костюкевич И.Г., Березовский Н.И., Костюкевич Е.К.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время перспективным направлением в развитии технологии производства искусственного заполнителя – аглопорита – является применение в качестве отощающей и выгорающей добавки к сырью различных видов топливосодержащих отходов промышленности (топливные шлаки, золы, отходы добычи сланцев, угля).

Работа действующих аглопоритовых предприятий, которые используют как технологическое топливо, низкосортные угли предполагает проведение исследований по разработке технологических параметров производства аглопорита при замене угля и древесных опилок на местные виды топлива (фрезерный торф – топливный, для компостирования, топливные дробленые брикеты, сапрпель и др.).

По данным обследования аглопоритовых предприятий в качестве технологического топлива с малой теплотворной способностью применяется каменный и бурый уголь.

При замене антрацита топливом с содержанием 28-30% летучих процесс агломерации суглинков интенсифицируется, но зона горения растягивается, а поэтому спек в нижней части раскалом. При увеличении содержания летучих в углях более 28-30% процесс агломерации замедляется. Качественная характеристика аглопорита, спекаемого с различными видами технологического топлива, практически не изменяется. При использовании вместо антрацита топлива с большим содержанием летучих часть их не успевает сгореть. Поэтому применять топливо с большим содержанием летучих по общепринятой технологии производства аглопорита с учетом экологических соображений не целесообразно.

Однако применение смеси топлива, состоящей из одной части антрацита и двух частей угля с большим содержанием летучих, за счет повышения температуры горения топлива в слое позволяет добиться большей полноты сгорания летучих.

Анализ теплотехнических характеристик различных видов топливосодержащих отходов промышленности позволяет сделать предположение о целесообразности использования как технологического топлива при производстве аглопорита.

Литература:

Березовский, Н.И. Природные ресурсы и их использование / Н.И. Березовский, Е.К. Костюкевич. – Минск: БНТУ, 2005. – 188 с.

Использование сложнелегированных сталей для повышения надежности основных элементов приводов горных машин

Басалай И.А.

Белорусский национальный технический университет

Эксплуатационные параметры горных машин и оборудования в значительной степени зависят от прочностных свойств элементов приводов исполнительных органов. Прочность материала формируется на основе конструкционных, металлургических, технологических и эксплуатационных факторов. Повышению прочности и долговечности горных машин посвящены исследования ученых Института горного дела им. А.А. Скочинского [1]. Это продиктовано разнообразием условий эксплуатации и режимов работы, как внутренних элементов конструкций (валов, осей, зубчатых колес и т.п.), так и внешних, т.е. взаимодействующих с горной породой (зубков, фрез, роторов). Широкий спектр марок сталей [2] для использования в качестве материала при проектировании разнообразных деталей требует от конструкторов рационального подхода к их выбору для оптимизации конструкций по условиям прочности и металлоемкости. Решение данного вопроса имеет и второй аспект – применение сложнелегированных сталей позволяет существенно повысить эксплуатационные свойства основных деталей горных машин за счет химико-термических методов воздействия на структуру материала [3], а также термодиффузионного насыщения их рабочих поверхностей [4]. В частности, для изготовления основных деталей приводов исполнительных органов горных машин и оборудования рекомендуются следующие марки сталей: валы и оси – 45 и 40Х; высоконагруженные зубчатые колеса – сложнелегированные хромоникелевые стали марок 20Х2Н4А, 18Х2Н4ВА и др., подвергнутые цементации или нитроцементации и последующей закалке с низким отпуском; тяговые цепи – хромомолибденовая сталь 30ХМА, обеспечивающая повышение разрывного напряжения до 800 МПа.

Литература:

1. Докукин, А.В. Повышение прочности и долговечности горных машин / А.В. Докукин, П.В. Семенча, Е.Е. Гольдбухт, Ю.А. Зислин – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
2. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов / Под общ.ред. А.С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
3. Лахтин, Ю.М. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. – М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

4. Ляхович, Л.С. Химико-термическая обработка материалов и сплавов: Справочник – Мн.: Металлургия, 1981. – 424 с.

УДК 629.11.02

Трение материалов по просеивающей поверхности грохотов

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Трение материалов при взаимодействии друг с другом, возникающее в местах их контакта, давно известно науке и учитывается при проектировании машин и механизмов. Необходимо отметить, что пока не существует единой теории, объясняющей природу сил трения и его появление между телами.

Известен закон Амонта-Кулона: сила трения F пропорциональна силе нормального давления N , ($F=fN$), где f - коэффициент трения, не зависящий от площади контакта. Б.В. Дерягиным было открыто, что при трении появляются электростатические силы отталкивания и межмолекулярного притяжения N_0 . Тогда силу трения определяют как $F = fN + fN_0$.

В справочной литературе имеются сведения о коэффициентах трения различных трущихся материалов. Однако очень мало или практически нет таких данных при трении материалов о просеивающие поверхности грохотов, что важно при расчетах барабанных, колосниковых и других грохотов. Целью исследований была оценка влияния на коэффициент трения наличие отверстий и их размеров в просеивающей поверхности грохота. Опыты выполнялись на установке в виде площадки, на которой устанавливалась просеивающая поверхность и помещался на ней образец исследуемого материала. Затем площадка поднималась на угол α до момента трогания образца с места и его движения. Коэффициент трения определяется как $f = \operatorname{tg} \alpha$. Опыты проводились с образцами калийной соли, перемещаемой по латунной просеивающей поверхности с размером отверстий от 10 мм до 0 (гладкая поверхность). Данные экспериментов показали, что с увеличением размера отверстий просеивающей поверхности коэффициент трения также увеличивается. Так для отверстия 10 мм коэффициент составил 0,8, для 5 мм – 0,62, для 2 мм – 0,57, а для гладкой поверхности $f = 0,51$. Обработка экспериментальных данных позволила данную зависимость выразить в виде: $f = f_0 + K \cdot d$, где f_0 - коэффициент трения по гладкой поверхности; d - размер отверстия, мм; K - коэффициент пропорциональности. В нашем случае K можно принять равным 0,03. Результаты данной работы позволяют с большей точностью осуществлять мощностные расчеты грохотов.

К определению мощности молотковых дробилок

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Определение энергетических затрат измельчения материалов в молотковых дробилках является важным фактом в проектных расчетах. Известно, что процесс измельчения материалов в молотковой дробилке происходит в несколько стадий. Основное разрушение за счет удара молотков по измельчаемому материалу, затем ударом осколков о плиты, истирания торцами молотков на решетке и разрушение при взаимном соударении и трении.

Ввиду сложности аналитического расчета этих процессов в технической литературе формулы для определения мощности в молотковых дробилках приводятся полученные на основе экспериментальных данных в обобщенной форме – $N=q \cdot Q$, кВт; $N = K \cdot Q(i-1)$, кВт и др., где q – удельные затраты мощности, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$; Q – производительность, т/ч; K – энергетический показатель, зависящий от физико-механических свойств дробимого материала; i – степень дробления. Погрешность расчетов по приведенным зависимостям достигает 50%.

При дроблении в бесколосниковой дробилке процесс разрушения в основном происходит за счет удара молотков по куску и удара осколков об отбойные плиты дробилки. Известно, что работу необходимую для дробления куска можно определить как $A = 150 \frac{[\sigma]^2 \rho \cdot m_{\text{к}}}{E^3}$ Дж, где $[\sigma]$ – предел прочности куска, н/м²; ρ – плотность куска, кг/м³; $m_{\text{к}}$ – масса куска, кг; E – модуль упругости материала Н/м². Тогда мощность на удар молотка по частице $N_1 = A \cdot n$, Вт, где n – частота вращения ротора, с⁻¹.

Мощность на измельчение от удара о плиты определится $N_2 = [\sigma] \pi n \cdot D_p \cdot S \cdot K_v$, Вт. Здесь D_p – диаметр ротора дробилки по концам молотков, м; S – площадь поперечного сечения осколка, м²; K_v – коэффициент передачи скорости от молотка материалу, зависящий от величины E (принимается от 0,4 до 0,8).

Таким образом мощность бесколосниковой молотковой дробилки можно определить как $N = \frac{N_1 + N_2}{1000 \eta_{\text{пр}}}$, кВт, где $\eta_{\text{пр}}$ – к.п.д. привода дробилки.

Приведенная методика позволяет с большей точностью определять энергозатраты бесколосниковых дробилок при проведении проектных расчетов.

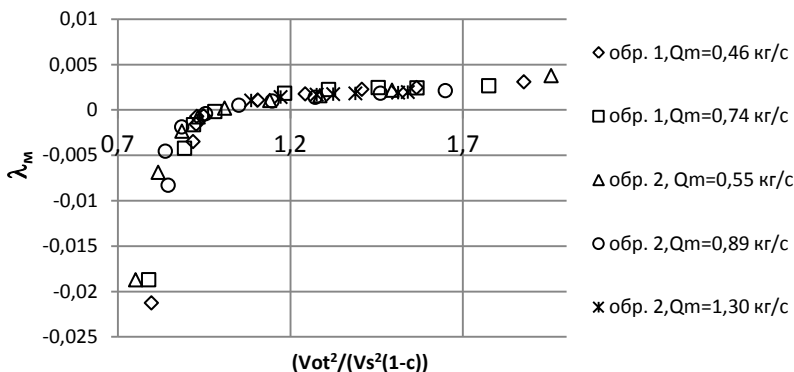
Метод определения минимальной скорости воздуха при вертикальном пневмотранспорте измельченного торфа

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Установлено, что значения коэффициента сопротивления λ_m для образцов с разными размерно-плотностными характеристиками при вертикальном пневмотранспорте с разными массовыми производительностями Q_m в трубопроводах разного диаметра аппроксимируются одной зависимостью вида $\lambda_m = f(\mathcal{G}_{om}^2 / (\mathcal{G}_s^2 (1 - c)))$, где \mathcal{G}_{om} и \mathcal{G}_s – действительные (с учетом стеснения сечения пневмотранспортного трубопровода частицами) относительная скорость и скорость витания, c – истинная объемная концентрация частиц в аэромеси.

На рисунке представлены зависимости для образца 1 (диаметр частиц $d = 0,5$ мм, плотность $\rho = 1045$ кг/м³) в трубопроводе с диаметром $D = 0,08$ м и образца 2 (диаметр частиц $d = 5,5$ мм, плотность $\rho = 935$ кг/м³)



в трубопроводе с $D = 0,053$ м.

Значение минимальной скорости воздуха \mathcal{G} определяется численным методом из соотношения $(\mathcal{G}_{om}^2 / (\mathcal{G}_s^2 (1 - c_{\min}))) = 0$, соответствующего условию $\lambda_m = 0$, где c_{\min} – минимальное значение истинной объемной концентрации, при котором реализуется режим “витания” столба торфяных частиц в пневмотранспортном трубопроводе.

Влияние изменений условий движения фрезформовочного агрегата на управление фрезой и ходовой системой

Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность применения колесных тракторных энергетических средств в составе агрегата для добычи торфяного топлива может быть достигнута при выборе рациональных параметров технологической части и параметров агрегатирования звеньев машинно-тракторного агрегата (МТА).

Для отслеживания изменения эксплуатационных показателей исследуемого МТА при изменении внешних воздействий на него со стороны залежи во время рабочего хода использовалась разработанная автором методика. Методика основана на использовании математической модели исследуемого МТА, которая учитывает различные условия движения, параметры фрезформирующего оборудования, трактора и позволяет определять: загрузку двигателя; буксование и тягу колес движителя; время и ускорения, а также возможность осуществления разгона; скорость движения после окончания разгона; крутящие моменты на валах трансмиссии; динамическую нагруженность фрикционных элементов. Разработанная математическая модель позволяет учесть влияние буксования колес движителя на рабочий процесс фрезы и пресса, производить оценку взаимного влияния параметров агрегата и режимов нагружения рабочих органов на эксплуатационные показатели агрегата, с целью выбора их рациональных значений и разработки системы управления активными рабочими органами для существенного снижения удельных энергозатрат.

В процессе проведения исследований разработаны предложения по выбору главных параметров трактора МТЗ для рационального агрегатирования с зарубежным фрезерирующе-формирующим оборудованием, методика анализа рабочего процесса исследуемого МТА, предложены патентоспособные новые технические решения. Проведенные анализ процессов МТА на разработанной математической модели и натурные испытания фрезерирующе-формирующего МТА с зарубежным и полным отечественным вариантом-аналогом этого же навесного оборудования позволили установить причины плохой работы оборудования с тракторами МТЗ. Упомянутые виртуальные и натурные испытания позволили получить необходимые данные для обоснования закона регулирования скоростно-силовых режимов рабочих органов, двигателя и движителя для поддержания близких к оптимальным по критериям удельных энергоемкости и расхода топлива, при обеспечении проходимости и

заданной производительности МТА в зависимости от состояния залежи по ходу движения МТА.

УДК 631.372

Экспериментальные исследования влияния параметров выступов на внутренней поверхности кожуха винтового пресса на его работу

Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Основой кускового способа добычи торфа является превращение экскавированного торфа-сырца в однородную вязкопластическую массу, необходимую для формования и получения качественного кускового торфяного топлива. Механическая переработка должна создавать условия для получения более прочного продукта, чем исходное сырье. В то же время конечные свойства во многом зависят от физико-механических свойств сырья и могут значительно отличаться для различных типов залежи. Известные методы добычи и переработки торфа не позволяют управлять качеством переработки торфа; поэтому существует проблема поиска средств управления качеством торфа, которое определяется его структурой, а регулируется механической переработкой, т.е. степенью диспергирования торфа, равномерностью перемешивания и уплотнением в процессе формования.

Шнековые пресса благодаря ряду преимуществ нашли широкое применение в качестве перерабатывающих и прессующих механизмов во многих технологических процессах, когда требуется непрерывная подача пластичных материалов под давлением. В том числе они используются в качестве перерабатывающе-нагнетающего органа в фрезформовочных агрегатах для добычи кускового торфа. Для повышения эффективности и предотвращения вращения материала со шнеком используют различные конструктивные элементы, к которым можно отнести рифленую внутреннюю поверхность корпуса пресса, неподвижно закрепленные контрножи, различные очищающие скребки и т.д. Однако влияние геометрических параметров данных конструктивных элементов устанавливается только экспериментальным путем; поэтому представляет научный и практический интерес получение зависимостей влияния данных параметров на эффективность работы пресса. Проводится работа по созданию лабораторной установки, позволяющей установить зависимости между геометрическими размерами выступов на внутренней поверхности кожуха шнека, физико-механическими свойствами прессуемого материала и нормальным давлением, которое может быть достигнуто в прессе. Данные зависимости позволяют решать задачи оптимизации

конструктивных параметров шнековых прессов для работы с материалами различных физико-механических свойств, что позволит повысить эффективность применения таких устройств для получения кускового коммунально-бытового топлива с заданными потребительскими свойствами на торфяных залежах различных типов.

УДК 621.867.8

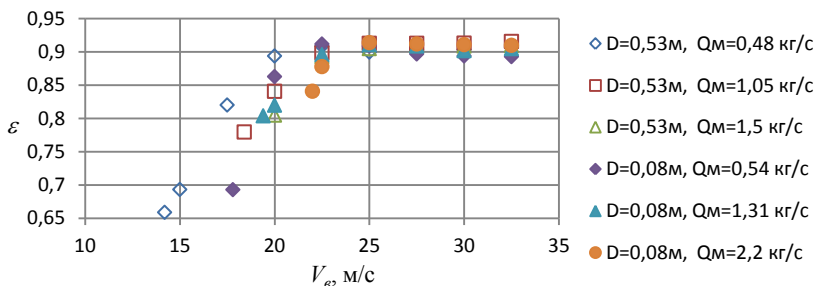
Относительное скольжение воздушной и твердой фаз при горизонтальном пневмотранспорте измельченного торфа

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Значения коэффициента относительного скольжения $\varepsilon = \vartheta_m / \vartheta_g$, где ϑ_m и ϑ_g – действительные скорости частиц материала и воздуха, определялись обработкой экспериментальных зависимостей перепада давления на участке пневмотранспортного трубопровода с вполне установившимся течением аэромеси от приведенной скорости воздуха V_g при известной производительности по материалу Q_m по методике, изложенной в [1].

Характерный вид зависимостей $\varepsilon = f(V_g)$ для образца со средним



диаметром частиц $d = 0,5$ мм и плотностью $\rho = 1045$ кг/м³ при пневмотранспорте в горизонтальных трубопроводах диаметрами $D = 0,053$ м и $D = 0,08$ м представлен на рисунке.

Пологие участки кривых $\varepsilon = f(V_g)$ соответствуют устойчивому взвешенному транспортированию торфяных частиц.

Литература:

1. Петренко, С.М. Методика определения действительных режимных параметров пневмотранспорта фрезерного торфа/ С.М.Петренко // Проблемы технологии и механизации разработки месторождений полезных ископаемых: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20-23 февраля 2009 г., Часть 1. –Минск, 2009. – С.106 – 109.

**Рациональное распределение тяговых сил
в колесном движителе самоходной машины**

Таяновский Г.А., Басалай Г.А., Загоровский Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Выбор схемы и параметров движителя колесного шасси предопределяет энергетическую эффективность создаваемой самоходной машины, которая зависит от закона распределения касательных сил между ведущими колесами движителя. Авторами принят принцип равенства буксований колес движителя и приведен алгоритм определения действительных буксований колес с гидромеханическим приводом в случае работы машины по схеме полного дифференцирования, при которых КПД ходовой системы η_{xs} наибольший. Полезная мощность, например, уборочного комбайна N_{pol} , связанная с преодолением сил сопротивления подачи рабочего аппарата P_{ARO} и сил сопротивления качению колес при перемещении переменного груза в бункере, определяется выражением

$$N_{pol} = (P_{ARO} + g \cdot \sum m_{GRi} \cdot f_i) \cdot V_d, \quad (1)$$

где $g \cdot m_{GRi}$ – часть веса груза в бункере комбайна, приходящаяся на i -е колесо движителя; g – ускорение свободного падения; f_i – коэффициент сопротивления качению. Тогда

$$\eta_{xs} = \frac{N_{pol}}{N_{DV}} = \frac{(P_{ARO} + g \cdot \sum_{i=1}^4 m_{GRi} \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^4 \left[\frac{R_i \cdot \varphi_i}{(1 - \delta_i)} \cdot (1 - e^{-k_i \cdot \delta_i}) \right]}, \quad (2)$$

где N_{DV} – текущая мощность двигателя.

Для поиска оптимальных значений тяги колес уборочного комбайна можно использовать обобщенный метод множителей Лагранжа – метод нахождения условного экстремума функции $F(\delta_1, \delta_2, \delta_i, \dots, \delta_n)$ относительно m ограничений $Q_i(x) = b_i$, где i меняется от единицы до n – числа

ведущих колес. Задача условной оптимизации имеет вид: $Z = F(\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \delta_n)$.

$$\delta_n) = = \frac{(P_{ARO} + g \cdot \sum_{i=1}^n m_{GRi} \cdot f_i)}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{R_i \cdot \varphi_i}{(1 - \delta_i)} \cdot (1 - e^{-k_i \cdot \delta_i}) \right]} \quad \max, \quad i = 1, n ; \quad Q(\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \delta_n) = b.$$

Для ее решения используется метод множителей Лагранжа λ_i .

Выписывается функция Лагранжа $L(\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \delta_n, \lambda) = F(\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \delta_n) + \lambda (b - Q(\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \delta_n))$ и решается система уравнений, определяющая стационарные точки этой функции,

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F(\delta_1, \dots, \delta_n)}{\partial \delta_i} - \lambda \cdot \frac{\partial Q(\delta_1, \dots, \delta_n)}{\partial \delta_i} = 0, \quad i = 1, n, \\ b - Q(\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \dots, \delta_n) = 0. \end{array} \right. \quad (3)$$

Применительно к нашей задаче можно записать следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n [R_i \cdot \varphi_i \cdot (1 - e^{-k_i \cdot \delta_i})] = (P_{ARO} + \sum R_i \cdot f_i), \\ \frac{1}{1 - \delta_i} - \frac{1 - e^{k_i \cdot \delta_i}}{k_i (1 - \delta_i)^2} = -\lambda_i, \quad i = 1, \dots, n, \end{array} \right. \quad (4)$$

где λ_i - множитель Лагранжа. Решение этой системы и даст рациональные значения $\delta_1, \delta_2, \delta_{i..}, \delta_n$. Решение данной системы уравнений производится численным методом.

УДК 622.112

Потенциал эффективности ведущего колеса

Таяновский Г.А., Басалай Г.А., Магусович Э.В.

Белорусский национальный технический университет

При создании ходовой системы полноприводной машины следует учитывать, что максимальные значения КПД как с заблокированными

механическими межосевыми связями, так и при гидромеханическом приводе по схеме полного дифференцирования, достигаются при сведении к минимуму кинематического рассогласования между ведущими колесами. Авторами получены зависимости потенциала эффективности ведущего колеса, оборудованного шиной (рисунок) от определяющих параметров:

$$\eta_{ki}(f, \delta) = \left[1 - \frac{f c_i}{\varphi c_i \cdot (1 - e^{-k_i \delta_i})} \right] \cdot (1 - \delta_i) = \eta_{pi} \cdot \eta_{\delta i}, \quad (1)$$

где φc_i , $f c_i$ - коэффициент сцепления и условный коэффициент сопротивления качению i -го ведущего колеса с опорной поверхностью; k_i - параметр аппроксимации зависимости $P_{k_i} = F(\delta_i)$ выражением

$$P_{k_i} = R_i \cdot \varphi_i \cdot (1 - e^{-k_i \delta_i}). \quad (2)$$

На рисунке показаны графические зависимости влияния коэффициента сопротивления качению колеса и буксования на потенциал эффективности колеса.

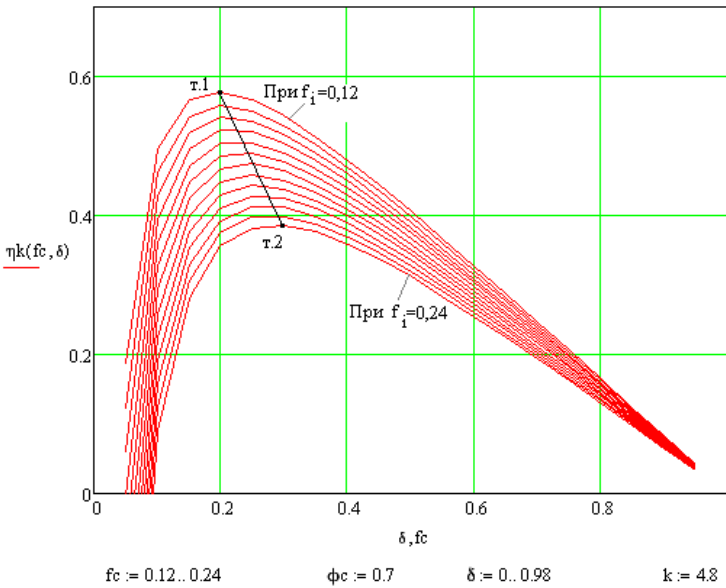


Рисунок. Зависимости $\eta_{ki}(f, \delta)$

Как видно из рисунка потенциал эффективности колеса имеет максимум при некотором значении буксования, который уменьшается и сдвигается с ухудшением дорожных условий в сторону больших буксований.

УДК 622.233

Особенности горизонтального шнекового бурения

Казаченко Г.В., Ярмолинский В.К.

Белорусский национальный технический университет

Шнековое бурение – один из наиболее массово применяемых видов бурения. Основные преимущества такого вида бурения – сравнительная простота конструкции рабочего инструмента и возможность его монтажа на самых различных средствах перемещения. Следствием этого преимущества является главный недостаток – небольшая глубина пробуриваемых скважин. Тем не менее, шнековое бурение используется при всех технологиях разведки и добычи полезных ископаемых.

При подземных разработках пластовых месторождений очень часто используются буровые установки с горизонтальным или мало отклоненным от горизонтали направлением шнекового бура. В таких ситуациях рабочий процесс шнекового бурения имеет ряд особенностей.

Заметим что, как и при любом виде шнекового бурения, с точки зрения механики шнековый буровой став представляет собой механическую систему переменной массы. В этом случае реализация процесса с постоянными значениями основных его параметров не является оптимальной. Критерием оптимальности процесса также могут быть различными и даже противоречивыми между собой. В зависимости от их выбора меняются и параметры, от которых зависят значения критериев. Процесс бурения и все его характеристики определяются целым рядом величин. Однако их исчисление чаще всего базируется на таких характеристиках процесса, как скорости подачи и вращения бура. Естественно, что на процесс бурения влияют также физико-механические свойства породы и конструктивные параметры буровых установок. Это сказывается на величине нагрузок, действующих на элементы бурового става и его привода. Чтобы сформировать критерии оптимизации необходимо, прежде всего, вычислить кинематические, энергетические и материальные характеристики процесса. Вычисление этих характеристик основывается на законах сохранения и некоторых теоремах механики.

Теплоотводы для охлаждения мощных силовых полупроводниковых приборов в тиристорных преобразовательных агрегатах электроприводов горных машин

Нагорский А.В., Мазюк В.В.*

Белорусский национальный технический университет,

* Институт порошковой металлургии НАН Беларуси

В различных отраслях горной промышленности в настоящее время широко применяются карьерные экскаваторы, буровые установки, очистные комбайны, машины шахтного подъема и другие горные машины с системами управления электроприводом исполнительных механизмов по схеме ТП-Д (тиристорный преобразователь-двигатель постоянного тока). Прогресс в области силовой преобразовательной техники, связанный с ростом единичной мощности силовых полупроводниковых приборов (СПП), еще несколько десятилетий назад наметил общую тенденцию замены машинных электропреобразовательных агрегатов в приводах горных машин на статические тиристорные.

Применительно к главным приводам карьерных ходовых экскаваторов, такая замена позволяет на 5-7% повысить производительность экскаватора, снизить на 20-25 % потребление электроэнергии и на 10-15 % эксплуатационные расходы. Быстродействие статических электропреобразовательных устройств позволяет также снизить динамические нагрузки на основные исполнительные механизмы и, как следствие этого, увеличить межремонтный срок эксплуатации горных машин.

Ключевой задачей обеспечения надежного функционирования электропреобразовательного устройства в регулируемом электроприводе горной машины является разработка эффективной системы охлаждения мощных СПП, так как максимально допустимая температура полупроводниковой структуры прибора является основным параметром, определяющим его работоспособность. Токовая нагрузка на единичный СПП по условиям эксплуатации может достигать 800-1200 А, что соответствует мощности тепловыделения в его полупроводниковой структуре более 1 кВт (до 100 Вт / см²).

В данной работе проведен анализ перспективных систем охлаждения мощных СПП в электропреобразовательных агрегатах приводов горных машин и показано, что наиболее привлекательной из них является система принудительного воздушного охлаждения с теплоотводами на основе тепловых труб. Достоинством системы является надежность, низкие термическое сопротивление и массо-габаритные характеристики.

Совершенствование гидроприводов ударно-вибрационных машин для горной промышленности

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Появление новых технологических методов разработки горных пород, таких как горизонтально-направленное бурение, требует интенсивного совершенствования конструкций машин на основе экономичных и экологических принципов с повышенным уровнем автоматизации и производительности. Интенсивное развитие гидропривода в качестве интеллектуальной приводной технологии в настоящее время все более ярко проявляется в области горных машин, создавая базу стремительному росту объемов горнодобывающей отрасли в Беларуси. Режимы кавитации и гидроударов в системе объемных гидроприводов горных машин с рабочим оборудованием ударно-вибрационного действия являются также следствием возникновения автоколебательных движений запорных элементов гидрораспределителей (золотниковых, крановых и клапанных) в период рабочего цикла. Передаваемые гидрораспределителями противоположные по величине и направлению импульсы давления в область рабочих полостей гидродвигателей, приводят к повышенной вибрации и шуму при работе устройства, вызывает его интенсивный износ, снижают производительность и мощность. Значительный экономический эффект от внедрения в производство гидроприводов ударно-вибрационного действия на базе роторных гидрораспределителей обеспечивается исключением режимов автоколебаний запорных элементов гидроаппаратов и выходных звеньев гидродвигателей, уменьшением вероятности возникновения гидроударов и кавитации. Сравнительный анализ предлагаемых в работе схмотехнических решений позволяет оценить значительное число факторов, влияющих на процессы создания и внедрения в производство новых технических решений в конструкциях ударно-вибрационного действия, расположенных в соответствующих аспектах: экономические, экологические, производственно-технологические и эксплуатационные. Однонаправленное непрерывное вращение ротора гидрораспределителя во время рабочего и холостого хода бойка ударно-вибрационного устройства позволяет значительно повысить быстродействие машины вследствие исключения режимов остановок и автоколебаний запорного элемента гидроаппарата, что гарантирует, в свою очередь, повышение мощности и производительности при высоких показателях коэффициента полезного действия, значительную экологическую защиту и эргономический эффект при управлении машиной.

УДК 622.6.2

Конструктивные особенности ленточных конвейеров

Прушак В.Я., Миранович О.Л.

Солигорский Институт проблем ресурсосбережения
с Опытным производством

Опыт эксплуатации и испытаний ленточных конвейеров ОАО «ПО «Беларуськалий» свидетельствует об их недостаточной агрегатной прочности.

Конструкции таких элементов ленточных конвейеров как роликовые опоры, ролики, барабаны определяются также условиями работы конвейера и особенно зависят от физических свойств и гранулометрического состава транспортируемого груза. Однако проблему обеспечения долговечности этих элементов конвейеров при транспортировании крупнокусовых грузов нельзя считать полностью решенной, поскольку на практике часто имеет место их преждевременный выход из строя. Низкую долговечность роликов можно объяснить использованием роликовых опор, непригодных для этих случаев, а также недостаточным анализом и учетом факторов, действующих на опору, что приводит к выбору роликов со сроком службы, не соответствующим условиям работы конвейера.

Для перемещения крупнокусовых грузов создаются специальные конструкции конвейеров, лент, роликоопор и роликов, но в то же время на практике для тех же целей используются и обычные типы ленточных конвейеров. На шахтах Старобинского месторождения самым распространенным средством транспортирования являются ленточные магистральные конвейеры с жесткой трехроликовой опорой для рабочей ветви и однороликовой или двухроликовой – для холостой ветви.

Из всего вышесказанного следует, что для повышения надежности ленточных конвейеров необходимо решить ряд технически сложных задач.

УДК 622.6.2

Нагрузочные характеристики элементов барабана ленточного конвейера

Миранович О.Л.

Солигорский Институт проблем ресурсосбережения
с Опытным производством

Нагрузки, действующие на приводные и не приводные барабаны ленточных конвейеров, рассматриваются как радиальные и касательные.

Изгиб вала приводного барабана при угле обхвата ленты $2\beta_0 = \pi$ вызван силами

$$P = \frac{1}{2} S_{CB} (e^{2\mu\beta_0} + 1) \sin \beta_0; \quad (1)$$

$$P' = \frac{1}{2} S_{CB} (e^{2\mu\beta_0} - 1) \cos \beta_0, \quad (2)$$

действующими соответственно в плоскостях $\beta = 0$ и $\beta = \pi/2$ в местах посадки лобовин. В указанных сечениях со стороны лобовин на вал передаются моменты, которые определяются из условия равновесия диска:

$$\text{в плоскости} \quad \beta = 0; \quad M = \frac{4\pi D_D}{R} A, \quad (3)$$

$$\text{в плоскости} \quad \beta = \pi/2; \quad M = \frac{4\pi D_D}{R} A', \quad (4)$$

Таким образом, касательные и радиальные нагрузки, действующие на обечайку барабана, зависят от изгиба вала, углов поворота подступичной части вала, радиальной нагрузки, действующей на подшипник и других факторов.

УДК 620.9+66.099+666.9

Энергетические свойства льнокостры применительно к процессу обжига цементного клинкера

Хотько Д.О., Стош Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Льянная костра – это древесная часть стеблей (тресты) льна, образующаяся как отходы производства при механической обработке сырья. В процессе обработки лубяных культур образование костры составляет от тресты – 60–70%. В настоящее время около 60–65% льнокостры сжигается в котельных льнозаводов, а значительная её часть остаётся неиспользованной (до 30-32 тыс. т), скапливается на территориях предприятий и является источником пожароопасности и экологического загрязнения.

Поиск путей использования костры льна для дополнительного получения энергии приобретает всё большее значение в связи с удорожанием газа и нефти. Следует отметить, что при сжигании костры массой в 1 кг выделяется 3500–3800 ккал, что позволяет получать около 3кВт·ч электроэнергии. Костра характеризуется большим выходом

летучих веществ. Ее пониженная влажность (до 14–17%) повышает теплоту её сгорания до 14–16,5 МДж/кг. По своему химическому составу она близка к дровам, а теплотворной способности – к торфу. Для более эффективного использования костры следует получать из неё брикеты, что позволит сделать её транспортируемой и повысить теплотворность при сжигании.

В Республике Беларусь производством цемента занимаются ОАО «Белорусский цементный завод», ОАО «Красносельскстройматериалы», ОАО «Кричевцементошифер» общей мощностью 10 млн. тонн в год. Данный сектор характеризуется большим потреблением энергетических ресурсов, затратами на производство и высоким уровнем материалоемкости. Высоким остается удельный вес использованного импортного сырья, материалов, покупных изделий, топлива в затратах на производство продукции.

Портландцементная смесь требуемого состава приготавливается на основе карбонатных и глинистых пород, с добавлением корректирующих добавок (пиритные огарки с серноокислотных заводов, колошниковая пыль доменных печей, кварцевые пески, опоки, трепел, бокситы и др.), активных минеральных добавок (природные или искусственные минеральные вещества) и техногенных продуктов других отраслей промышленности (доменные и электротермофосфорные шлаки, топливные шлаки и золы, нефелиновый (белитовый) шлам, гипсосодержащие отходы).

Производство цемента включает две ступени: получение клинкера, доведение клинкера до порошкообразного состояния с внесением добавок. Первый этап самый дорогостоящий, на него приходится 70% себестоимости цемента. Он включает в себя добычу сырьевых материалов, процессы подсушки известняка, помола и смешивания его с другими компонентами. Далее сырьевая смесь подвергается обжигу. В результате получают клинкер.

Основными технологическими видами топлива, используемого при обжиге цементного клинкера, являются каменные угли и природный газ. К альтернативным видам топлива относятся: торфобрикет, отработанные автомобильные покрышки, нефтекокс; в перспективе – твердые бытовые отходы (ТБО), сухие осадки сточных вод, высокосернистые и местные бурые угли. При обжиге цементного клинкера зольность не является препятствием, поскольку при расчете цементно-сырьевой смеси зола учитывается как дополнительный компонент.

Таким образом, применение, в том числе, и льнокостры при обжиге цементного клинкера целесообразно и эффективно.

Работа выполнена под руководством к.т.н, доц. Басалай И.А.

К вопросу надежности механизированных крепей

Тарасов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

В машиностроительном производстве одной из главных проблем, решаемой при изготовлении деталей машин различного назначения, является обеспечение высокого и стабильного качества их поверхностей.

Требования к производству механизированных крепей, как нового технического уровня, так и ремонта используемого старого выпуска горношахтного оборудования, используемого в тяжелых условиях работы, постоянно растут.

Причиной является необходимость снижения затрат времени и средств на ремонт и изготовление непригодных для работы узлов оборудования, повышения надежности и долговечности механизированных крепей и, тем самым, снижение себестоимости добываемых калийных руд.

Одним из ответственных элементов секций механизированных крепей являются гидравлические стойки и домкраты, которые представляют собой раздвижные ступенчатые системы.

Проблема надежности в значительной мере решается нанесением на поверхностный слой детали материала, который позволит выдержать большие механические нагрузки, коррозию деталей и облегчить другие тяжелые условия работы. Применение ионно-плазменных, гальванических покрытий совместно с методами химической, термической, механической обработки в различном их сочетании радикально решить проблему не может. Поэтому в основу разработки нового класса материалов был заложен принцип, заключающийся в том, что работа разнородных материалов дает эффект, эквивалентный созданию материала, свойства которого отличаются от свойств каждого из его составляющих. Одним из видов этого класса материалов являются композиционные электрохимические покрытия (КЭП).

КЭП представляет собой металлическую матрицу с вкраплением мелкодисперсных частиц твердой фазы неорганического или органического происхождения. КЭП совмещает в себе свойства металлов и неметаллов, характеризуется повышенной износостойкостью, жаростойкостью, микротвердостью, более высокой коррозионной стойкостью. Образцы КЭП на основе цинка с триоксидом молибдена после их формирования на катоде в стандартном цинковом электролите–суспензии, подвергались испытанию на износостойкость и стоимость в коррозионной среде, что показало их перспективность применения в рассматриваемом случае.

Применение диагностики при ремонтных работах

Тарасов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Снижение стоимости обслуживания оборудования и повышение качества ремонта станков, на первый взгляд, являются взаимоисключающимися задачами. Однако применение современных средств диагностирования позволяет успешно решить эту проблему.

Вибродиагностический метод позволяет продиагностировать до 23 параметров станка без их разборки. Определяются дефекты каждого патрон подшипника, в том числе износ наружного или внутреннего кольца, перекос наружного кольца, износ шариков или роликов, биение или перекос валов и шпинделей, износ каждой шестерни и т.д. Перед испытаниями определяются параметры подшипников, шестерен, шариковых пар, устанавливается частотный диапазон работы узлов и деталей станка, выбираются опорные точки для установки акселерометра. При выполнении работы используются всего один акселерометр, поочередно устанавливаемый в выбранные точки. Затем выполняются измерения и расшифровка данных.

Рассмотренная методика применяется при проверке учебных занятий на кафедре «Горные машины». Выполнялось диагностирование токарно-винторезного станка модели 1М62 с использованием «Вибротестера» - портативного многофункционального виброизмерительного прибора. Он предназначен для измерения среднеквадратичного значения (СКЗ) вибрации в единицах виброскорости на промышленном оборудовании и механизмах с вращательным движением. По функциональному назначению соответствует ГОСТ 25275-82. Отображение режимов работы и результатов измерения производится на четырехразмерном цифровом табло.

Следует учесть, что разборка работоспособных узлов, с целью осмотра состояния деталей, приводит к тому, что появляются зазоры на беговых дорожках исправных подшипников из-за перекосов при демонтаже или из-за ударов при повторной сборке узлов.

Выполненная работа наглядно показала, что вместо полной разборки станка, требуется лишь частичный разбор тех узлов, где имеются дефектные детали и устранение конкретных неисправностей, то есть, реально необходимый объем работы составляет 20-50% по сравнению с традиционным методом ремонта.

Строительные и дорожные машины

О разработке и реализации инновационного проекта по производству топлива из биоотходов

Вавилов А.В., Переславцев Э.Б., Басько И.О.,
Черняк М.Н., Чиркун Д.А., Давидович А.А.
Белорусский национальный технический университет

Нами проведена работа по созданию и реализации научно-технологическим парком БНТУ «Политехник» инновационного проекта «Разработка и создание высокотехнологичного производства по переработке растительных отходов в экологически чистое и высококалорийное топливо». Проект был доложен и высоко оценен на научно-практической конференции «Прорывные технологии и инновации в экономике Беларуси и Казахстана» (Минск, 6 декабря 2013 г.).

Рассматриваемый инновационный проект является актуальным, поскольку направлен на производство нужной продукции из неиспользуемых лесосечных отходов, образуемых в больших объемах во всех отраслях строительного комплекса Беларуси.

Реализация проекта позволит отработать эффективную технологию заготовки щепы из лесосечных отходов, внедрить прогрессивную технику и при этом значительно снизить себестоимость производства высококалорийного топлива, а утилизация ранее неиспользуемых отходов позволит значительно улучшить экологическую обстановку.

Проект является инновационным, поскольку впервые предложено использовать в энергетических целях неликвидную щепу, превратив ее в мельчайшие частицы, которые затем успешно подвергаются прессованию без связующего, тем самым гарантируя экологичность получаемого высококалорийного топлива. В проекте также предусматривается использование эффективной 3-х ходовой сушилки вместо сушилки барабанного типа, которая в эксплуатации оказалась пожароопасной при производстве пеллет.

Ниже приводим преимущества получаемых топливных брикетов в сравнении с другими видами твердого топлива.

1. Теплотворная способность брикетов 4,5-5,0 кВт·ч/кг, т.е. выше, чем у дров, и сопоставима с пеллетами и отдельными видами углей.
2. В отличие от дров, брикеты не нуждаются в предварительной сушке.
3. Топливные брикеты горят с минимальным количеством дыма, не «стреляют» и не искрят.
4. Длительная продолжительность горения брикетов: по сравнению с обычными дровами закладку в печь можно производить в несколько раз реже.

О механизации сбора твердых бытовых отходов для их последующего использования в энергетике

Вавилов А.В., Круподеров В.В., Венковский В.А.,
Каратай А.А., Жердецкий А.Д.

Белорусский национальный технический университет

В связи с разработкой газогенераторных технологий, позволяющих получать из твердых бытовых отходов (ТБО) газ с жаропроизводительностью, близкой к природному газу, возникла необходимость разработать эффективную механизированную технологию сбора ТБО и их доставки к энергетическим установкам. Предлагается рассмотреть возможность внедрения в систему управления сбором и транспортировкой ТБО схемы их вывоза посредством использования автомобилей с крюковым захватом (аналог системы «мультилифт») и контейнеров объемом 9-12 м³ и 30-35 м³, учитывая экономическую эффективность данной схемы для рассредоточенных объектов: населенных пунктов сельской местности, садово-парковых товариществ, гаражных кооперативов, а также для зон массового отдыха. Целесообразно совершенствовать выполнение работ по выгрузке контейнеров, предназначенных для раздельного сбора мусора, посредством оснащения шасси мусоровозов крано-манипуляторной установкой, автоматизирующей операции по выгрузке контейнера через нижнюю часть его корпуса. Не менее эффективно внедрение системы подземного сбора твердых бытовых отходов посредством создания контейнерных площадок с установкой контейнеров заглубленного типа и обслуживание их мусоровозами, оснащенными крано-манипуляторными установками и ранее указанной системой крюкового захвата, экономическая эффективность которых достигается за счет большой емкости используемых контейнеров, что позволяет сократить количество рейсов мусоровоза, обслуживающего данные контейнера, и, следовательно, сократить транспортные расходы. Конструкция контейнеров заглубленного типа позволяет достичь экономии пространства жилых дворов в пользу увеличения площадей участков озеленения, игровых площадок, мест для парковки автомобилей. Предложенные схемы сбора и транспортировки ТБО направлены на снижение себестоимости их сбора и транспортировки к энергоисточникам для последующего получения технологического топлива, идущего на производство, например, строительных материалов или на отопление объемных сооружений в виде жилых домов, промышленных цехов и т.д. Таким образом можно значительно снизить потребление импортируемого топлива в виде

природного газа.

УДК 621.867.9

Сменное приспособление к триммеру для удаления льда на тротуарах и пешеходных дорожках коттеджных участков

Бусел А.В., Гарост М.М., Свистун Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В зимнее время года наблюдается рост травматизма вследствие возникновения на пешеходных дорожках и тротуарах льда. Для очистки снега и наледи тротуаров и дорог используется снегоуборочная техника. Её общий недостаток – простои в летний период.

В результате проведенных патентных и экспериментальных исследований предложено для удаления снежно-ледяных образований с поверхности тротуаров и дорог сменное приспособление к триммеру, который летом используется для кошения трав.

Задачей, решаемой предлагаемым приспособлением, является обеспечение полного удаления снежно-ледяных образований с поверхности дорожек, тротуаров без ее повреждения.

Поставленная задача решается тем, что к триммеру крепится новый закрытый кожухом рабочий элемент, который выполнен в виде двух роторов с вертикальной осью вращения, содержащих обойму, в которой закреплены пучки упругой проволоки параллельно оси вращения ротора.

Инструмент работает следующим образом: привод передает вращение на первый ротор, закрепленный на выходном валу триммера. Первый ротор, вращаясь, передает вращение через цилиндрическую зубчатую передачу (образованную цилиндрическими зубчатыми колесами, закрепленными на роторах) на второй ротор. Концы упругой проволоки приводятся в соприкосновение со снежно-ледяными образованиями на очищаемой поверхности, при этом происходит фрезерование снега и льда. Создаваемый в результате вращения ротора воздушный вихрь выносит снежно-ледяную пыль из зоны фрезерования за пределы очищаемой поверхности. Поступательное движение инструмента, выполняемое рабочим, обеспечивает полную очистку поверхности без ее повреждения.

Сменное приспособление крепится к редуктору триммера, не требуя внесения изменений в его конструкцию.

С целью проверки работоспособности разработанного технического решения был изготовлен и испытан экспериментальный образец сменного приспособления к триммеру. Проведенные испытания показали эффективность предложенного технического решения.

Гарост М.М., Передня Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Техническое состояние грузоподъемных кранов (ГПК) характеризуется техническим состоянием несущих металлоконструкций, составляющих 60...80 % от общей массы машины, и определяется их фактическим напряженно-деформированным состоянием (НДС) с учетом конструктивных и технологических концентраторов напряжений, структурной неоднородности сварных соединений и остаточных напряжений, усталостных дефектов и коррозионных повреждений, зон пластической деформации, а также структурных изменений металла вследствие старения, деформационного и термического воздействий. Стоимость металла — до 65% стоимости изготовленной конструкции. В настоящее время в республике для изготовления сварных конструкций ГПК используются малоуглеродистые (сталь 20, сталь Ст3 и др., предел текучести ≤ 250 МПа) и низколегированные стали (09Г2С, 10Г2С1, 15ХСНД, 10ХСНД и др., предел текучести - 300...400 МПа).

Повысить конкурентоспособность в условиях современного рынка и снизить металлоемкость отечественных ГПК можно в результате применения высокопрочных сталей и технологий изготовления сварных конструкций. В ГПК промышленно развитых стран широко применяются (в последнее время в том числе и в России) конструкционные стали высокой прочности (Weldox 900, Weldox 960E, Weldox 1100, Domex 690XP и др., предел текучести у этих сталей – 890...1100 МПа). Эти стали пластичны, хорошо поддаются сварке, имеют высокие пределы прочности и текучести, что позволяют существенно повысить грузоподъемность кранов без увеличения собственной массы и, следовательно, транспортные нагрузки на оси самоходных кранов, которые, как известно, нормируются. Следует отметить, что эти стали более чувствительны к концентрации напряжений, чем стали обычной прочности. Высокопрочные стали целесообразно использовать для изготовления стрел самоходных кранов, поскольку они работают практически только на статические нагрузки. В настоящее время мировые производители ГПК оказались от стрел коробчатого сечения и перешли на выпуск стрел из гнутого профиля, изготавливаемые из высокопрочной стали.

Однако импортные стали диктуют дополнительные правила проектирования металлоконструкций и выполнения сварки. Технологические требования касаются выполнения заготовительных, сварочных работ и обработки сварных швов.

**К определению долговечности ходовых колес
механизмов передвижения мостовых кранов**

Передня Л.И., Шавель А.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение надежности грузоподъемных машин (ГПМ) на современном уровне их развития имеет огромное народнохозяйственное значение. Четко налаженное производство любой отрасли в значительной степени определяется работоспособностью ГПМ в процессе их эксплуатации. Повышение качества и надежности ГПМ, таким образом, является одной из самых актуальных задач машиностроения.

Ходовые колеса рельсовых кранов являясь ответственным элементом механизмов передвижения относятся к быстроизнашивающимся деталям. Одной из характеристик условий эксплуатации, оказывающих существенное влияние на работоспособность ГПМ, являются действующие на ходовые колеса нагрузки: весовые и технологические, инерционные и динамические. Другими причинами, влияющими на работоспособность ГПМ, являются податливость металлоконструкций главных и концевых балок, неравенство коэффициентов жесткости механических характеристик двигателей двух сторон крана, которая может возникнуть при перемотке обмоток двигателей или их замене, случайная пробуксовка приводных колес при пуске и торможении крана, прогиб главных балок моста, уменьшенный зазор между ребордами колес и головками рельсов и др. Беговые дорожки и реборды крановых колес подвергаются абразивному и усталостному изнашиванию и поэтому расчет их ведут на контактную прочность и на долговечность. Методика расчета крановых колес регламентирована ОСТ 24.090.44-82 «Колеса крановые. Выбор и расчет». В реальных условиях эксплуатации кранов, если ходовые колеса изготовлены в соответствии с требованиями ГОСТ 28648-90 по части материала и требуемой термообработки (НВ 280-320) и если кран работает с нагрузками не превышающими номинальную грузоподъемность то контактная прочность ходовых колес обеспечивается.

При проверочном расчете долговечности ходовых колес кроме вышеуказанного необходимо рассчитывать полное и приведенное число их оборотов, а для этого необходимо, кроме числа циклов работы крана за определенный срок, знать и величину пробега крана за цикл его работы.

Необходимо также учитывать точность установки колеса – угол перекоса его в горизонтальной плоскости, который не должен превышать две минуты. При превышении значения этого угла, колесо преждевременно выходит из строя по причине износа реборд.

Особенности сервисной схемы технического обслуживания и ремонта дорожно-строительной техники

Янцов Н.Д.

Белорусский национальный технический университет

В условиях рыночных отношений в дорожно-строительной отрасли особую значимость приобретает грамотная техническая эксплуатация используемых машин и оборудования. В первую очередь, это касается энергетических средств, производимых ПО «МТЗ» и ОАО «Амкорд». На сегодняшний день в области дорожного машиностроения не созданы технические средства, которые могли бы работать весь ресурсный срок службы без определенных технических воздействий со стороны потребителей. При производственной эксплуатации современных сложных и дорогих машин вопросы грамотной технической эксплуатации становятся актуальными, поскольку в значительной мере определяют экономические показатели всего процесса производства. Для того, чтобы поддерживать работоспособность используемых технических средств необходимо проводить их ТО.

Существующая с 70-х годов прошлого столетия планово-предупредительная система ТО и ремонта предусматривает строгое разделение ТО по видам и периодичности их выполнения. Каждому виду ТО прописывался строго определенный перечень проводимых операций.

Сегодня, когда энергетические средства производства становятся все более сложными по устройству, появляется множество электронных приборов, датчиков, компьютерных устройств, планово-предупредительная система ТО и ремонта начинает вытесняться сервисной схемой ТО.

Сервисная схема ТО и ремонта в общем случае предусматривает участие производителя технических средств в проведении требуемых технических воздействий на машину или механизм.

При сервисной схеме ТО и ремонта эксплуатационник (механизатор) исключается, как исполнитель, при выполнении операций ТО. Техническим обслуживанием занимаются специально подготовленные люди при участии изготовителя технических средств. Техническое обслуживание производится в специально построенных производителем и оборудованных всем необходимым инструментом сервисных центрах.

Литература:

1. Диагностика и техническое обслуживание машин для сельского хозяйства: учебное пособие /А.В. Новиков, И.Н. Шило [и др.]; под ред. А.В. Новикова. – 2-е изд. – Минск: БГАТУ, 2010. – 404 с.

Развитие объемных гидравлических передач с внутренним делением потока мощности

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из возможных направлений развития объемных гидравлических передач (ОГП) ходового и технологического оборудования строительных и дорожных машин являются объемные гидравлические передачи с внутренним делением потока мощности. Все ОГП разделены на две группы: к одной из них относятся ОГП, в которых неподвижен один из элементов гидромотора, а ко второй – ОГП, в которых неподвижен один из элементов насоса. Для передачи мощности механическим путем один из вращающихся элементов должен быть соединен с одним из вращающихся элементов гидромотора, а один из элементов насоса или гидромотора должен быть неподвижным и воспринимать реактивный момент всей передачи.

Анализ публикуемых структурных схем ОГП показывает ограниченные возможности их технической реализации на базе современных инженерных решений. Формирование структурных схем насоса с вращающейся наклонной шайбой затруднено, поскольку известные технические решения регулирования объема насоса плохо вписываются в концепцию построения ОГП с внутренним делением потока мощности.

Авторами предложено направление построения структурных схем ОГП с внутренним делением потока мощности на основе использования способа регулирования рабочего объема аксиально-поршневого насоса и реверсирования потока рабочей жидкости, состоящего в изменении относительного углового положения продольных плоскостей наклонной шайбы и гидрораспределителя насоса. В ОГП, состоящей из насоса с неподвижным блоком цилиндров и вращающейся наклонной шайбой и гидромотором, при нулевой подаче насоса движение поршневой группы гидромотора блокируется, и ОГП передает мощность механическим путем, как жесткий механизм. При увеличении подачи насоса частота вращения ведомого вала плавно уменьшается до нулевого значения. Управление насосом осуществляется электроприводом малой мощности, позволяющим реализацию необходимых алгоритмов управления.

Разработка и реализация структурных схем ОГП в рамках предложенного направления позволит создать гамму моноагрегатных ОГП, обеспечивающих потребности транспортного и дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем приводов ходового и технологического оборудования.

**Развитие гидравлических агрегатов приводов
строительных и дорожных машин**

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Перспективным направлением развития насосных установок является разработка конструкций аксиально-поршневых насосов с неподвижным блоком цилиндров, вращающейся наклонной шайбой и цапфовым распределителем рабочей жидкости.

Авторами предложен принцип построения ряда насосных агрегатов различного функционального назначения на базе использования универсального качающего узла и быстросъемных гидрораспределительных модулей. Разработаны конструктивные схемы универсального качающего узла и гидрораспределительных модулей, обеспечивающих одно и многопоточное исполнение насосного агрегата, исполнение насосного агрегата с переменным объемом и реверсированием потока рабочей жидкости. Качающий узел насоса состоит из неподвижного блока цилиндров, приводного вала с наклонной шайбой. Основу гидрораспределительного модуля составляет ротор с сегментными пазми, установленный в распределительной втулке, связывающий рабочие полости с баком и напорной магистралью гидросистемы. Для обеспечения возможности использования насосного агрегата в много моторных приводах рабочих органов технологического оборудования многофункциональных строительных и дорожных машин в конструкцию гидрораспределителя насосной установки интегрируется дискретный гидрораспределитель, работающий в режиме деления потока рабочей жидкости насоса. Конструктивная схема дискретного гидрораспределителя позволяет изменять параметры подачи рабочей жидкости по магистральям потребителей.

Авторами предложен малоэнергоемкий способ регулирования эквивалентного рабочего объема аксиально-поршневого насоса и реверсирования потока рабочей жидкости, состоящий в изменении относительного углового положения продольных плоскостей наклонной шайбы и сегментных пазов ротора гидрораспределителя насоса при неизменных ходах поршней качающего узла.

Реализация предложенного принципа построения насосных агрегатов позволит сократить номенклатуру выпускаемых гидравлических аппаратов при обеспечении потребностей транспортного и дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем приводов ходового и технологического оборудования.

К повышению производительности бульдозера с неповоротным отвалом на базе трактора «Беларус»

Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Производительность является наиболее важной составной частью технической характеристики машины. В данном исследовании оптимизируются несколько способов повышения производительности конструкции бульдозера с неповоротным отвалом на базе трактора «Беларус», предназначенного для промышленных и мелиоративных работ в агрегате с навесными, полунавесными и прицепными орудиями. С целью расширения области применения такой бульдозер может снабжаться быстросъемным оборудованием: рыхлителями, откосниками, открылками, ушрителями, удлинителями, лыжами и т.д.

На производительность бульдозера влияет множество факторов, которые учитываются коэффициентом использования машины по времени k_g . Одним из таких факторов является состояние ходовой системы трактора, которая представляет собой движитель, оснащенный металлической гусеницей с резинометаллическим шарниром. Резиновые втулки между пальцем шарнира и траком защищают проушины трактора от попадания туда песка и пыли, а кроме того, исключают трение металла о металл при движении.

Из этого можно сделать вывод, что простой бульдозера в ремонте снизятся благодаря увеличению долговечности гусеницы в 2-3 раза. Это приведет к изменению коэффициента k_g в большую сторону и, соответственно, к повышению производительности бульдозера.

В качестве еще одного способа повышения производительности рассматриваемого бульдозера предлагается установка гидроцилиндров подъема/опускания отвала под углом близким к 90° к оси движения трактора, что позволит уменьшить длину толкающих брусьев и, в свою очередь, компенсировать это увеличением габаритов отвала при неизменной мощности базовой машины, что позволит увеличить объем призмы волочения q , который находится по упрощенной формуле:

$$q = L \cdot H^2,$$

где L, H – длина и высота отвала, м. Увеличение параметра q приведет к увеличению эксплуатационной производительности бульдозера.

**К выбору рабочего оборудования для образования скважин
под винтонабивные сваи**

Замула А.А., Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Вследствие роста нагрузок от высотных зданий и сооружений широкое распространение получили свайные фундаменты. Доля использования свай в Европе составляет: буронабивные – 52%, забивных – 42%, винтовых – 6%. Широкое использование буронабивных свай объясняется тем, что с их помощью решается сложный спектр задач по устройству свайных оснований с высокой несущей способностью на слабых и намывных грунтах. Однако существующие технологии устройства буронабивных свай не в полной мере отвечают экономическим и технологическим требованиям.

Альтернативу буронабивным сваям могут составить набивные сваи, которые устраивают путем укладки бетона в скважины, образованные в результате принудительного отжатия грунта в ее стенки. В настоящее время используются две технологии образования скважин под набивные сваи: 1) образование скважины посредством раскатчика; 2) завинчивание обсадной трубы. Эти технологии ограничены в получении нужных параметров по диаметру и глубине, они неработоспособны на грунтах с включением камней и валунов.

Основой решения этой проблемы может послужить конструкция рабочего оборудования с газодинамическим интенсификатором для образования скважин под винтонабивные сваи. Для работы в грунтах с включением валунов и камней используют рабочее оборудование оснащенное механизмом разрушения препятствий. Механизм разрушения представляет собой гидромолот. В случае возникновения перед винтовым лидером преграды в виде камня или валуна, проходку скважины прекращают и извлекают из скважины, после чего погружают сменную штангу с закрепленным на ней гидромолотом. Пройдя препятствие момент на вращение штанги уменьшается и ее вместе с гидромолотом меняют на штангу с источником газодинамического импульса. При достижении проектной глубины проходку прекращают, демонтируют источник газодинамического импульса и подают грунтоукрепляющую смесь в результате чего образуется опорная пятя. Формирование сваи в скважине проводят по известным технологиям. Укрепление грунта в основании свай, наличие опорной пятя и сцепление ее ствола с уплотненным грунтом через винтовую нарезку позволяет увеличить несущую способность и уменьшить глубину заложения.

Интеграция многоуровневых систем автоматизации

Антоневич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня в любом здании работает целый ряд инженерных систем, которые обеспечивают комфортные условия и отвечают за безопасность внутри помещения. Система включает в себя следующие подсистемы: кондиционирования и вентиляции воздуха; теплоснабжения; водоснабжения; пожарной и охранной сигнализации; электроснабжения и электроосвещения; лифтовое оборудование. Система диспетчеризации позволяет наблюдать за работой подсистем в реальном времени. Диспетчеризация позволяет контролировать различные процессы, происходящие на удаленных объектах, изменять параметры устройств, которые обслуживают данные объекты, а также просматривать протоколы их работы. Для сбора и последующей обработки данных используются программируемые контроллеры, поддерживающие разнообразные стандарты передачи данных. Система диспетчеризации инженерных объектов бывает локальной и удаленной. Локальная передает технологические данные от одной или нескольких инженерных систем на компьютер оператора (пункт диспетчеризации). Оборудование и пульт управления размещены на одном объекте или в одном здании. Удаленная осуществляет передачу с территориально удаленных объектов на центральную станцию диспетчеризации, с помощью различных каналов передачи данных. В этой связи интерес заслуживает диспетчерская система SCADA. Достоинство SCADA главным образом в том, что она может предоставить необходимую информацию через показатели, которые собраны абсолютно с разных точек хозяйствующего объекта в реальном времени. Только в таком режиме можно оптимизировано управлять предприятием, делая его работу непрерывной, без простоев, сбоев и возможных аварийных ситуаций. SCADA-система состоит из удаленного терминала, через который идет полная обработка информационных данных в реальном режиме времени; главного центрального терминала или диспетчерского пункта. На нем ведется обработка данных и их управление на самом высоком уровне. Тут используется режим мягкого реального времени. Главная задача этого структурного компонента SCADA-системы – это создание человеко-машинного интерфейса, обеспечивающего эргономическую работу оператора с АСУ ТП; каналов связи или интегрированной коммуникационной системы, которая обеспечивает связи элементов между удаленными объектами и центральным пультом управления.

Пути снижения энергозатрат на предприятиях

Антоневич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Экономия электроэнергии в зданиях позволяет достичь установка комплексного автоматизированного контроля и управления системами электроосвещения. Энергосберегающие мероприятия, внедряемые в Германии, хорошо зарекомендовали себя и на белорусских объектах. Так, нашло широкое применение в системах внутреннего освещения зданий автоматическое управление с использованием специальных датчиков. Германия далеко продвинулась в данном направлении: в стране на федеральном уровне принят закон, регламентирующий обязательную установку в зданиях датчиков присутствия и движения с целью экономии электрической энергии, затрачиваемой на искусственное освещение. Без реализации данных энергосберегающих требований невозможно спроектировать новое здание или провести реконструкцию существующего. Их выполнение незатруднительно, т. к. рынок предлагает широкий выбор датчиков движения, присутствия, сумеречных датчиков и сопутствующего оборудования, необходимого для автоматического регулирования освещения в зданиях. Принцип работы датчиков движения и присутствия прост: датчики автоматически включают/выключают освещение в помещении в зависимости от интенсивности естественного потока света и/или присутствия людей. Возможным это делает пассивная технология инфракрасного излучения: встроенные IR-датчики (инфракрасные датчики присутствия) производят измерение теплового излучения и преобразовывают его в измеряемый электрический сигнал. Люди излучают тепловую энергию, спектр которой находится в инфракрасном диапазоне и не видим человеческому глазу. Изменения тепловой радиации, т. е. различия в температуре, вызванные движением, регистрируются датчиками и преобразуются в электрический сигнал. Встроенная в датчик электроника обрабатывает полученный сигнал и производит заранее установленные действия (включение / выключение групп освещения). Оптическая система линз фиксирует тепловую радиацию и проектирует данные на инфракрасный датчик. Область обнаружения датчика поделена на активные и пассивные зоны. На инфракрасный датчик проектируются только активные зоны. В результате изменения показаний инфракрасной радиации от одной активной зоны к другой посылается сигнал. С точки зрения места размещения то датчик присутствия идеально подходит для помещений, где люди работают сидя, а датчик движения лучше устанавливать в местах, где наблюдается

движение людей.

УДК 69.05-82+625.7/.8.08-82

Обоснование параметров автоматизированного гидропривода многофункциональной строительной машины

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Создание автоматизированных систем управления гидроприводами многофункциональных строительных машин является одним из преимущественных направлений решения проблемы повышения производительности при рациональном использовании энергоресурсов, что является гарантом конкурентоспособности строительной техники Беларуси. В течение рабочего цикла машины оператором осуществляется непрерывная сенсорно-вычислительная деятельность, связанная с установкой быстросменного рабочего оборудования на энергетический модуль машины, определением положения рабочего органа во время проведения технологических операций, анализа ситуации и принятия решения о дальнейшем алгоритме движений элементов рабочего оборудования и машины в целом. Поэтому, наряду с конструктивными усовершенствованиями мобильных многофункциональных строительных машин необходимо самое пристальное внимание уделять повышению уровня автоматизации их систем управления. Для гидроприводов, работающих в условиях запыленности, переменных нагрузочных режимах и вибрации, необходимы разработка и отладка специализированного типоразмерного ряда элементов гидроавтоматики, обеспечивающих надежную работу строительной техники. Эффективность повышения уровня автоматизации приводов мобильных машин может быть достигнута только при комплексном подходе к созданию и внедрению в производство соответствующего оборудования на базе элементов гидроавтоматики и цифровой микроэлектроники отечественных производителей и передовых зарубежных фирм. Для успешного выбора из существующей номенклатуры гидроаппаратов, представленных на мировых рынках, а также для проектирования конкурентоспособных устройств автоматического управления, необходимо рассмотреть группу задач по определению статических и динамических характеристик устройств, выбору средств демпфирования, обеспечивающих нужную интенсивность затухания колебаний запорных элементов при переходных процессах, оптимизацию времени их быстроедействия. Важной задачей при исследовании характеристик гидроаппаратов для автоматического управления рабочими органами строительных и дорожных машин

является определение частных и суммарной величин транспортного запаздывания в исполнительных устройствах гидропривода.

УДК 69.05-82

Исследование динамических характеристик объемных гидроприводов дорожных машин

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Создание конкурентоспособных, высокопроизводительных, экономичных и экологически защищенных конструкций гидроприводов дорожных машин нового поколения для строительства, ремонта и эксплуатации автомобильных дорог базируется на эффективном применении элементов гидроавтоматики, электроники и микропроцессорной техники.

В системах с высокой точностью управления к гидроприводам предъявляется требование обеспечить малые фазочастотные и амплитудно-частотные искажения в области малых сигналов, соответствующих десятым долям миллиметра. В этой области изменения управляющих сигналов существенное влияние на движения выходных звеньев гидродвигателей оказывают такие нелинейные факторы, как зазоры между сопрягаемыми поверхностями, утечки рабочей жидкости, отклонения геометрических размеров дросселирующих окон от номинальных и другие технологические параметры. Динамические характеристики систем автоматической стабилизации рабочих органов дорожных машин – устойчивость, точность, быстродействие – существенно зависят от величины транспортного запаздывания в передаче управляющего сигнала от электрического и электронного регулятора к гидродвигателям приводов рабочих органов.

В нелинейных системах с релейным трехпозиционным законом регулирования транспортное запаздывание золотников гидрораспределителей часто является препятствием для повышения точности позиционирования и стабилизации, поэтому для определения предельных возможностей как существующих, так и вновь проектируемых гидроприводов необходимы данные по величинам транспортного запаздывания.

Резервы совершенствования золотниковых гидрораспределителей систем управления заложены в снижении электромеханической постоянной времени приводного электромагнита и постоянной времени второй ступени для золотника управления при отключении электрического сигнала управления. При условии применения в гидроприводах

дросселирующих гидрораспределителей с электрогидравлическим управлением желательны, чтобы время перемещения управляющего золотника не зависело от параметров работы основной гидросистемы. Для этого сила электромагнита должна значительно превышать максимальную силу давления рабочей жидкости в линии управления и силу трения между золотником и корпусом.

УДК 622.6.2

Прочностные характеристики элементов барабана ленточного конвейера

Прушак В. Я., Миранович О. Л

ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с Опытным производством»

При расчете на прочность напряжения вычисляются в 20 точках обечайки, 20 точках лобовины и в наиболее нагруженных точках ступицы барабана ленточного конвейера. Заданные коэффициенты запаса статической прочности должны быть 1,5-2,0, а усталостной прочности 1,8-2,5. Кроме того учитывается коэффициент динамичности $k_d = 1,3$ и коэффициент $k_g = 1,1$, учитывающий смещение ленты на барабане.

Обечайка рассматривается как тонкая цилиндрическая оболочка, закрепленная в местах соединения с лобовинами и нагруженная распределенными усилиями P_1 и P_3 .

Среднее и амплитудное значение эквивалентного напряжения вычисляются при суммировании осесимметричных и неосесимметричных напряжения соответственно.

Устойчивость обечайки проверяется как устойчивость оболочки средней длины с учетом возможного применения подпорных колец и износа и коррозии поверхности. При этом проверяется наибольшее давление на обечайку и сравнивается с допустимым для данного типа ленты.

Лобовина рассматривается как кольцевая пластина постоянной и переменной толщины, закрепленная на ступице.

В качестве нагружающих факторов рассматриваются следующие: радиальный изгибающий момент M_o ; крутящий момент M_{KR} ; изгибающая сила T_x ; радиальное усилие Q_r .

Исходя из вышеизложенного, приходим к выводу, что использование современных методов расчета позволит провести необходимые прочностные расчеты барабана ленточного конвейера.

Механизм подъема грузоподъемного крана

Савицкий В.П.

Белорусский национальный технический университет

Среди подъемных машин стреловые самоходные весьма широко применяются, как обладающие значимым достоинством – мобильностью. В Республике Беларусь, по имеющейся информации за 2013 год, из 15416 зарегистрированных Госпромнадзором грузоподъемных кранов 48% составляют стреловые самоходные. Проектировании механизмов подъема не представляет большой проблемы. В то же время с целью повышения эффективности производства погрузочно-разгрузочных работ наблюдается тенденция по созданию все более мощной вышеупомянутой техники и как следствие, использование полиспастных систем большой кратности.

Имеются две формулы для определения КПД полиспастов.

Наиболее широко применяемая получена при допущении, что КПД неподвижного блока и подвижного, одинаковы. Эта формула (если взять для простоты, что количество направляющих блоков равно нулю) имеет вид

$$\eta_{\text{п}} = (1 - \eta_{\text{б}}) / (i_{\text{п}} \cdot (1 - \eta_{\text{б}})), \quad (1)$$

где η – КПД неподвижного блока; $i_{\text{п}}$ – кратность полиспаста.

В формуле (2) при выводе учтено известное соотношение, при котором КПД блока подвижного больше КПД блока неподвижного. Получено

$$\eta_{\text{п}} = 1 - 0,75 \cdot \varphi_{\text{н.б.}} (i_{\text{п}} - a_{\text{r}}). \quad (2)$$

Здесь введен коэффициент a_{r} , равный единице при нечетной кратности и 1,33, при четной. Коэффициент потерь $\varphi_{\text{н.б.}} = 1 - \eta$. При кратности полиспаста 2 (подвижный блок, результаты расчетов по (1) и (2) совпадают), а при увеличении кратности отличие в расчетах увеличивается. В стреловом самоходном кране Liebherr 13000, $i_{\text{п}} = 60$, имеем при $\eta = 0,97$ КПД полиспаста по ф.(1) 0,47, а по ф.(2) $\eta_{\text{п}} = -0,32$, – система неработоспособна. Только применяя лучший блок с $\eta = 0,98$, получаем КПД полиспаста по ф.(1) 0,585, а по ф.(2) $\eta_{\text{п}} = 0,12$.

Следует отметить, что, например, при кратности полиспаста 1000 и КПД блока 0,98 по формуле (1) КПД полиспаста будет положительной величиной, ($\eta_{\text{п}} = 0,05$) в тоже время по формуле (2), отрицательной, $\eta_{\text{п}} = -14$. Нужны новые решения для обеспечения работы полиспаста. В козловых кранах проблем нет, т.к. берется параллельный поток сил.

Определение числа циклов нагружений для грузоподъемного крана с истекшим сроком службы

Савицкий В.П., Шабека М.Д.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь с 1-го января 2013 года действуют новые Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (далее – Правила). Эти Правила заменили прежние, введенные 19 января 2005 года, когда в стране было критическое положение с подъемной техникой, потому что более 90% из зарегистрированных в Госпромнадзоре отработали нормативный срок службы. В 2007 году положение улучшилось, подобный процент стал 88,9; в 2008, – 87,5; в 2009, – 86,9. По опубликованным данным за 2012 год из 15485 грузоподъемных кранов (ГПК) эксплуатирующихся в РБ 12405 отработали нормативный срок службы (80,1%); за 2013 год соответственно из 15416 ГПК «старые» краны составили 77%. Таким образом, вопросы работоспособности, стоящие по отношению к подъемным машинам с истекшим сроком службы весьма актуальны.

В действующих Правилах-2013 (п.370) сказано: «Краны, отработавшие нормативный (назначенный) срок службы, ... подлежат экспертизе промышленной безопасности, в которую входят техническое диагностирование и при необходимости оценка остаточного ресурса...».

При проектировании грузоподъемных машин для обеспечения нормативного срока службы задается требуемое число циклов. Что такое время рабочего цикла? В Правилах сказано, что это время, затрачиваемое на осуществление одного установленного цикла работы. Таким образом, при оценке остаточного ресурса важно рассчитать фактическое число циклов работы грузоподъемного крана. При этом следует определить время рабочего цикла, исходя из технической характеристики крана (скорости рабочих движений всех механизмов), усредненных величин перемещений тихоходного звена, величин времен неустановившегося движения и пауз. А фактическое общее время работы подъемного крана необходимо разбивать на характерные этапы эксплуатации, на которых интенсивность работы оказывается постоянной величиной. При недостатке конкретных данных можно использовать рекомендации: нерегулярное использование, до 125 тыс. циклов; регулярное в легких условиях – до 250 тыс.; регулярное с перерывами, – до 500 тыс.; регулярное интенсивное, – до 1 млн.; свыше 1 млн., – интенсивное использование. Итак, если фактическое число циклов меньше расчетного, можно предполагать наличие остаточного ресурса.

Модернизация мостового крана

Бежик А.А., Белевич А.И., Ефимов О.Н.
Белорусский национальный технический университет

Подъемно-транспортные машины важнейшим оборудованием для механизации работ во всех отраслях народного хозяйства – в промышленности, строительстве, на транспорте, в сельскохозяйственном производстве.

Мостовые краны предназначены для выполнения погрузочно-разгрузочных и транспортных операций. Они применяются в цехах современных промышленных предприятий, на монтажных и контейнерных площадках, на открытых и закрытых составах. Кран передвигается на концевых балках, каждая из которых имеет пару катков, один приводной и один холостой. Большинство заводов изготавливают металлоконструкцию концевой балки из двух полумостов, таким образом, при монтаже возникают сложности со сборкой крана, так как очень сложно соблюсти соосность колес механизма перемещения крана, вследствие чего возникают дополнительные осевые нагрузки на колеса при передвижении крана, что приводит к износу крановых колес и их подшипников. Данную проблему конструкторы предприятий решали за счет увеличения диаметра ходовых колес механизма передвижения крана. Некачественное изготовление, интенсивное использование мостовых кранов и несоблюдение «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» являются основными причинами возникновения неисправностей металлоконструкций деталей и сборочных единиц, требующих их последующего ремонта с применением сварки.

Конструкцию балки можно выполнить составной из трех частей, включающих средний модуль и два прикрепленных к нему посредством съемного соединения торцевых модуля, каждый из которых выполнен в виде корпуса с установленным ходовым колесом, что обеспечивает высокую точность сборки и установки крановых колес. Как правило, на среднем участке между серединой концевой балки и посадочным местом ходового колеса, металлоконструкция балки в меньшей степени подвержена изгибу. Стенку торцевого модуля, сопрягаемую со средним модулем рационально располагать как можно дальше от посадочного места ходового колеса.

Трехмодульная конструкция концевой балки позволит упростить процесс изготовления и эксплуатации концевой балки, а также позволит снизить трудоемкости и стоимости её изготовления и максимально минимизировать сроки ремонта мостовых кранов.

Модернизация фронтального погрузчика ДЗ-133 на базе МТЗ-82

Бежик А.А., Ефимов О.Н., Белевич А.И.
Белорусский национальный технический университет

Увеличение территорий городов и поселков ведет к дальнейшему совершенствованию сети городских дорог с асфальтобетонным покрытием и расширению объемов работ по их содержанию и ремонту. Большие площади, трудоемкость и разнообразие работ, а также ограничения по времени требуют большой номенклатуры средств механизации и четкой организации выполняемых работ.

В летний сезон механизированные работы по очистке городских дорог и тротуаров делят на уборку проезжей части и труднодоступных мест, снижение запыленности и межсезонные уборочные работы. В соответствии с этим специализированными машинами (подметально-уборочными, поливомоечными, универсальными погрузчиками и др.) осуществляют операции по подметанию, мойке, уборке мусора, ливневых и межсезонных грунтовых наносов, а также опавших листьев.

В целях применения фронтального погрузчика ДЗ-133, не только в дорожном строительстве, но и в коммунальном хозяйстве, необходимо оснастить его дополнительным рабочим органом соответствующего назначения. Данная модернизация позволит максимально задействовать погрузчик, уменьшая простои. Таким образом, работа одноковшового погрузчика ДЗ-133 на базе трактора «Беларусь», будет иметь эффективный коэффициент эксплуатации на протяжении всего года.

Разрабатываемое рабочее оборудование представляет собой сварной контейнер с помещенной в него щеткой. Привод щетки – гидравлический от гидромотора. Данное оборудование устанавливается вместо базового ковша через переходник. Схема работы данного оборудования заключается в следующем – погрузчик подъезжает к месту уборки, опускает рабочее оборудование до уровня дорожного покрытия на опорные колеса. Двигаясь вперед, машинист приводит во вращение щетку против часовой стрелки. После заполнения контейнера, он разгружается подобно разгрузке базового ковша. Для уменьшения времени выгрузки машинист, включает реверс щетки, тем самым повышая производительность оборудования. Для предотвращения загрязнения воздуха пылью необходимо применить орошение смета водой.

Данное сменное рабочее оборудование погрузчика ДЗ-133 позволит выполнять операций с полным исключением ручного труда – уборка улиц, а именно смета в «околобордюрной» зоне.

Формирование комплекса специальных землеройных машин для работы в условиях действующих магистральных трубопроводов

Кузьминец Н.П.

Национальный транспортный университет (г. Киев)

Работа посвящена разработке принципов формирования комплексов специального назначения, работающих в условиях близко расположенных действующих магистральных трубопроводов с целью разрешения противоречий между растущими значениями характеристик напряжённого состояния действующих трубопроводов и характеристик воздействия рабочих органов машин в системе «рабочее оборудование – грунт – трубопровод».

В работе раскрыт механизм процессов взаимодействия ходового и рабочего оборудования специальных землеройных машин с грунтовой средой в специфических условиях, выявлены закономерности изменения величины, вектора и характера распределения напряженно-деформированного состояния грунта в зоне рабочего оборудования и магистрального трубопровода с учетом пространственного характера действия нагрузки и параметров трубопровода. Выбор и обоснование рациональных параметров машин комплекса базировался на системных подходах получения закономерностей взаимовлияния составляющих общей системы «рабочий орган – грунт – трубопровод» как единого рабочего процесса, соответствующего заданной технологии рабочего процесса.

Формирование эффективной и безопасной работы комплекса машин осуществлено в условиях взаимодействия с грунтом путем определения величин напряжений и деформаций на математических и экспериментальных моделях, которые адекватно отражают условия работы машин.

Результаты исследований внедрены при проектировании машин МПРГ-1М, МВТ-2М, МПР-1М, МП-М, которые прошли государственные приемочные испытания, производятся ГП «Завод им. Малишева» (Харьков) и применяются при капитальном ремонте магистральных трубопроводов компаниями «Придніпровські магістральні нафтопроводи» ОАО «Укртрансгаз» (Украина) и ОАО «Уралтрансгаз» РАО «Газпром» (Россия).

Это позволило реализовать новую технологию скоростного ремонта трубопроводов и выполнять ремонт без остановки перекачки продукта, обеспечить неизменную линию исходного залегания трубопровода, гарантировать неповрежденность трубы, напряженное состояние которой

является минимальным, обеспечило ускорение темпа выполнения работ в 3...5 раз.

УДК 621.879.31

Моделирование нагруженности рабочего оборудования гидравлического экскаватора

Кабанов А.Е.

Белорусский национальный технический университет

В свете реализации государственной программы импортозамещения появилась необходимость создания гусеничного экскаватора четвертой размерной группы силами предприятий отечественного машиностроения.

Анализируя исключительно геометрические параметры металлоконструкции поворотной платформы и рабочего оборудования, можно прийти к ряду выводов, касаемых конструктивных особенностей гидравлических экскаваторов четвертой размерной группы.

Ввиду необходимости создания конкурентоспособной машины можно принять какие-то из этих параметров как базовые и использовать одну из представленных машин в качестве прототипа

Основные особенности представленных металлоконструкций заключаются в следующем:

- в поперечном сечении рама Volvo EC230 представляет собой двутавр, в то время как рама Caterpillar 320DL – тавр.

- кинематические точки крепления гидроцилиндров подъема стрелы не выходят за пределы нижнего опорного листа.

- противовес крепится при помощи болтового соединения на продолжении лонжеронов, сами кронштейны крепления противовеса имеют коробчатое сечение.

- балки опор кабин имеют коробчатое сечение

- кронштейн стрелы в месте сочленения ее с рукоятью выполнен литым, а также представляет собой охватывающую конструкцию

- кинематическая точка крепления гидроцилиндра подъема стрелы (на стреле) смещена ближе к верхней полке.

В соответствии со всем вышесказанным можно сделать вывод, что геометрически представленные экскаваторы очень похожи, что соответствует уровню развития данных предприятий, а последующее совершенствование и развитие в данном направлении возможно за счет применения современных материалов, а также создания более совершенных гидравлических систем. В то же время белорусским производителям еще только предстоит пройти сложный путь создания и

усовершенствования металлоконструкции гидравлических многофункциональных экскаваторов.

УДК 69.002.5-52(075.8)

Модернизация буферов и упоров в условиях эксплуатации

Черепанов И.М., Квирикашвили И.Г.

Белорусский национальный технический университет

Буфер является оборудованием безопасности лифта. Он представляет собой пружину, надетую на металлическую оправку, которая, в свою очередь, закреплена в приямке лифта. Посадка кабины на пружинные буфера сопровождается обратным толчком, опасность которого увеличивается с возрастанием скорости кабины. Одновременно с возрастанием скорости возрастает и длина пружины, которая по условиям ее устойчивости не может быть назначена слишком большой и применяется при скорости лифта 0,75 - 1 м/с. При скорости кабины свыше 1 м/с в лифтах должны устанавливаться масляные (гидравлические) буфера.

Технической документацией, прилагаемой к лифту, устанавливаются следующие требования к монтажу буферов:

1. Буфера кабины установить на нижние направляющие кабины перед монтажом направляющих в шахте;
2. Отклонение оси буфера противовеса от вертикали не более 5 мм;
3. Смещение от оси буфера противовеса относительно оси противовеса не более 3 мм.

Эти требования касаются монтажа в строящемся здании. Однако, при демонтаже в жилом здании с первым пунктом требований возникают трудности:

- необходимо обрезать направляющие с нижнего конца на 100 мм (требование технической документации). При насаживании буферов на направляющие этого задела недостаточно;
- необходимо увеличивать задел за счет снятия бетонной массы с пола приямка, что является трудной задачей;
- можно надеть буфер в этом случае и сверху – отсоединив нижний пролет направляющей от закладной. Но при таком способе есть риск нарушения установки направляющей.

Все работы, связанные с демонтажем, изначально не предусмотрены и потому трудоемки и травмоопасны.

Анализируя вышеизложенное предлагается решение данной проблемы: использовать в буферах пружины меньшей длины и большей упругости; применять в работе оправку для сжатия пружины, пока та не будет

свободно проходить в нужный размер (100 мм); заменить громоздкие пружинные буфера на компактные резиновые и устанавливать их на дополнительный кронштейнах (по примеру зарубежных лифтов).

УДК 662.638:620.952

Выбор направления фрезерования мульчером

Моисеев А.О.

Белорусский национальный технический университет

Абсолютная скорость реза, а следовательно, и начальная скорость отторгнутого грунта при попутном и встречном фрезеровании различны и определяются выражениям.

При встречном фрезеровании:

$$V_p = \sqrt{V_M^2 + 2\omega R \cos \varphi + (\omega R)^2} .$$

При попутном фрезеровании:

$$V_p = \sqrt{V_M^2 - 2\omega R \cos \varphi + (\omega R)^2} ,$$

где ω – частота вращения рабочего органа;

R – радиус окружности, описываемый концом рабочего органа.

Следовательно, при одинаковых подаче, частоте вращения рабочего органа, геометрических параметрах рабочего органа (радиус, ширина реза, геометрии реза) скорость резания при встречном фрезеровании больше, чем при попутном, а значит, сила инерции, и сила на разгон отторгнутого от массива грунта больше, чем при попутном фрезеровании.

Наконец, рассматривая работу фрезы при попутном и встречном фрезеровании можно сделать выводы, что при встречном фрезеровании весь объем измельченной массы подвергается подъему на высоту диаметра рабочего органа и перебрасыванию на его противоположную сторону. На подъем и отбрасывания расходуется энергия. При попутном фрезеровании грунт не поднимается вверх, а отрывается резцом и выбрасывается снизу.

Следовательно, и в отношении экскавации грунта попутное направление фрезерования менее энергоемко, чем встречное.

Можно сделать следующий вывод: энергоемкость попутного фрезерования ниже энергоемкости встречного фрезерования, т.к.

составляющие сил резания при попутном фрезеровании ниже, суммарная скорость резца также ниже, и процесс экскавации осуществляется без подъема измельченной массы на высоту диаметра рабочего органа.

УДК 662.638:620.952

Выбора базовой машины для мульчера

Моисеев А.О.

Белорусский национальный технический университет

Технология мульчирования предполагает очень частое изменение направление движения работы мульчером (вперед-назад). Поэтому идеальными базовыми машинами для мульчера являются машины с гидростатической трансмиссией (ГСТ), т.е. машины с гидравлическим приводом хода (движения). Это машины: гусеничные и колесные экскаваторы, мини-погрузчики, фронтальные погрузчики с ГСТ, специальные гусеничные самоходные машины, колесные самоходные машины, валочно-пакетирующие машины, трактора с гидростатической трансмиссией и др.

У машин с механическим приводом мульчера от вала отбора мощности часто поздно срабатывает защита (муфта разрыва) или не срабатывает вовсе, при работе мульчером на механизмы трактора (коробка передач, раздаточная коробка, шлицевое соединение валов) воздействуют большие динамические нагрузки, соответственно подвержены большому износу, вплоть до разрыва приводных валов и срезания шлицевых соединений.

У мульчеров с гидравлическим приводом, система подключения к гидромотору ротора мульчера состоит из 3 линий (шлангов) 1 – «Поток», 2 – «Обратка», 3 – «Дренаж». При нормальной работе мульчера гидравлическая жидкость поступает по "Потоку" в гидромотор мульчерной навески и выходит через "Обратку". Если нагрузка на ротор мульчера превышает нагрузку, с которой мульчер не может справиться, повышается давление в линии "Потока", если давление достигает максимально допустимого значения, срабатывает ограничительный клапан на гидромоторе ротора мульчера и избыток гидравлики через линию "Дренажа" сливается в гидробак, вплоть до полной остановки ротора мульчера. Как только нагрузка на мульчер исчезает, то происходит обратный процесс, клапан закрывается и ротор мульчера опять начинает свое вращение. И при этом этот процесс занимает секунды.

Использование антифрикционных слоев для снижения сопротивлений при разработке грунта

Берестов Е. И., Афхами Алишах А.Х.
Белорусско-Российский университет (г. Могилев)

Многочисленные исследования резания и копания грунта и разработанные методики расчета возникающих при этом сопротивлений позволяют выбирать рациональные геометрические размеры рабочих органов землеройных машин.

Одним из недостаточно изученным в настоящее время направлением снижения сил сопротивления грунта является уменьшение трения между грунтом и поверхностью рабочего органа. Такое направление является перспективным, учитывая современные успехи нанотехнологий в сфере триботехники, а также установленные зависимости коэффициента трения грунта по металлу от его состава и термообработки.

Для оценки эффективности снижения сил трения при резании и копании грунта разработан метод расчета, позволяющий проанализировать влияние трения на процесс отделения стружки как с точки зрения снижения сопротивлений, так и общего влияния на параметры, которые могут быть замерены при проведении физических экспериментов.

Расчеты показывают, что, применительно к бульдозеру, наиболее эффективным будет использование антифрикционного слоя непосредственно у режущей кромки ножа. При этом его минимальная длина определяется толщиной срезаемой стружки. При $\alpha=60^\circ$ она не должна быть меньше 50% толщины стружки. Использование антифрикционных слоев на всей поверхности отвала бульдозера не дает ощутимого эффекта по сравнению с антифрикционными слоями у режущей кромки. Антифрикционный слой на всей поверхности отвала снижает силу $P_{1\max}$ на 13,3-15,7% (для условий эксперимента). Такой же слой при его длине $l=0,1$ м снижает силу $P_{1\max}$ на 7,7-12,4%. Это означает, что длина антифрикционного слоя, составляющая всего 7,5% от высоты отвала, уступает эффективности полностью покрытого отвала всего 3,3-5,6%.

Таким образом, разработанный метод расчета позволяют не только оценить эффективность антифрикционного слоя, но и более обоснованно подойти к выбору расчетной длины покрытия с учетом допустимой степени износа ножей.

Сопротивление заглублению отвала бульдозера

Берестов Е. И., Джалилванд Э.Х.

Белорусско-Российский университет (г. Могилев)

При работе бульдозера положения отвала по высоте часто изменяется. На основании анализа работы бульдозера выявлены конструктивные, технологические и другие факторы, оказывающее наибольшее влияние на этот процесс.

Установлено, что в зависимости от величины вертикальных давлений на площадку износа и угла наклона траектории заглубления отвала существуют два основных случая для расчета параметров заглубления отвала бульдозера: заглубления отвала бульдозера в случае, когда давления на площадке износа не являются предельными, а заглубление осуществляется лишь за счет деформаций грунта, и заглубление при предельных давлениях, разрушающих грунт.

Разработаны методики расчета, обеспечивающие исследование заглубление отвала для этих случаев.

Расчет предельных давлений базируется на теории предельного состояния грунтовых масс В.В. Соколовского.

Рассматриваются следующие схемы и их сочетания:

- заглубление отвала при неподвижной машине и при ее движении;
- заглубление отвала при отсутствии и наличии призмы волочения;
- заглубление отвала на начальной стадии, когда поверхность грунта перед отвалом горизонтальна, и при копании грунта, при существовании перед ножом наклонных площадок сдвига.

Заглубление отвала при непредельных давлениях рассчитывается на основе общих закономерностей механики грунтов. Установлены положения граничных траекторий заглубления режущей кромки отвала, обеспечивающие перемещение призмы волочения и появление предельных напряжений во всей зоне, расположенной под площадкой износа. Величина предельных давлений при заглублении отвала может изменяться в 3 раза в зависимости от комбинации факторов.

Выбор параметров подвески задней полурамы самосвала

Лесковец И. В., Ромачко А. А.

Белорусско-Российский университет (г. Могилев)

Производство самосвалов повышенной проходимости является одним из направлений Могилевского автомобильного завода (МоАЗ). В настоящее время выпускаются самосвалы грузоподъемностью 25, 27 и 36 тонн. Отличительной особенностью самосвалов грузоподъемностью 27 и 36 тонн является шарнирно-сочлененная рама, состоящая из двух полурам – передней и задней. Задняя полурама опирается на две ведущих оси. Такая конструкция обеспечивает высокую маневренность и повышенную проходимость. Радиус поворота самосвала грузоподъемностью 36 тонн составляет 9,4 м.

Методика расчета характеристик подвески колесной машины, применяемая в настоящее время многими производителями, заключается в расчете статической нагруженности и выборе параметров подвески. В дальнейшем существующие методики предлагают определять параметры прочности элементов подвески. Такой вариант не учитывает динамических сил, возникающих при движении машины. В этом случае, величины динамических сил учитываются с помощью коэффициента динамичности, значения которого рекомендуется принимать в пределах 2 – 2,5.

Более точное определение скоростей, ускорений и усилий в колесном движителе на стадии проектирования можно получить с помощью математического моделирования, тем более, что на практике могут возникать случаи нагружения, данные о которых можно получить на стадии проектирования только с помощью моделирования. Кроме того, математическая модель движителя позволяет получить данные, которые можно использовать в системах автоматизированного проектирования типа CAD и CAE.

С помощью математической модели, решенной в специализированном программном обеспечении, получены ускорения, скорости и перемещения элементов подвески и задней полурамы самосвала, что позволило определить значения усилий, действующих на раму при движении машины. Серией предварительных экспериментов установлено, что наихудшим случаем нагружения при высоте препятствия 0,3 м является наезд одновременно двумя колесами второй оси. Коэффициент динамичности в этом случае равен 1,6. Получены усилия, действующие на раму в местах крепления подвески, что позволяет выполнить анализ металлоконструкции рамы на прочность методом конечных элементов.

Оценка точечных параметров барабана ленточного конвейера с использованием метода наименьших квадратов

Миранович О. Л., Миранович Д. О.

ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с Опытным производством»

Исходным материалом для получения точечных оценок параметров регрессионной модели является набор из N наблюдений над значениями факторов X_1, X_2, \dots, X_n и отклика Y .

Согласно метода наименьших квадратов, значения b находятся из условия минимизации суммы квадратов отклонений, измеренных значений отклика от получаемых с помощью регрессионной модели, т.е. путем минимизации суммы.

Величины b_i , при которых указанная сумма квадратов достигает минимума, и принимаются за оценки коэффициентов регрессии. Минимизация суммы квадратов производится с помощью дифференциального исчисления путем приравнивания к нулю первых частных производных (1) по b_0, b_1, \dots, b_d .

После преобразований получим систему линейных алгебраических уравнений, решая которую можно получить искомые оценки b_0, b_1, \dots, b_d :

$$b_0 \sum_{g=1}^N f_{g0}^2 + b_1 \sum_{g=1}^N f_{g0} f_{g1} + \dots + b_d \sum_{g=1}^N f_{g0} f_{gd} = \sum_{g=1}^N Y_g f_{g0};$$

$$b_0 \sum_{g=1}^N f_{g0} f_{g1} + b_1 \sum_{g=1}^N f_{g1}^2 + \dots + b_d \sum_{g=1}^N f_{g1} f_{gd} = \sum_{g=1}^N Y_g f_{g1};$$

Значения функции f_j можно рассчитать для любых значений X_i и, следовательно, можно получить значения Y , т.е. наибольшие напряжения на валу, в обечайке и элементах сотового каркаса барабана ленточного конвейера.

Содержание

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	79
Энергетическое строительство	127
Энергоэффективные технологии	167
Информационные системы и технологии	188
Информационные технологии и автоматизация	215
Литейное производство чёрных и цветных металлов	294
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	315
Обработка материалов давлением	343
Материаловедение в машиностроении	356
Теория механизмов и машин	379
Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент	391
Экономика и организация машиностроительного производства	399
Горные машины	421
Строительные и дорожные машины	446

Научное издание

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

Материалы 12-й Международной
научно-технической конференции

В 4 томах

Т о м 1

Подписано в печать 24.10.2014. Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 27,67. Уч.-изд. л. 21,64. Тираж 155. Заказ 831.

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.