

**Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

**Материалы 13-й Международной
научно-технической конференции
(68-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных работников, докторантов
и аспирантов БНТУ)**

В 4 томах

Том 1

**Минск
БНТУ
2015**

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 – чл.-корр. НАН Беларуси, д-р техн. наук, профессор;

А.С. Калиниченко – д-р техн. наук

В сборнике представлены материалы 13-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (68-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), тематика которых посвящена актуальным проблемам современной науки.

ISBN 978-985-550-740-7 (Т. 1)

ISBN 978-985-550-744-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

Алгоритм функционирования микропроцессорной токовой защиты линий

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

Для токовых защит, используемых для защиты линии распределительных сетей 6–35 кВ от междуфазных коротких замыканий, одними из существенных недостатков вследствие ступенчатых характеристик срабатывания являются относительно большие выдержки времени последних ступеней, в первую очередь на головных участках сети, расположенных ближе к источнику питания, а также значительное количество ступеней для таких защит.

В тоже время полноценная защита линий 6–35 кВ от рассматриваемых повреждений может быть обеспечена с помощью двухступенчатой токовой защиты, у которой первая ступень являлась бы токовой отсечкой без выдержки времени, а вторая – максимальной токовой защитой с выдержкой времени линейно зависящей от расстояния до точки повреждения.

Авторами предложен алгоритм функционирования микропроцессорной токовой защиты, обеспечивающий реализацию изложенных принципов ее выполнения. Работоспособность принципов выполнения такой защиты исследована в процессе вычислительного эксперимента. Полученные результаты подтвердили эффективность предлагаемых решений.

При использовании рассматриваемого алгоритма отключение короткого замыкания в пределах основной зоны защиты линии обеспечивается без выдержки времени, а в конце зоны резервирования – с выдержкой времени, не превышающей две ступени селективности на всех участках, в том числе и на головных участках сети.

Реализация рассматриваемого алгоритма также обеспечивает расширение зоны мгновенного отключения быстродействующей ступени и обеспечивает работу обеих ступеней защиты независимо от вида повреждения на линиях и режима работы питающей сети.

Литература:

1. Романюк, Ф.А. Принципы выполнения токовой защиты линий с односторонним питанием от междуфазных коротких замыканий / Ф.А. Романюк, М.А. Шевалдин // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2015. – № 1. – С. 5–11.

УДК 621.315

Программный комплекс для расчета аварийных режимов двухобмоточного трехфазного трансформатора

Новаш И.В., Романюк Ф.А., Румянцев В.Ю., Бобко Н.Н.,
Устимович В.А.

Белорусский национальный технический университет

Программный комплекс [1] для исследования режимов включения и коротких замыканий двухобмоточного трехфазного трансформатора разработан с использованием системы объектного программирования DELFI и расчетного модуля на алгоритмическом языке FORTRAN.

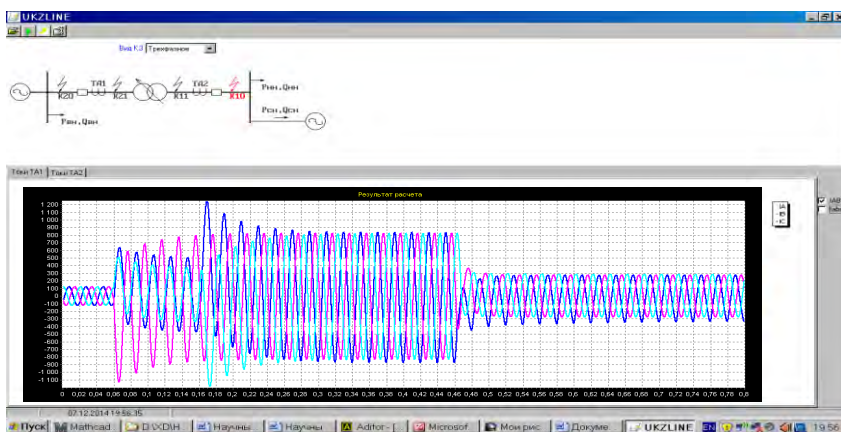


Рис. 1. Диалоговое окно программного комплекса

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 трансформаторных подстанций для исследования новых принципов выполнения микропроцессорных защит: Отчет о НИР. ГБ 14-18 (задание 1.1.28) / БНТУ. – Минск, 2014. – 65 с.

Реализация упрощенной модели трехфазной группы трансформаторов тока в среде динамического моделирования

Румянцев Ю.В.

РУП «Белэнергосетьпроект»

В основу математической модели трехфазной группы трансформаторов тока (ТТ) положена математическая модель одиночного ТТ [1].

В среде динамического моделирования Matlab-Simulink с использованием блоков библиотеки расширения SimPowerSystems была составлена структурная модель исследования работы трехфазной группы ТТ с соединением вторичных обмоток и нагрузок по схеме «звезда с нулевым проводом».

Работа ТТ рассматривалась при протекании в первичной цепи тока, превышающего номинальный ток ТТ в 13 раз. Следует отметить, что нагрузка на трансформатор тока принята равной номинальной, а кратность тока КЗ по отношению к номинальному току ТТ приводится для установившегося режима КЗ. Параметры трансформатора тока выбраны следующие: класс точности обмотки – 10P, номинальная кратность – 10, номинальной нагрузка – 15 ВА, коэффициент трансформации 600/5 А. Результаты эксперимента приведены на рис. 1. Как и ожидалось, в результате получена искаженная форма кривой вторичного тока, погрешность составила 35%.

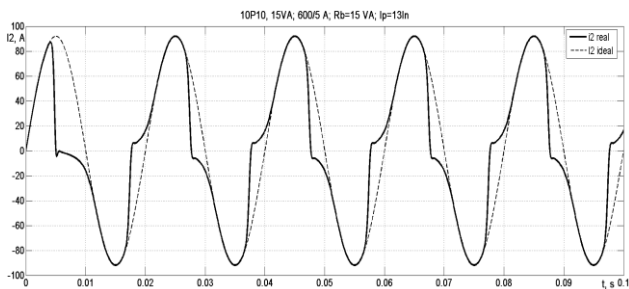


Рис.1 Оциллограмма вторичного тока ТТ

Литература:

1. Новаш И. В. Реализация математической модели трехфазной группы трансформаторов тока в системе динамического моделирования / И. В. Новаш, Ю. В. Румянцев // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2014. – № 3. – С. 19–28.

**Расчет электродинамической стойкости гибких шин
распределительных устройств 110–220 кВ
с учетом демпферов тяжения**

Сергей И.И., Бладыко Ю.В., Климкович И.П., Потачиц Я.В.
Белорусский национальный технический университет

Рост токов короткого замыкания (КЗ) сопровождается усилением их электродинамического и термического действия на токоведущие части с гибкими проводниками. При токах КЗ более 40 кА динамические усилия и отклонения проводов оказывают решающее влияние на конструктивное исполнение гибких токоведущих частей. В связи с этим возникла необходимость разработки новых конструктивных элементов, повышающих электродинамическую стойкость гибких шин распределительных устройств.

Для решения поставленной задачи сформулирована смешанная краевая задача. Начальное положение гибких шин в заданных в Правилах устройства электроустановок климатических режимах по ветру и гололеду определяются по модифицированной компьютерной программе MR21-D, в которой учитываются упругие свойства демпферов тяжения, установленных в конце пролета. В модифицированном алгоритме учитывается влияние упругих свойств демпфера на начальное положение провисания гибких шин до КЗ.

Динамические усилия по концам анкерного пролета открытого распределительного устройства (ОРУ) определяются с учетом подвижности точек крепления гибких шин к порталам. Решение нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих упругое смещение демпферов, производится численным методом по разработанному алгоритму с использованием неявной схемы. Оценка достоверности результатов расчета выполнена с использованием опытных данных бельгийской фирмы «Labogelec». Проведены расчеты, подтверждающие значительное влияние демпферов тяжения на максимальные тяжения проводов при КЗ.

Задачей исследования является поиск компромисса между динамическими силами, действующими на портал, и силами упругой реакции демпфера. Нужно определить оптимальное значение упругости демпфера, при которой геометрические размеры гибких шин ОРУ будут находиться в допустимых габаритах при КЗ.

Разработанная компьютерная программа пригодна для поиска и нахождения оптимальных значений параметров демпфера и может быть использована в проектной практике.

**Влияние электродинамических и климатических нагрузок
на гибкую ошиновку открытых распределительных устройств**

Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Семенчиков О.А.
Белорусский национальный технический университет

На гибкие проводники открытых распределительных устройств (ОРУ) воздействуют статические нагрузки от ветра и гололеда, а также электродинамические нагрузки при коротких замыканиях (КЗ). В республике Беларусь и в Российской Федерации расчетные токи КЗ на стороне 110–220 кВ достигают 40–50 кА (по данным проектных организаций), поэтому электродинамическое воздействие больших токов наряду со статическими нагрузками становится ключевым фактором при выборе токоведущих и опорных конструкций с гибкими проводниками. В БНТУ составлены математические модели, алгоритмы и пакеты компьютерных программ, позволяющие в полной мере выполнить оценку механической прочности и электродинамической стойкости элементов ОРУ. Отличительной чертой разработок БНТУ является возможность выбора и проверки различных конструктивных решений направленных на повышение электродинамической стойкости гибких проводников. Это может быть установка междуфазных распорок, использование проводников большего сечения, изменение начальной стрелы провеса и точек подвеса проводников, и другие решения. Расчет динамики проводников под действием электродинамических усилий производится в нескольких стандартных климатических режимах, определенных нормативными документами. Важной задачей является выбор расчетных сочетаний климатических условий (скорость ветра и его направление, температура, толщина стенки гололеда) и параметров КЗ (вид, длительность, фаза включения), при которых наблюдается наибольшее сближение гибких проводников и возникают максимальные тяжения и нагрузки на опорные конструкции и аппараты. Исследования, проведенные в БНТУ, показали, что возникновение недопустимого сближения проводников наиболее вероятно в режимах с максимальным скоростным напором ветра и когда проводники имеют наибольшую температуру. Наибольшие статические и динамические нагрузки возникают при образовании гололеда на ошиновке, либо при минимальной температуре в районах с небольшой интенсивностью гололедообразования. В типовых ОРУ в качестве расчетного вида КЗ рекомендуется двухфазное КЗ наибольшей расчетной продолжительности. Разработки БНТУ в данной области получили применение при проектировании токоведущих конструкций с гибкими проводниками в Республике Беларусь и Российской Федерации.

Пономаренко Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Электрические станции» БНТУ совместно с ООО «Научно-технический центр «Электроинжиниринг. Диагностика и сервис» (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 на кафедре «Электрические станции». Провод при расчете представляется гибкой упругой нитью, масса которой равномерно распределена по ее длине.

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 отпайек), а также различные параметры короткого замыкания и климатические условия, предшествующие и сопутствующие короткому замыканию. Отличительной особенностью разработанной программы кроме того является возможность проведения механического расчета, не прибегая к дополнительным программным средствам или ручному счету.

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 нормативными документами климатических режимах.

Влияние начального положения элементов жесткой ошиновки 10 кВ на параметры электродинамической стойкости

Баран А.Г., Шпаковский А.А., Климович И.П.
Белорусский национальный технический университет,
ГУО «Гимназия № 24 г. Минска»

ГОСТ 30323-95 содержит методику расчета усилий в системе параллельных жестких шин, расположенных в один ряд или по вершинам прямоугольного или равностороннего треугольника [1]. В то же время сборные шины современных распределительных устройств зачастую располагаются в вершинах произвольного треугольника.

По разработанной математической модели и компьютерной программе явного метода расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки распределительных устройств 10 кВ проведено исследование влияния начального положения шинных конструкций для шин, расположенных в горизонтальной плоскости и по вершинам треугольников, углы которых равны 90° и 60° . По результатам вычислительного эксперимента построены зависимости изгибающих ($P_{\max \text{ изг}}$) и растягивающих ($P_{\max \text{ раст}}$) усилий на вершины изоляторов и максимального напряжения в материале шины (σ_{\max}) от начального угла положения шин. На рис. 1 представлены зависимости $P_{\max \text{ изг}}$, $P_{\max \text{ раст}}$ и σ_{\max} от начального угла поворота фазы при расположении шин в вершинах прямоугольного треугольника.

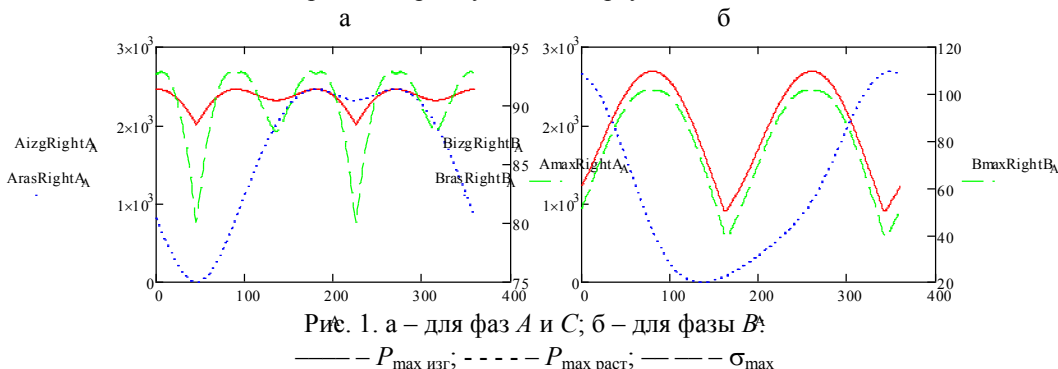


Рис. 1. а – для фаз А и С; б – для фазы В

— $P_{\max \text{ изг}}$; - - - $P_{\max \text{ раст}}$; ···· σ_{\max}

Литература:

1. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. ГОСТ 30323-95. – Введ. 01.03.1999. – Минск: 1999. – 57 с.

Определение оптимальной электрической нагрузки потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками при различных тарифах на электроэнергию

Иванейчик А.В.

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

Задачей данного исследования является определение оптимальной электрической нагрузки, обеспечивающей снижение затрат на покупку электроэнергии, а также снижение расхода электроэнергии для производства заданного объёма продукции, путем управления режимами технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками, в условиях различных тарифных систем. Необходимо найти такой режим, при котором затраты на покупку электроэнергии или расход электроэнергии будут минимальными. При этом возникает вопрос: на какой из характеристик и когда выгоднее работать? Что является более эффективным: снижение до минимума электропотребления в часы максимума нагрузки энергосистемы (тем самым снижается P_{\max}) и работа в остальное время на менее эффективной характеристике, либо максимальное попадание на более эффективную характеристику (при этом уменьшается объём расходуемой электроэнергии)? Всё это необходимо рассматривать отдельно в каждом конкретном случае.

Для решения поставленной задачи была разработана обобщенная математическая модель электропотребления для предприятия с кусочно-непрерывными расходными характеристиками. Созданная модель позволяет определять расчетные параметры электропотребления для дальнейшего управления режимами.

Исследования показали, что за счёт оптимального перераспределения объёмов выпускаемой продукции, возможно снизить не только электропотребление, но и затраты на покупку электроэнергии для потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками. Установлено, что снижение затрат на покупку электроэнергии за счет оптимизации электрических нагрузок при двухставочно-дифференцированном тарифе значительно выше, чем при двухставочном. При этом следует отметить, что для практической реализации мероприятия могут быть необходимы средства управления графиками электрических нагрузок. Такими средствами могут быть потребители-регуляторы, а также собственные источники электроэнергии предприятия, например, мини-ТЭЦ. Однако их внедрение требует серьёзного технико-экономического анализа и обоснования.

УДК 621.316.925

Особенности математического моделирования продольной дифференциальной защиты трансформатора

Артёменко К.И.

Белорусский национальный технический университет

Генераторы, трансформаторы (автотрансформаторы), линии электропередачи (ЛЭП) и другое оборудование электроэнергетических систем (ЭЭС) непрерывно связаны между собой постоянным процессом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. При этом силовые трансформаторы и автотрансформаторы, наряду с присущими им функциями, относятся к наиболее дорогостоящему оборудованию ЭЭС. Их необоснованное отключение или выход из строя связаны со значительным технологическим и экономическим ущербом.

Свести к минимуму эти последствия позволяет правильное действие релейной защиты (РЗ) и, прежде всего, основной – дифференциальной защиты трансформаторов (ДЗТ).

Для рассмотрения всех необходимых режимов работы ДЗТ целесообразно использовать её математическую модель.

Продольная ДЗТ электроэнергетического объекта содержит несколько трёхфазных групп трансформаторов тока (ТТ), имеющих общую нагрузку дифференциальной цепи. Защиты силовых трансформаторов, автотрансформаторов и блоков генератор трансформатор содержат несколько групп ТТ с разнородными схемами соединения вторичных обмоток.

В комплексных математических моделях дифференциальных защит необходимо использовать модель токовых цепей, позволяющую задавать нужную схему соединения каждой трёхфазной группы ТТ. Наиболее просто это осуществляется при одинаковых нагрузках отдельных фаз в плече защиты.

УДК 621.3

Использование программируемых микроконтроллеров для оптимизации работы электрооборудования вентильных электродвигателей

Василевский Ю.Л., Василевский Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время вентильные электродвигатели находят наиболее широкое применение в промышленном и аграрном комплексе нашей республики. Основным их достоинством является возможность работы от ис-

точников постоянного напряжения, например, аккумуляторных батарей, используемых на автономно работающих механизмах и агрегатах. Вентильные двигатели выпускаются на напряжение 12, 24 и 48 В постоянного тока, что соответствует ряду стандартных напряжений, используемых в аккумуляторных батареях.

Обмотка вентильных электродвигателей такая же как и у асинхронных двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором, что позволяет использовать статоры асинхронных электродвигателей серии А4 или АИР. В связи с тем, что обмотка статора выполняется в трёхфазном исполнении, на каждую из фаз поочередно подаётся постоянное напряжение в определённые периоды времени. Ротор таких двигателей выполнен в виде постоянных электромагнитов, чаще всего изготавливаемых из редкоземельных элементов. Для того, чтобы определить положение ротора относительно обмоток используются датчики Холла. Однако следует отметить, что в настоящее время используются двигатели и без датчика Холла (тип BLDC), что значительно упрощает процесс изготовления электродвигателей и возможность использования статоров асинхронных электродвигателей типовых серий.

Для управления работой вентильных электродвигателей используются программируемые микроконтроллеры в связке с тиристорными ключами, подающими напряжение на одну из фаз трёхфазной обмотки в определённые моменты времени.

Использование программируемых микроконтроллеров для управления работой вентильных электродвигателей позволяет получить достаточно жёсткую характеристику зависимости момента на валу машины от скорости вращения. Это позволяет запрограммировать микроконтроллер управления под нужды текущего агрегата с учётом возможностей плавного пуска и торможения, а также выполнить оптимизацию с точки зрения минимизации расхода электропотребления. Также существует возможность изменить режим управления вентильным электродвигателем в зависимости от режима работы агрегата в данный момент времени.

УДК 621.311.1

Причины перегрузок силовых трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ производственных объектов

Радкевич В.Н., Самиев Ф.Х.

Белорусский национальный технический университет

Под перегрузкой трансформатора понимается его такая нагрузка, при которой расчетный тепловой износ обмоток, соответствующий установив-

шимся превышениям температуры превосходит износ при номинальном режиме.

В соответствии с ГОСТ 16110-82 различают допустимые систематические и аварийные перегрузки, величины и длительности которых установлены нормативными документами. Перегрузки и несимметричные нагрузки вызывают перегрев и дополнительный тепловой износ, повреждение изоляции, витковые замыкания, увеличение потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах, повышенные шумовые нагрузки (повышенное гудение).

Перегрузки трансформаторов могут быть вызваны следующими причинами: резко неравномерным графиком нагрузки трансформаторов; отключением одного или нескольких трансформаторов, установленных на многотрансформаторных цеховых подстанциях, при их параллельной работе на общую нагрузку; срабатыванием устройства автоматического включения резерва (АВР) на вторичном напряжении подстанций, установленном на секционном автоматическом выключателе при отдельной работе трансформаторов; автоматическим или ручным резервированием питания по сети напряжением до 1 кВ потребителей, получающих электроэнергию от однострансформаторных подстанций; выбором трансформаторов и других элементов систем электроснабжения по нагрузкам, найденным для устанавливаемого производственного оборудования по средним коэффициентам использования, без учета перспективных нагрузок; естественным ростом нагрузок потребителей; ошибками, допущенными при определении расчетных нагрузок на шины вторичного напряжения подстанций, числа и мощности трансформаторов, устанавливаемых на производственном объекте; отказом конденсаторных установок, отключением их из-за перегрузок токами высших гармоник; несимметричными режимами работы трансформаторов; высшими гармоническими составляющими тока при работе мощных электроприемников с нелинейными вольтамперными характеристиками; затяжным пуском и самозапуском мощных электродвигателей, подключенных к сетям вторичного напряжения трансформатора и т.д.

Для эффективного электроснабжения промышленных предприятий в процессе эксплуатации электроустановок необходимо контролировать режимы силовых трансформаторов напряжением 6-10/0,4 кВ с целью обеспечения их надежной и экономичной работы.

**Использование программируемых микроконтроллеров
для оптимизации электропотребления
режимов работы электрооборудования строительных площадок**

Василевский Ю.Л., Василевский Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на строительных площадках используется большое количество электрифицированных механизмов и оборудования. К ним относятся: станции прогрева бетона, штукатурные станции, электрифицированные подъёмные краны и механизмы, осветительная арматура строительных площадок, ручной электрифицированный инструмент и т.д.

Проанализировав режимы работы электрооборудования, можно выявить возможности оптимизации режимов их работы с целью повышения энергоэффективности и уменьшения расходов электроэнергии.

Наиболее энергоёмкими на строительных площадках являются станции прогрева бетона, которые используются при строительстве бетонных и железобетонных монолитных строительных конструкций в осенне-зимний период времени. При выполнении этих работ возможность оптимизации достигается путём контроля температуры бетона на разных этапах прогрева. При использовании методов прогрева греющими электродами, контроль состояния бетона может быть осуществлён по значению тока протекающего между электродами. Использование программируемых микроконтроллеров позволяет разработать оптимальные алгоритмы управления электропрогревом бетонных и железобетонных конструкций с учётом температуры наружного воздуха, характеристик твердения бетона, необходимого времени набора прочности.

Использование электропрогрева временных бытовых городков в осенне-зимний период при отрицательных температурах воздуха также составляет значительную часть расхода электроэнергии строительных площадок. При оптимизации расхода электроэнергии, потребляемой строительными площадками, необходимо учитывать температуру наружного воздуха, график работы строительных бригад, тепловые характеристики ограждающих конструкций временных бытовых помещений и т.д. Наиболее оптимальные режимы работы достигаются с помощью использования микроконтроллеров, которые позволяют не только учесть все вышеперечисленные факторы, но и выполнить мониторинг работы электрооборудования, позволяющий более полно выявить потенциалы энергосбережения на строительных площадках.

Математическая модель надежности релейно-контактных систем

Анищенко В.А., Бакун Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение надежности систем без изменения надежности отдельных элементов производится структурным резервированием. В случае релейно-контактных систем резервирование может как повысить, так и понизить их надежность. Это зависит от преобладающего типа отказов и числа элементов, а также от топологии системы. В общем случае возможны пять реакций релейно-контактных элементов в процессе их функционирования:

1) нормальная работа с вероятностью p_i ; 2) отказ типа «обрыв» при включении входного сигнала с вероятностью q_{io} ; 3) отказ типа «замыкание» при выключении входного сигнала с вероятностью q_{is} ; 4) самопроизвольное замыкание контактов при отсутствии входного сигнала с вероятностью r_{is} ; 5) самопроизвольное размыкание контактов при наличии входного сигнала с вероятностью r_{io} .

Отказы типов «обрыв» и «замыкание» вызываются внутренними причинами и характеризуют надежность элементов без учета их функционирования в реальных условиях. Самопроизвольные срабатывания элементов обусловлены внешними факторами, например, воздействием электромагнитных помех при несоблюдении требований по электромагнитной совместимости, некачественным монтажом или неблагоприятными условиями окружающей среды (вибрации и др.)

Выражения для соответствующих вероятностей реакций системы P , Q_o , Q_s , R_o , R_s основаны на биномиальном разложении Ньютона:

$$\prod_{i=1}^n (p_i + q_{io} + q_{is} + r_{is} + r_{io}) = 1,$$

где n – число элементов в системе.

Для параллельного соединения идентичных элементов получаем:

$$P = (1 - q_s)^n + (1 - r_s)^n - q_o^n - r_o^n - 1; \quad Q_o = q_o^n; \\ Q_s = 1 - (1 - q_s)^n; \quad R_o = r_o^n; \quad R_s = 1 - (1 - r_s)^n.$$

Для последовательного соединения идентичных элементов:

$$P = (1 - q_o)^n + (1 - r_o)^n - q_s^n - r_s^n - 1; \quad Q_s = q_s^n; \\ Q_o = 1 - (1 - q_o)^n; \quad R_s = r_s^n; \quad R_o = 1 - (1 - r_o)^n.$$

Параллельное резервирование снижает вероятности отказа типа «обрыв» (Q_o) и самопроизвольного размыкания релейно-контактной системы (R_o), но повышает вероятности отказов типа «замыкание» (Q_s) и самопро-

звольного замыкания системы (R_s). При последовательном соединении элементов Q_o и R_o увеличиваются, а Q_s и R_s уменьшаются.

УДК 621.32

Достоверность и точность измерений электрической энергии

Анищенко В.А., Худик В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Основное усилие в обеспечении достоверности и точности измерений электрической энергии направляется на совершенствование технических средств. Вместе с ним имеются дополнительные возможности решения этой задачи, использующие избыточную информацию об измеряемой электроэнергии. Источником этой информации являются уравнения взаимных связей между показаниями электросчетчиков, отражающие топологию схем электрических соединений. Сравнение фактических небалансов уравнений связи $\Delta_{j\text{факт}}$ с их допустимыми приемлемыми значениями $\Delta_{j\text{доп}}$ позволяет выявить подозреваемые в недостоверности результаты измерений. Условия достоверности имеют вид

$$|\Delta_{j\text{факт}}| \leq \Delta_{j\text{доп}}, \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

где r – число независимых и зависимых уравнений связи.

Фактические небалансы определяются подстановкой в уравнения связи измерений электроэнергии \bar{w}_i :

$$\Delta_{j\text{факт}} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot \bar{w}_i, \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

где n – число измерений; a_{ij} – коэффициенты, значения которых (1,0,-1) зависят от топологии электрической схемы и направлений потоков электроэнергии.

Предельные значения допустимых небалансов рассчитываются в зависимости от относительных допустимых погрешностей измерений δ_i и показаний электросчетчиков \bar{W}_i :

$$\Delta_{j\text{доп}} = \left(\sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot (\delta_i \bar{W}_i)^2 \right)^{1/2}, \quad j = 1, 2, \dots, r.$$

Следующим этапом контроля достоверности является локализация недостоверных измерений и замещение их наиболее вероятными значениями. Реализация методов контроля достоверности и повышения точности измерений электроэнергии, использующая топологическую избыточность схем

электрических соединений, возможна на базе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии в электрических сетях и на промышленных предприятиях.

УДК 621.32

Эффективность прогнозирования электропотребления в наружном освещении

Козловская В.Б., Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость прогнозирования расхода электроэнергии наружного освещения связана с развитием города. Создаются новые линии наружного освещения, а также происходит модернизация уже существующих осветительных установок. На точность прогноза влияют исходные данные. К основным эксплуатационным характеристикам и технико-экономическим параметрам наружного освещения относятся:

- продолжительность включения осветительных установок;
- режим работы (вечерний, ночной);
- протяжённость сетей освещения;
- количество светильников, их тип;
- установленная мощность светильников;
- расходы на эксплуатацию (также расходы только на электроэнергию) и т.д.

На основании технико-экономических параметров и их изменений производится прогнозирование расхода электроэнергии на необходимый период времени (год, месяц, сутки).

Расход электроэнергии конкретной линии наружного освещения можно определить, произведя расчёт параметров режима работы этой линии. Под параметрами режима понимают напряжения узлов, активные и реактивные мощности на отдельных участках линии. Для расчёта нагрузки задаются статистическими характеристиками.

В крупных городах количество светильников значительно и возникают сложности в точном прогнозировании. Поэтому для определения планируемого годового расхода электроэнергии на нужды наружного освещения используют количество светоточек и принимают за условную светоточку светильник определённой мощности. Задаются нормы расхода по кварталам и производят расчёт электропотребления. Можно выделить два типа мероприятий, позволяющих повлиять на электропотребление:

1. замена светильников на более энергоэффективные без ухудшения при этом качества освещения;

2. изменение режима работы (переход от вечернего режима к ночному путём отключения части светильников или использование диммирования).

УДК 621.3

Основные алгоритмы управления внутренним освещением

Козловская В.Б., Гаврилович О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Системы управления внутренним освещением решают задачи экономии электроэнергии, улучшения комфортности освещения, увеличения срока службы источников света и др. Кроме того эти системы могут использоваться для мониторинга и диагностики состояния осветительных установок. Основными функциями автоматизированных систем управления внутренним освещением являются: контроль уровня естественного освещения; контроль состояния органов управления световыми приборами, контроль исправности светильников, контроль напряжения, тока, энергопотребления, характеристик качества электроэнергии, контроль наличия людей в помещении.

Для внутренних осветительных установок управление освещением предполагает ручное регулирование освещенности на рабочих местах; автоматическую фиксацию наличия людей в помещении; автоматическое обеспечение постоянной освещенности на рабочих местах с учетом интенсивности естественного света.

Основные принципы автоматизированного управления осветительными установками: одноуровневого и двухуровневого управления. В одноуровневой системе обработка информационного сигнала осуществляется на уровне контроллера. Такая система не защищена от сбоев в контроллере, при которых происходит нарушение ее работы, поэтому одноуровневые системы управления следует применять для одной или нескольких групп близко расположенных светильников. Принцип двухуровневого управления применяют для централизованного управления. Такая система содержит несколько контроллеров первого уровня, расположенных около управляемых осветительных установок. Централизованное управление второго уровня осуществляется с центрального поста ПЭВМ. Такая система сохраняет частичную работоспособность при отказе любых ее элементов и предоставляет большие возможности по интеграции управления освещением с другими информационными системами. В состав системы входит ПЭВМ центрального поста, контроллеры локальных систем управления освещением, датчики и исполнительные устройства.

Исследование эффективности применения силовых активных фильтров для компенсации реактивной мощности и симметрирования сетевых токов

Збродыга В.М., Зеленкевич А.И., Кулаковский Д.А.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

С появлением силовых активных фильтров и их промышленным освоением стало возможным не только осуществлять компенсацию реактивной мощности и мощности искажений, потребляемых из четырехпроводной трехфазной сети переменного напряжения линейными и нелинейными трехфазными активно-реактивными нагрузками, но и одновременно симметрировать сетевые фазные токи [1; 2]. Несмотря на техническую эффективность практическое внедрение сдерживается недостаточностью существующих исследований энергоэффективности их применения.

Авторами проведен анализ электромагнитных процессов в упрощенной схеме силовых активных фильтров с релейно-векторным регулированием и количественная оценка коэффициента мощности, несимметрии сетевых фазных токов и снижения сетевых потерь мощности, достигнутых с использованием данной схемы силовых активных фильтров при питании несимметричных нелинейной и линейных нагрузок.

Исследования свидетельствуют об эффективности симметрирования сетевых фазных токов и компенсации реактивной мощности и мощности искажений с использованием указанного силового активного фильтра, что подтверждается следующими показателями: сетевым коэффициентом мощности, составляющим для линейных нагрузок не менее 0,99, а для нелинейной нагрузки – не менее 0,98; общим сетевым коэффициентом гармоник тока не более, чем 3,7% – для линейных нагрузок или 6,5% – для нелинейных нагрузок. Установлено, что с помощью указанных регулирования и схемы достигается энергосбережение, характеризующееся значениями коэффициента снижения потерь мощности в пределах от 0,23 до 0,45. При этом становится возможным (с учетом существенного уменьшения тока в нейтрали) снижение сечения нейтрального провода сети.

Литература:

1. Peng F. Harmonic and reactive power compensation based on the generalized instantaneous reactive power theory for three-phase four-wire systems // IEEE Trans Power Electronics. – 1998. – Vol. 13, N 6. – P. 1174–1181.
2. Pettersson S. Applying an LCL-filter to a four-wire active power filter // 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference. – 2006. – June, 18–22. – P. 1413–1419.

**К вопросу снижения несинусоидальности напряжений
в системах сельскохозяйственного электроснабжения**

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

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Причиной искажения синусоидальности кривой напряжения в системах электроснабжения являются токи высших гармоник, которые протекают по элементам системы и приводят к появлению высших гармоник напряжения. Значения высших гармоник напряжения зависят от величин соответствующих токов и частотных характеристик элементов сети. Высшие гармоники напряжения накладываются на синусоиду напряжения основной частоты и приводят к искажению ее формы.

Высшие гармоники неблагоприятно влияют на электрооборудование и системы электроснабжения: снижают эффективность процессов генерации, передачи и использования электроэнергии; вызывают увеличение токов и напряжений гармоник вследствие параллельного и последовательного резонансов; увеличивают скорость старения изоляции электрооборудования и сокращают вследствие этого срок его службы; вызывают ложную работу оборудования.

Снижение уровня высших гармоник можно обеспечить рациональным построением схемы электрической сети и применением специальных корректирующих устройств: линейных дросселей, пассивных и активных фильтров высших гармоник, специальных трансформаторов.

Для снижения несинусоидальности напряжений в системах сельскохозяйственного электроснабжения с малой плотностью электрических нагрузок мы считаем целесообразным применение на распределительных подстанциях 10/0,4 кВ трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток, которые устойчивы к искажающим воздействиям со стороны нагрузки, в том числе и предложенной авторами схемы [1].

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. 02.01.2010; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180–181.

УДК 621.311.1

Выбор номинальной мощности трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ промышленных предприятий

Радкевич В.Н., Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Выбор номинальной мощности силовых распределительных трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ является одной из основных задач построения рациональных систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий. Под номинальной мощностью трансформатора понимается его мощность, на которую он может быть нагружен непрерывно в течение всего срока службы при нормальных температурных условиях окружающей среды. В соответствии с ГОСТ 401-41, действовавшим до 01.07.1968 г., в СССР применялись трансформаторы с коэффициентом шкалы номинальных мощностей $k_{ин} \approx 1,35$: 100; 135; 180; 240; 320; 420; 560; 750; 1000; 1350; 1800 и 2400 кВ·А. Это позволяло полностью использовать номинальную мощность трансформаторов при коэффициенте загрузки 0,65-0,7 и перегрузке на 35-40% в послеаварийном режиме. Согласно ГОСТ 9680-77 номинальные мощности трехфазных трансформаторов напряжением (6-10)/0,4 кВ должны выбираться из следующего ряда: 100; (125); 160; (200); 250; 320; (315); 400; (500); 630; (800); 1000; (1250); 1600; (2000); 2500 кВ·А. Значения, приведенные в скобках, следует использовать только для специальных трехфазных трансформаторов, а также трансформаторов, предназначенных на экспорт. С 1961 года изготовители начали производить распределительные трансформаторы с номинальными мощностями 100; 160; 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500 кВ·А. При этом $k_{ин} \approx 1,6$, что приводит к недоиспользованию мощности трансформаторов примерно на 20-30%. Следовательно, введенная шкала не является оптимальной. Поэтому изготовители в конце XX века начали выпускать распределительные трансформаторы мощностью 800 и 1250 кВ·А. В настоящее время на Минском электротехническом заводе выпускаются трансформаторы мощностью 1250 кВ·А, которые получили широкое распространение в Беларуси и России. Однако трансформаторы мощностью 320 кВ·А не производятся. При существующем шаге шкалы $k_{ин} \approx 1,6$ при проектировании СЭС весьма сложно выбрать номинальную мощность, обеспечивающую экономически целесообразный режим работы и необходимую мощность трансформатора в послеаварийном режиме. Поэтому для повышения эффективности СЭС разных объектов необходимо провести исследования по установлению оптимальной шкалы номинальных мощностей силовых трансформаторов.

Математическая модель выбора оптимальной мощности и числа трансформаторных подстанций

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Выбор мощности и числа трансформаторных подстанций (ТП) должен быть правильным, технически и экономически обоснованным, так как он оказывает существенное влияние на рациональное построение систем электроснабжения (СЭС) различных объектов.

При построении математической модели выбора оптимальной мощности и числа ТП был выделен набор конструктивных параметров x_1, x_2, \dots, x_n , варьированием которых получают различные варианты СЭС проектируемого объекта, а также набор неконтролируемых параметров y_1, y_2, \dots, y_k , которые не могут быть произвольно изменены и находятся вне контроля. Поиск оптимальной мощности и числа ТП состоит в нахождении наилучшей возможной комбинации параметров (x_1, x_2, \dots, x_n) , при которой выбранный критерий сравнения вариантов $\Phi(x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_k)$ достигает максимума (минимума), т.е. своего экстремального значения. При этом в математической модели присутствует набор ограничений $R_i(x_1, \dots, x_n; y_1, \dots, y_k) \leq 0$, где $i = 1, \dots, m$, которые возникают из рекомендаций и требований нормативно-технических положений, предъявляемых к некоторым характеристикам ТП и СЭС, и, в свою очередь, уменьшают количество рассматриваемых вариантов.

К конструктивным параметрам были отнесены следующие: число и мощность силовых трансформаторов, месторасположение ТП, конфигурация схемы электроснабжения и сетей до 1 кВ, связывающих ТП.

Набор основных неконтролируемых параметров был выбран следующим: топология проектируемого объекта, информация об условиях окружающей среды, номинальное напряжение линий, информация о потребителях электроэнергии, тип нагрузки и ее график, число часов использования максимума нагрузки, сведения о ставках тарифа на электроэнергию, стоимость оборудования, его технические характеристики и показатели надёжности, сроки строительства и эксплуатации ТП, темпы роста нагрузки. В разработанной математической модели используется один из наиболее распространенных критериев – минимум приведенных затрат; однако, критериями могут служить капитальные затраты на строительство принятого варианта, надежность, безопасность, простота обслуживания и другое. Критерии могут быть как количественные, так и качественные, имеющие значение при выборе оптимальной мощности и числа ТП.

Факторы, влияющие на электропотребление наружного освещения

Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Расход электроэнергии на нужды наружного освещения определяется:

- продолжительностью включения осветительных установок (время включения и отключения);
- режимом работы;
- уровнем напряжения в линии наружного освещения;
- типом источников света.

Продолжительность включения наружного освещения определяется на основании суточных графиков в зависимости от поры года, месяца, дня. Графики разрабатываются на основании данных гидрометеорологического центра и указаний по эксплуатации установок наружного освещения городов, поселков и сельских населённых пунктов. По данным УП «Мингорсвет» годовое время использования установок наружного освещения составляет 3880 ч.

Возможны отклонения от утверждённых графиков. При пасмурной погоде включение и отключение наружного освещения допускается осуществлять с временным смещением в среднем до 15 минут (включать раньше на 15 минут и отключать позже на 15 минут).

Также необходимо учитывать подключение праздничной иллюминации в определённые периоды года, что связано с изменением общей осветительной нагрузки.

Изменение режима работы осветительных установок производится для экономии электроэнергии и реализуется путем перехода от вечернего режима к ночному с помощью отключения части светильников или диммированием.

Уровень напряжения непосредственно влияет на режимные показатели источников света, которые зависят от вида вольт-амперных характеристик. Поэтому работа источника света с напряжением, превышающим номинальное значение, вызывает повышенный ток и расход электроэнергии. Такой режим также приводит к снижению срока службы источника света. Необходимо выявлять линии наружного освещения, где следует применять групповое регулирование напряжения с помощью регуляторов (стабилизаторов) напряжения. Регулирование напряжения может осуществляться автоматически или ручным способом; плавно или дискретно.

Структура систем электрического освещения помещений

Гаврилович О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Система электрического освещения представляет собой совокупность взаимосвязанных технических устройств, предназначенных для искусственного освещения помещений зданий и наружных объектов. Искусственное освещение применяется в помещениях с недостаточным количеством естественного освещения для создания благоприятных условий и комфорта для глаз человека. Искусственное освещение в помещениях выполняется двух видов: общее и комбинированное.

Общее освещение подразумевает расположение светильников над всей площадью помещения. Оно может быть равномерным (если неизвестно расположение рабочих зон либо предполагается их перемещение) и локализованным. Комбинированное освещение сочетает в себе общее и местное освещение, расположенное непосредственно на рабочих местах. Системы электрического освещения подразделяются на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. При выборе системы освещения нужно исходить из характера зрительной работы, выполняемой в помещении, учитывая блескость и затенение рабочих поверхностей технологическим оборудованием и находящимися в помещении людьми. Рабочее освещение создает нормальную освещенность как в помещениях, так и вне сооружений на рабочих местах. Аварийное освещение обеспечивает необходимую освещенность при отсутствии рабочего в аварийных ситуациях. Аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное освещение. Они могут быть выполнены светильниками, которые включены одновременно с осветительными приборами рабочего освещения либо же которые будут автоматически включаться при отсутствии питания рабочего освещения. Светильники освещения безопасности в помещениях могут использоваться для эвакуационного освещения. Сеть аварийного эвакуационного освещения должна питаться от автономной сети или иметь запасной источник электрической энергии. Охранное освещение является разновидностью рабочего освещения и применяется для освещения периметра охраняемой территории в ночное время. Дежурное освещение применяется в нерабочее время и при необходимости может быть выполнено некоторой частью светильников рабочего или аварийного освещения, обеспечивающих минимальную освещенность для несения дежурств и охраны.

**К вопросу обеспечения техники безопасности
при работе электроустановок в шахтах**

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Электрооборудование, кабели и системы электроснабжения в процессе эксплуатации должны гарантировать электро-, взрыво-, пожаробезопасность работников шахты. В шахтах должны применяться сети с изолированной нейтралью трансформаторов.

Для питания электрических машин и аппаратов в подземных выработках применяется напряжения не более 6кВ (для стационарных потребителей, передвижных подстанций), не более 1140В (для передвижных электроприемников), не более 220В (для ручных инструментов, для питания подземных осветительных установок), не более 60В (для искробезопасных цепей дистанционного управления и сигнализации комплектного распределительного устройства, если ни один из проводников этой цепи не присоединяется к заземлению), не более 42В (для искробезопасных цепей дистанционного управления стационарными и передвижными машинами, для ручных переносных светильников, питаемых от искробезопасных источников). Защита работников от поражения электрическим током должна осуществляться с применением защитного заземления и аппаратов защиты от утечек тока с автоматическим отключением поврежденной сети напряжением до 1140В. Общее время отключения поврежденной сети напряжением 380В, 660В и контактных сетей не должна превышать 0,2 с; напряжением 1140В – 0,12с; для сетей 127В и 220В время срабатывания защиты от токов утечек сетей – не более 0,1 с.

Схемы управления забойными машинами должны обеспечивать, непрерывный контроль заземления корпуса машины, защиту от самопроизвольного включения аппарата в случае замыкания или обрыва провода внешней цепи управления, нулевую защиту; также запрещается применение однокнопочных постов для управления магнитными пускателями (кроме случаев, когда эти посты применяются только для отключения). Для обеспечения безопасной работы в шахтах и своевременного оповещения работников в случае аварийных ситуаций, каждая шахта должна быть оборудована системой фиксированной телефонной связи, системой общешахтного аварийного оповещения, местными системами связи, оперативной и предупредительной сигнализации на технологических участках (подъеме, транспорте, очистных забоях).

Шахтные передвижные трансформаторные подстанции. Особенности эксплуатации

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Применение передвижных комплектных трансформаторных подстанций (ПКТП) позволяет периодически приближать их к электропотребителям и тем самым обеспечивать благоприятные условия работы электроприемников забойного оборудования. Электроснабжение потребителей осуществляется от передвижных трансформаторных подстанций, присоединяемых к распределительной сети с помощью комплектного распределительного устройства, включение и отключение которого должно осуществляться дистанционно с места установки ПКТП. Подстанции должны размещаться в закрепленных и удобных для обслуживания местах, быть защищенными от воды и механических повреждений. Места размещения подстанций должны быть оснащены аппаратурой, отключающей питающую сеть при превышении допустимой концентрации метана. Корпуса ПКТП выполняются из несгораемых материалов с достаточно жесткой конструкцией и оснащены жесткой сцепкой для их транспортирования. ПКТП на стороне высшего напряжения должны иметь предохранители для защиты трансформаторов, а на стороне низкого напряжения должны быть оборудованы автоматическими выключателями и аппаратами защиты от замыкания на землю (от утечки тока). Для ПКТП обязательным является надежное фиксирование приводов разъединителя и выключателя (невозможность самопроизвольного включения и отключения) и наличие механических указателей положения приводов, отчетливо видимых персоналу, наличие отметок на токоведущих частях, указывающих места наложения переносных заземлений. Ключи от запирающих устройств со стороны высшего напряжения ПКТП не должны подходить к запирающим устройствам со стороны низкого напряжения. Осмотр ПКТП напряжением выше 1000В (исправность механических блокировок и запирающих устройств, надежность контактов заземления, надежность крепления отходящих кабелей, исправность механизмов включения автоматических выключателей) без отключения от сети производится ежемесячно, а также после каждого перемещения ПКТП. Соединение ПКТП и распределительных пунктов участков должно осуществляться бронированным экранированным кабелем повышенной гибкости и прочности.

**Экологическое влияние электрических и магнитных полей
в системах электроснабжения**

Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе жизнедеятельности человек постоянно находится в зоне действия естественных и искусственных излучений. Степень биологического воздействия электромагнитных полей (ЭМП) на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности и интенсивности поля, режима его воздействия (импульсное, непрерывное).

Электрическая энергия за короткий срок вошла во все сферы жизнедеятельности человека, позволила совершить подлинный переворот во многих производственных процессах, изменить условия труда. Современные производства насыщены микропроцессорной техникой, электрическими приборами, средствами связи и т.п. Все это привело к тому, что человек длительное время подвергается воздействию ЭМП. Электрические устройства выполняются таким образом, что при наличии естественного электромагнитного фона обеспечивается нормальное их функционирование. В современных электроэнергетических системах выработка, передача и потребление электрической энергии осуществляется на высоком, а иногда и сверхвысоком напряжениях, по проводникам протекают большие токи. Электрические поля промышленной частоты в основном создаются воздушными линиями, сборными шинами подстанций, трансформаторами, высоковольтными аппаратами. Способность технических средств (ТС) качественно функционировать в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС называется электромагнитной совместимостью (ЭМС). В последнее время вопросы ЭМС, из-за повсеместно увеличивающегося электромагнитного загрязнения окружающей среды, приобретают большое значение. Особое место среди общих помех занимают кондуктивные помехи, распространяющиеся по элементам систем электроснабжения. Особенность этих помех заключается в том, что они от источника помех к приемнику передаются с малыми потерями, а иногда даже происходит их усиление. Эти помехи тщательно изучаются и нормируются в системах электроснабжения общего назначения (ГОСТ 13109-97). Исследования показали, что электробытовые приборы и электропроводки в квартирах также опасны для здоровья человека. Вблизи некоторых бытовых приборов, не имеющих специальной защиты, возникают сильные электромагнитные поля, избежать которые практически невозможно. Поэтому тщательно разрабатываются санитарно-

эпидемиологические правила и нормативы для предотвращения влияния электромагнитных полей на человека.

УДК 624.97

Обеспечение энергетической безопасности Республики Беларусь путем использования собственного ветроэнергетического потенциала

Горноста́й А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет,

*Институт транспорта и связи, Латвия

В связи с тем, что Республика Беларусь не обладает достаточными собственными топливно-энергетическими ресурсами, актуальным является использование возобновляемых источников энергии, в частности собственного ветроэнергетического потенциала.

Согласно исследованиям отечественных энергетиков и климатологов, на территории Беларуси выявлено около 1840 площадок с теоретически возможной мощностью 2,4 тыс. МВт, где можно устанавливать ветроэнергетические установки (ВЭУ) и даже создавать ветроэнергетические парки с годовой выработкой электроэнергии в 6,5 млрд. кВт/ч. Эти площадки представляют собой ряды холмов высотой от 250 м над уровнем моря, где скорость ветра колеблется от 5 до 8 м/с. На каждом из них можно разместить от 3 до 20 ВЭУ.

По оценкам некоторых белорусских ученых (Лаврентьев Н.А., Жуков Д.Д.) ветроэнергетический потенциал Беларуси соответствует требованиям коммерческой целесообразности и внедрения ВЭУ и приближается к уровню многих восточно-европейских стран, где ветроэнергетика успешно развивается уже много лет [1].

Как показал 10-летний опыт коммерческой эксплуатации двух ветропарков Латвии, экономически выгоднее применять энергию ветра со среднегодовыми фоновыми скоростями ветра выше 5 м/с [2]. Поэтому каждому внедрению ВЭУ должно предшествовать детальное обследование места строительства. На первом этапе выбора площадки следует оценить ее ветроэнергетический потенциал. Перспективными местами для размещения ВЭУ являются возвышенные районы большей части севера и северо-запада республики, центральная зона Минской области, а также Витебская возвышенность.

Литература:

1. Лаврентьев Н., Жуков Д. Основные виды возобновляемой энергии. Потенциал Беларуси. // Энергетика и ТЭК. – 2003. – № 7.

2. Ролик Ю.А., Горностай А.В. Анализ основных экономических показателей работы ветроустановок по результатам опыта коммерческой эксплуатации ветропарков Латвии. // Энергетика. – 2015. – № 2.

УДК 624.97

Об одном способе повышения чувствительности устройства для индикации полей в электроустановках

Горностай А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет,

*Институт транспорта и связи, Латвия

Для повышения чувствительности устройств для регистрации полей в работающих электроустановках могут использоваться различные способы, зависящие от технической реализации устройства. Одним из таких способов может быть использование магнестрикционного покрытия световодов с противоположным эффектом магнестрикции в каждом из двух плеч интерферометра Маха-Цандера [1]. Это позволяет сформировать сигнал рассогласования датчика при более низком пороге напряженности поля электроустановки и повысить чувствительность устройства.

Нами предложена техническая реализация устройства повышенной чувствительностью для индикации полей в электроустановках. Устройство содержит датчик магнитного поля, выполненный на датчике Холла, питаемом источником переменного тока повышенной частоты, и регулируемом источнике постоянного тока, дифференциальный усилитель, блок питания, электронный ключ и блок звуковой сигнализации. Для повышения чувствительности устройство дополнительно содержит датчик электрического поля, выполненный также на датчике Холла, питаемом своим источником переменного тока повышенной частоты, и блоке эталонных напряжений, второй дифференциальный усилитель, логический элемент НЕ и логический элемент ИЛИ; при этом входы второго дифференциального усилителя соединены с выходами датчика электрического поля, а выход – со входом логического элемента НЕ, выход которого через логический элемент ИЛИ подключен к управляющему входу электронного ключа [2].

Литература:

1. Горностай А.В. Устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения / А.В. Горностай, А.А. Гончар, И.Ю. Горновский, Н.Н. Кульчинский – патент Республики Беларусь ВУ 9658, опубл. 30.10.2013, Бюлл. № 5. – С. 227.

2. Горноста́й А.В. Устройство регистрации полей электроустановки / А.В. Горноста́й, Ю.А. Ролик – Патент Республики Беларусь ВУ 10572, опубл. 28.02.2015, Бюлл. №1, 2015. – С. 161.

УДК 620.9

Возобновляемые источники энергии в энергетике и на транспорте Беларуси

Олешкевич М.М., Прокопенко Л.В, Руденя А.С.
Белорусский национальный технический университет

Собственное годовое потребление топлива Беларуси составляет 38-40 млн. т у.т. Топливо расходуется на производство электроэнергии, отопление и технологический нагрев, а также на работу транспорта. На производство электроэнергии (и отпуск тепла ТЭЦ) расходуется 23,4 % этого топлива. Импортируемая электроэнергия эквивалентна еще 3,7 % общего расхода топлива. На отопление и технологический нагрев (без учета систем центрального отопления от ТЭЦ) расходуется 37,1 % всего потребляемого страной топлива, в том числе 7,3 % составляют традиционные местные энергоресурсы (дрова, торфобрикеты). 35,9 % топлива расходуется транспортом, причем собственная нефть и производные виды топлива из этой нефти (бензин, дизельное топливо) в энергетическом балансе страны составляют 6,4 %.

Потребление электроэнергии в Беларуси составляет 35-37 млрд. кВт. ч в год, собственное производство электроэнергии за счет импортного газа – 30-32 млрд. кВт.ч, импорт электроэнергии – 2-5 млрд. кВт. ч. Производство электроэнергии за счет собственных энергоресурсов составляет: за счет гидроэнергии рек – 0,3 %, энергии ветра – 0,02 %, энергии редуцирования газа в турбодетандерных энергоустановках - 0,2 %, за счет энергии биогаза в биогазогенераторных комплексах – 0,1 %.

Исследованы технико-экономические показатели (удельные капитальные затраты, сроки строительства, сроки окупаемости, возможная экономически целесообразная выработка электроэнергии, доля общего потребления страны) энергоустановок на возобновляемых источниках энергии в климатических условиях Беларуси. Выполнено их сравнение с ядерной энергетикой.

Наиболее эффективными направлениями энергетики являются ветроэнергетика и энергетика биомассы со сроками строительства не более 1-2 лет и сроками окупаемости менее 8 лет. Ветроэнергетика и энергетика биомассы в по своим технико-экономическим и экологическим показателям выгоднее ядерной энергетики, а также гидро- и солнечной энергетики.

Экономичность светодиодных источников света

Сацукевич В.Н., Михайлова Я.В.

Белорусский национальный технический университет

В помещении прямоугольной формы механосборочного цеха общей площадью 4320 м², длиной – 72 м, шириной – 60 м и высотой – 8 м, с высотой рабочей поверхности над полом равной 0,8 м необходимо обеспечить нормируемую освещенность $E_n=300$ лк. Изначально на предприятии использовались светильники РСП05-700 с лампами типа ДРЛ, кривой силы света типа Д, мощностью одной лампы 700 Вт и световым потоком в 41000 лм. С целью энергосбережения данные светильники будут заменены на более экономичные промышленные светодиодные светильники *DS-prom 300 W*, с кривой силы света типа Д, мощностью 300 Вт, световым потоком в 35000 лм, а также сроком службы в 50000 ч. В результате расчетов было определено количество светильников необходимых для обеспечения заданной освещенности: 48 шт. – светильников с лампами ДРЛ, 56 шт. – промышленных светодиодных светильников. Был произведен расчет капитальных вложений и годовой экономии электроэнергии при использовании промышленного светодиодного светильника, результаты которого сведены в таблицу, приведенную ниже.

Цена одного светильника, руб.	1345950	5520000
Общая стоимость оборудования, руб.	64605600	309120000
Стоимость строительно-монтажных работ, руб.	3230280	15456000
Капиталовложения в мероприятие, руб.	67835880	324576000
Годовой расход ЭЭ, кВт·ч	79002,00	35910,00
Световая отдача, лм/Вт	58,57	116,67
Экономия ЭЭ, кВт·ч/год	287,12	
Годовая экономия ЭЭ в стоимостном выражении (при цене ЭЭ 1300 руб/кВт·ч)	372992,80	
Относительная экономия электроэнергии, %	44,78	
Простой срок окупаемости, лет	14,80	

Таким образом, несмотря на то, что светодиодные источники света обладают рядом преимуществ, их высокая стоимость и ряд факторов, влияющих на срок их службы, не позволяет на данном этапе их развития говорить о повсеместном внедрении светодиодного освещения на промышленных предприятиях.

УДК 621.3

**Электромагнитная совместимость электрических аппаратов
и электрооборудования в схемах электроснабжения
промышленного предприятия**

Ярошевич Т.М.

Белорусский национальный технический университет

При построении схем электроснабжения промышленных предприятий следует учитывать экономичность электрооборудования, надежность, безопасность, обеспечения качества электроэнергии и уровня напряжения потребителей.

В схемах электроснабжения электрооборудование, аппараты защиты, приборы, линии передачи электроэнергии и другие устройства находятся в электромагнитной среде; при этом они могут являться источниками электромагнитных помех, и в тоже время на их могут воздействовать электромагнитные помехи других устройств. Все это может неблагоприятно воздействовать на электрооборудование и аппараты защиты, привести к снижению надежности электроснабжения, увеличению потерь электроэнергии, ухудшению качества электроэнергии и т.п.

Поэтому задача электромагнитной совместимости – обеспечить способность электрооборудования, электрических аппаратов и других приборов нормально функционировать в электромагнитной среде и не создавать помех для другого оборудования.

При обеспечении электромагнитной совместимости необходимо ослабить излучаемые источником электромагнитные поля и предотвратить проникновение этих полей через чувствительные элементы. Для этого используют устройства в виде ограничителей напряжения, фильтров и экранов. Они могут быть установлены непосредственно у чувствительных элементов или у источника.

Ограничители перенапряжения служат для снижения перенапряжения в электрических и электронных системах, вызванных молниями, разрядами статического электричества коммутационных процессов и другими причинами.

Фильтры представляют собой устройство, защищающее от помех из сети, и снижающее уровень помех, исходящих от приборов питания.

Экранирование служит для ослабления электромагнитных полей в целях исключения проникновения и воздействия таких полей на кабели, приборы, помещения и здания, а также подавления исходящих из электрических и электронных промышленных средств и устройств помех; оно также снижает напряженность.

Учет вытеснения токов ротора асинхронных электродвигателей при расчетах группового самозапуска электродвигателей собственных нужд

Бобко Н.Н., Новак А.В., Ерохов Е.Л., Баран А.Г.
Белорусский национальный технический университет

В вычислительных системах для оперативных расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд непосредственно на ТЭС предусматривается индивидуальный учет вытеснения токов ротора путем задания для каждого двигателя зависимостей активного сопротивления и реактивного сопротивления рассеяния контуров ротора от скольжения функциями $K_r(s)$, $K_x(s)$. В [1] рассматривается возможность выполнения расчетов группового самозапуска с использованием для учета вытеснения токов ротора обобщенных зависимостей $K_r(s)$, $K_x(s)$, одинаковых для всех электродвигателей, участвующих в самозапуске.

Обобщенные зависимости получены на базе имеющихся в справочной литературе ОРГРЭС индивидуальных зависимостей методом наименьших квадратов с учетом частот их использования. На рисунках 1 и 2 приведены результаты расчета самозапуска группы из 10 электродвигателей с использованием индивидуальных и обобщенных зависимостей, различающиеся по длительности процессов не более чем на 10–20 %.

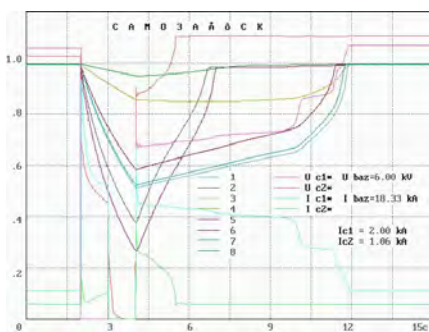


Рис. 1

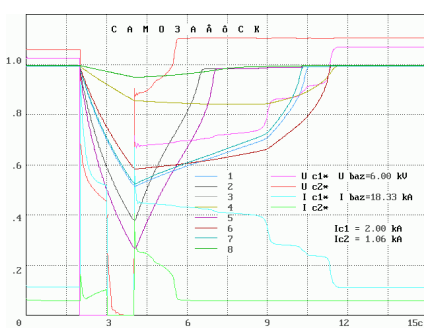


Рис. 2

Литература:

1. Новаш В.И., Миначев Р.Ф. Об индивидуальном учете вытеснения токов ротора при расчетах группового самозапуска асинхронных электродвигателей собственных нужд ТЭС // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2003. – № 6. – С. 22–27.

**Методы отстройки
микропроцессорных дифференциальных защит
силовых трансформаторов от бросков тока намагничивания**

Булойчик Е.В., Беседа А.С., Гавриелок Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Дифференциальная защита является защитой с абсолютной селективностью, действующей без выдержки времени. Наличие гармоник низшего порядка может выступать критерием срабатывания защиты, а содержание гармоник высшего порядка являться критерием проявления броска тока намагничивания (БНТ) и использоваться для блокировки действия защиты.

Наиболее простой подход – использование амплитуды тока второй гармоники в дифференциальном токе по данной фазе в качестве сигнала комбинированного гармонического тока и амплитуды основной гармоники в дифференциальном токе по той же фазе в качестве комбинированного дифференциального тока. Другой способ – использовать в качестве комбинированного дифференциального тока действующее значение.

Существует два метода отстройки на основе оценки кривой тока.

Первый способ использует в качестве критерия идентификации БНТ значение пауз между импульсами тока. Второй – производит оценку знака максимальных значений тока и скорости затухания БНТ.

Также существует ряд иных способов, основанных на оценке параметров математической модели. Производится вычисление либо определенных параметров модели на основе информации об измеренных величинах, либо производится вычисление ряда величин на выводах трансформатора, а затем их сравнение с измеренными величинами.

Метод вычисления и оценки значения дифференциальной мощности.

Осуществляется вычисление и контроль значения дифференциальной мощности. Сигналом, оценка которого производится, здесь является разность между значениями мгновенных мощностей на выводах трансформатора. Необходимо измерение токов и напряжений со всех сторон трансформатора, однако не требуется выполнение учета группы соединения его обмоток и отличия коэффициентов трансформации, используемых защитой трансформаторов тока. Надежность идентификации БНТ может быть повышена путем компенсации активных потерь в трансформаторе.

Метод вычисления и оценки значения магнитной индукции.

Отличие режима внутреннего короткого замыкания от режимов БНТ и перевозбуждения производится на основе вычисления магнитной индукции в сердечнике. Преимуществом способа является то, что в нем взаимосвязаны проблема, вызывающая БНТ, и параметр, используемый для его иден-

тификации.

УДК 621.316.35

Термозависимые элементы в механическом расчете гибких проводов

Бладыко Ю.В., Сороко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Точный расчет механических напряжений возможен при представлении проводов гибкой упругой нитью, что позволяет кардинальным образом решить задачу учета упругих и температурных удлинений провода в различных режимах климатических воздействий. Поэтому в основу разработанного на кафедре "Электрические станции" БНТУ векторно-параметрического метода механического расчета гибкой ошиновки распределительных устройств и проводов воздушных линий (ВЛ) положена расчетная модель проводов в виде гибкой упругой нити [1].

По разработанному алгоритму разработана модифицированная программа расчета статики проводов. Она использована для расчета монтажных кривых, представляющих собой зависимость тяжений и стрел провеса провода от температуры.

Расчеты показали, что чем меньше значение коэффициента температурного удлинения провода, тем меньше изменение тяжения и стрел провеса при изменении температуры. Поэтому предпочтительнее строительство ВЛ с композитными проводами, имеющими наименьшие значения коэффициента температурного удлинения провода.

Что касается применения адаптивной линейной арматуры (АЛА), то ее влияние на уменьшение изменений тяжений и стрел провеса несущественно из-за малой длины АЛА. Так, эквивалентный коэффициент температурного удлинения системы «провод и АЛА» равен

$$\alpha_t = \frac{\alpha_{t1} \cdot l_1 + \alpha_{t2} \cdot l_2}{l_1 + l_2},$$

где α_{t1} - коэффициент температурного удлинения провода длиной l_1 ;

α_{t2} - коэффициент температурного удлинения АЛА длиной l_2 .

При отрицательном коэффициенте температурного удлинения АЛА и $\alpha_{t2} \approx -\alpha_{t1} \cdot \frac{l_1}{l_2}$ влияние температуры можно компенсировать.

Литература:

1. Стрелюк М. И., Сергей И. И., Бладыко Ю. В. Расчет на ЭВМ статики гибкой ошиновки РУ // Науч. и прикладные проблемы энергетики: Сб. тр. / Белорус. политехн. ин-т. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – Вып. 12. – С.

Возможности применения мобильных устройств с операционной системой Android 4.1 в учебном процессе

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Существует много программ, позволяющих моделировать работу электронных и электротехнических устройств. Однако, многие из них требуют знания технического английского языка, имеют сложный интерфейс и предусматривают предварительное обучение студентов. Такие занятия необходимо проводить в компьютерном классе. С учётом недостатка 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 достаточно много компьютерных программ для среды Android, дополняющих практические занятия и лабораторные работы.

Так, программа ElectroDroid (базовая электроника) позволяет рассчитывать: условия резонанса; частоты среза RC, LC, RL фильтров; делители напряжения; усилители на ОУ (операционный усилитель); потери напряжения в силовых кабелях и проводах; катушки индуктивности 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. Есть много готовых Flash-анимаций, которые можно адаптировать к различным темам занятий и просматривать в мобильных устройствах.

Лабораторные работы при использовании таких моделей приобретают иную направленность, позволяют акцентировать внимание обучаемых не на принципе, а на особенностях работы реальных устройств. Практическая работа в лаборатории значительно сокращается по времени, экономится

ресурс лабораторных стендов и электроэнергии.

УДК 621.3

Влияние многопульсных трёхфазных выпрямителей на питающую сеть

Гавриленко С.Д., Жорова М.И.

Белорусский национальный технический университет

Существенное влияние на трехфазную сеть электроснабжения оказывают мощные потребители электроэнергии, обеспечиваемые постоянным током от неуправляемых и 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 идеально сглаженными. Их длительность t_n и длительность паузы t_p зависела от схемы выпрямителя и величины угла управления α .

Для трёхфазного мостового выпрямителя, являющегося шестипульсным, при угле управления $\alpha = 0^\circ$ доли высших гармоник по отношению к 1-ой полезной гармонике соответствовали известному соотношению $1/v$, где v – номер гармоники. При этом отсутствовали гармоники, кратные трём, т.е. 3-я, 9-я, 15-я, 21 и т.д. Отсутствие этих гармоник является одним из основных достоинств данного выпрямителя, широко применяемого для обеспечения постоянным током мощных потребителей электроэнергии. Однако при углах управления, отличных от нуля, эти гармоники присутствуют и при угле управления $\alpha = 60^\circ$ достигают больших величин: 3-я – 67,1%; 9-я – 22,4%; 15-я – 13,4%; 21-я – 9,6% по отношению к полезной первой на частоте 50 Гц. В этом случае данный выпрямитель теряет одно из своих основных достоинств, что необходимо учитывать при защите питающей сети. Сетевые фильтры должны быть настроены на частоты гармоник до 21-й включительно. Максимальное значение угла управления по возможности следует ограничивать значением $\alpha = 60^\circ$.

Исследовался гармонический состав импульсов потребляемого тока для двенадцатипульсных неуправляемых выпрямителей. Доли высших гармоник в процентах для таких выпрямителей оказались незначительными: 3-я – 0%; 5-я – 5,3%; 7-я – 7,7%; 9-я – 0%; 11-я – 9,0%; 13-я – 7,7%; 15-я – 0%; 17-я – 1,5%; 19-я – 1,4%; 21-я – 0%; 25-я – 4%. В данном случае необходи-

мости в применении сетевых фильтров нет.

УДК 621.317

Обоснование усовершенствованного метода амперметра-вольтметра свойством взаимности

Куцыло А.В.

Белорусский национальный технический университет

Метод амперметра-вольтметра применяется для измерения электрического сопротивления при постоянном токе и полного сопротивления при синусоидальном токе. Метод основан на определении сопротивления как отношения напряжения к току на участке электрической цепи, не содержащем источников электродвижущей силы. При измерении электрического сопротивления напряжение и ток должны быть постоянными, а при измерении полного сопротивления – синусоидальными. В учебной и справочной литературе приводятся две схемы метода. Одна из схем (с последовательным соединением амперметра и объекта измерений) используется при измерении относительно больших сопротивлений, а другая (с подключением вольтметра параллельно объекту измерений) – при измерении относительно малых. Недостатком метода является влияние входного сопротивления амперметра или вольтметра, в зависимости от схемы, на результат измерений. В работе [1] рассматривается усовершенствованный метод амперметра-вольтметра для схемы измерения относительно малых сопротивлений. Усовершенствование метода заключается в дополнительном измерении тока при подключении вольтметра параллельно амперметру и в использовании для определения сопротивления именно этого значения тока, а также напряжения, полученного в исходной схеме. Автором работы [1] приведены выражения, доказывающие, что при этом влияние входного сопротивления вольтметра на результат измерений отсутствует. Однако эти выражения не раскрывают идею усовершенствованного метода.

Выполненный анализ усовершенствованного метода амперметра-вольтметра показывает, что основой этого метода является известное из теоретических основ электротехники свойство взаимности линейных электрических цепей. Переключение вольтметра параллельно амперметру фактически означает перенос источника ЭДС (понимаемого как идеальный) из ветви с амперметром в ветвь объекта измерений, при этом ток через амперметр равен току объекта измерений в исходной схеме, что и исключает влияние входного сопротивления вольтметра.

Литература:

1. Ольшовец, П. Модификация косвенных методов определения пара-

УДК 621.3

**Анализ цепи с индуктивно связанными элементами
на основе баланса мощностей**

Куцыло А.В.

Белорусский национальный технический университет

Ранее [1] рассмотрен некомплексный метод анализа простых цепей синусоидального тока на основе баланса активных и реактивных мощностей, существо которого заключается в следующем. Элементы цепи задаются своими параметрами: полным сопротивлением Z или полной проводимостью Y , а также сдвигом фаз φ . Задав произвольным значением тока (напряжения) в наиболее удалённом от источника элементе цепи, нужно рассчитать активные и реактивные мощности всех участков и элементов цепи и всей цепи. При этом расчёте производится арифметическое сложение активных и алгебраическое сложение реактивных мощностей. На заключительном этапе выполняется перерасчёт мощностей элементов цепи в соответствии с действительным напряжением источника. Рассмотренный подход может быть использован также для анализа такой цепи с индуктивно связанными элементами, как трансформатор без стального магнитопровода (воздушный трансформатор). В данном случае необходимо дополнительно использовать параметр X_M – сопротивление взаимной индукции. Возможны два варианта выполнения анализа данной цепи.

В первом варианте сначала выполняется эквивалентное преобразование схемы из двух контуров с индуктивной связью в эквивалентную схему без индуктивной связи (устранение, или развязка индуктивной связи). Получается схема, состоящая из резистивных, индуктивных и, возможно, квазиёмкостных элементов (при условии, что для одного из элементов получается $X_L - X_M < 0$). Далее следует выполнить расчёт так, как это было рассмотрено для цепей без индуктивных связей.

Во втором варианте расчёт выполняется без устранения индуктивной связи. Особенностью этого варианта является необходимость расчёта мощностей, которые соответствуют идеальным источникам ЭДС, учитывающим электродвижущие силы взаимной индукции в индуктивно связанных элементах. Нужно учитывать, что знаки активных мощностей этих источников одинаковы, а знаки реактивных мощностей противоположны.

Литература:

1. Куцыло, А.В. Анализ простых цепей синусоидального тока на основе

баланса мощностей. / А.В. Куцьло // Наука – образованию, производству, экономике. Материалы 12-й Междунар. науч.-техн. конф.: В 4-х томах. – Минск: БНТУ, 2014. – Том 1. – С. 26.

УДК 621.38

Электронное моделирование элементов и систем воздушных судов

Исаеня Н.В., Полуянов М.И.

Белорусская государственная академия авиации

Функциональные системы воздушных судов (автоматического управления полетом, электроснабжения и другие) представляют собой комплексы сложных устройств, исследовать характеристики и режимы работы которых в лабораторных условиях учреждения образования затруднительно. Поэтому для изучения структур, принципов действия и характеристик блоков регулирования, защиты, контроля и управления, а также исследования режимов работы систем электроснабжения с помощью программ Electronics Workbench и Multisim построены и используются в учебном процессе электронные модели различных устройств и самих систем электроснабжения постоянного и переменного тока. Эти модели позволяют изучить методы и средства для обеспечения электроэнергией потребителей воздушных судов в разных ненормальных и аварийных режимах и используются в процессе изучения дисциплины «Системы электроснабжения воздушных судов». Детальное представление о поведении систем автоматического управления полетом, а также влиянии характеристик элементов этих систем на изменения таких параметров полета, как углы крена и тангажа, высота и курс самолета дают электронные модели элементов и систем автоматического управления полетом на базе программы Matlab. Используя стандартные звенья этой программы, и задавая для них различные значения параметров, в лабораторных работах по курсу «Системы автоматического управления полетом» изучают работу каналов крена, тангажа и курса, а также их совместную работу и взаимное влияние друг на друга при наличии перекрестных связей между ними. Комбинируя параметры звеньев перечисленных каналов автоматического управления и коэффициенты связей между ними, находят оптимальные значения параметров, обеспечивающие наилучшую динамику полета воздушного судна. Таким образом, структурное моделирование с использованием пакета Matlab позволяет детально исследовать работу систем автоматического управления полетом воздушных судов.

**Учет человеческого фактора при формализации задач
принятия диспетчерских решений**

Домников С.В., Згаевская Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Работа непосредственно касается задачи принятия решений по оперативным заявкам на вывод в ремонт основного оборудования электроэнергетической системы (ЭЭС) при краткосрочном планировании их режимов.

Эта задача и в настоящее время выполняется персоналом режимных подразделений диспетчерской службы ЭЭС на интуитивном уровне с привлечением машинных программ для проверки некоторых режимных ограничений. Невысокий уровень автоматизации обуславливает большую трудоемкость этой функции диспетчерского управления и недостаточную технико-экономическую эффективность принимаемых решений. Одной из принципиальных особенностей задачи выбора оптимальных сроков отключения по оперативным заявкам является необходимость адекватного представления в постановке задачи различных аспектов проявления человеческого фактора (запрашиваемых сроков отключений, требований многовариантности предлагаемых решений, указаний административного персонала ЭЭС относительно сроков отключения отдельных элементов и т. д.).

В работе, посвященной математическому моделированию этой задачи, нами предложены подходы по учету ряда аспектов человеческого фактора, а именно:

- Обоснована целесообразность использования в качестве вариантов, подлежащих неформальному рассмотрению, субоптимальных решений, которые формируются в ходе многошагового процесса оптимального планирования на основе метода динамического программирования;

- Предложена общая схема построения алгоритмов автоматического прогнозирования исходных параметров для задачи выбора оптимальных сроков отключения по оперативным заявкам, основанная на подходах, используемых в кластерном анализе.

При решении рассматриваемой задачи может возникнуть необходимость в субъективном оценивании степени достоверности информации, поступающей с нижнего уровня иерархии диспетчерского управления. Удобным средством для введения таких оценок в математические модели является теория расплывчатых множеств.

Соответствующий метод, предлагаемый в работе, можно трактовать как общий подход к согласованию решений подзадач смежных уровней пространственной иерархии диспетчерского управления.

Согласование решений задач смежных уровней временной иерархии диспетчерского управления

Домников С.В., Згаевская Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблема состоит в том, чтобы обеспечить максимальное ускорение решения задач на этапе оперативного управления электроэнергетической системой (ЭЭС) путем использования информации, накопленной в процессе решения задач на этапе краткосрочного планирования. Нами 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 оптимизации

$$\sum_{j=1}^n f_j(x_j) \rightarrow \max ; \quad \sum_{j=1}^n x_j - b = 0 ; \quad x_{j\min} \leq x_j \leq x_{j\max}, \quad j = \overline{1, n} \quad (1)$$

и требуется найти решение аналогичной задачи при частичном изменении целевой функции

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^n f_j(x_j) + \tilde{f}_k(x_k) \rightarrow \max ; \quad \tilde{f}_k(x_k) \neq f_k(x_k) \quad (2)$$

или при изменении k -го ограничения.

Тогда, используя алгоритм коррекции таблиц прямого хода, предложенный авторами, коррекция таблиц МДП требует выполнения процедур одномерной оптимизации лишь по переменной x_k вместо аналогичных процедур над всеми переменными, которые потребовались бы при построении таблиц МДП заново.

Показана также возможность применения МДП для быстрого решения задач оптимизации, в которых балансовое ограничение в (1) имеет вид

$$\sum_{j=1}^n x_j - h(x) = 0, \quad (3)$$

где $x \in R^n$, $h(x)$ – непрерывно дифференцируемая функция (например, в задаче оптимизации режима энергосистемы по активной мощности h – суммарная нагрузка с учетом потерь).

Исследование распределения скачков напряжения и тока в электрических цепях

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

Если входные воздействия (источники) электрической цепи претерпевают скачкообразные изменения, то на некоторых элементах цепи также появляются скачки напряжения и/или тока. Амплитуды этих скачков можно определить, предварительно рассчитав переходный процесс цепи одним из известных методов. Однако такой подход трудоемок, особенно для источников, имеющих сложную форму задающего напряжения или тока.

Изложим метод, позволяющий оценить перепад (амплитуду скачка) напряжений и токов любого элемента цепи, не прибегая к расчету переходных процессов. Пусть в момент $t_1 = t_1$ ЭДС $e_1(t)$ изменяется на величину Δe , а задающий ток $J_1(t)$ источника тока – на величину Δj . Остальные источники напряжения и тока в этот момент непрерывны. Процедура построения цепи в режиме скачков содержит следующие пункты (доказательства опускаем): 1) ЭДС $e_1(t)$ и источник тока $J_1(t)$ заменяем постоянными источниками с параметрами Δe и Δj соответственно; 2) все остальные источники напряжения и тока заменяем перемычками и разрывами соответственно; 3) все индуктивности заменяем разрывами; 4) все емкости заменяем перемычками. Полученную активно-резистивную цепь назовем цепью в режиме скачков. Эта цепь существенно проще исходной и может быть рассчитана любым из методов расчета цепей в статическом режиме. Пример. В цепи на рис. 1 в момент $t_1 = t_1$ происходят: скачок ЭДС $e_1(t)$ на величину Δe и скачок тока $J_1(t)$ на величину Δj . Рассчитать скачок напряжения Δu_H на нагрузке R_H . На рис. 2 изображена цепь в режиме скачков.

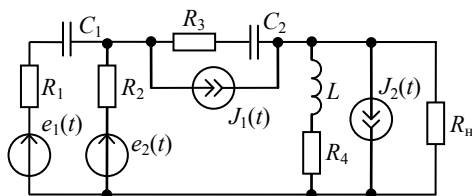


Рис. 1

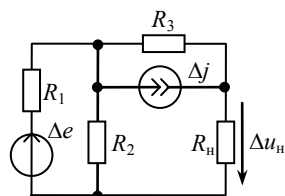


Рис. 2

Цепь на рис. 2 легко преобразуется к одноконтурной, из которой находим:
$$\Delta u_H = R_H \left[\Delta e R_2 + \Delta j R_3 (R_1 + R_2) \right] / \left[R_1 R_2 + (R_1 + R_2)(R_3 + R_H) \right].$$

Умение рассчитывать скачки напряжений и токов упрощает расчет переходных процессов при сложных импульсных воздействиях.

Особенности эквивалентных преобразований электрических соединений “звезда” и “треугольник”

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

В теоретической и практической электротехнике широко применяются эквивалентные преобразования электрических соединений “трехлучевая звезда” и “треугольник”. Преобразование $Y \rightarrow \Delta$ определяется формулами:

$$\underline{Z}_{ij} = \underline{Z}_i + \underline{Z}_j + \underline{Z}_i \underline{Z}_j / \underline{Z}_k, \quad i \neq j \neq k, \quad (1)$$

А обратное преобразование $\Delta \rightarrow Y$ получают с помощью формул

$$\underline{Z}_i = \underline{Z}_{ij} \underline{Z}_{ik} / (\underline{Z}_{ij} + \underline{Z}_{jk} + \underline{Z}_{ki}), \quad i \neq j \neq k. \quad (2)$$

Эти формулы используются при расчетах режимов в трехфазных сетях, при анализе и синтезе фильтрующих схем, преобразователей, корректоров и других схем [1]. Рассмотрим схемы на рис. 1 и рис. 2, представляющие соответственно фильтры нижних и верхних частот. Обе схемы работают в установившемся синусоидальном режиме.

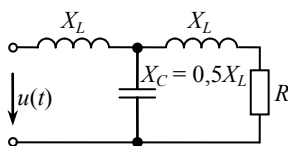


Рис. 1

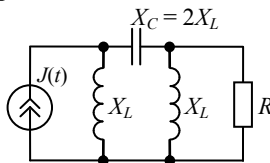


Рис. 2

Применив для реактивной “звезды” на рис. 1 преобразование (1), обнаружим, что сопротивление сторон эквивалентного “треугольника” равны нулю, т. е. эквивалентный “треугольник” вырождается в узел (рис. 3). Если же для реактивного “треугольника” на рис. 2 применить преобразование (2), то найдем, что сопротивления сторон эквивалентной “звезды” равны бесконечно большим величинам, т. е. “звезда” является трехразрывной (рис. 4). В результате исто-

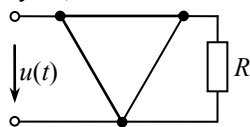


Рис. 3

точник $u(t)$ и нагрузка R на рис. 3 оказались замкнутыми, а источник ток $J(t)$ и нагрузка R на рис. 4 – оборванными. Это свидетельствует о неприменимости преобразований (1), (2) к “звезде” на рис. 1 и “треугольнику” на рис. 2.

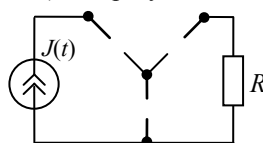


Рис. 4

**Размагничивающее устройство ферромагнитных изделий
с автоматической настройкой режима работы**

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

На производстве размагничивающие устройства (РУ) применяют для уменьшения остаточной намагниченности изделий, подверженных случайному или специальному намагничиванию при транспортировке, изготовлении, сварке, ремонте или неразрушающем контроле. Часто РУ изготавливают в виде отдельных простых или сложных устройств, настройку и проверку работы которых производят вручную. Для обеспечения качественного размагничивания изделия лучше всего подходит регулируемый стабилизированный источник переменного напряжения (РИПеН). Предлагаемое РУ позволяет автоматизировать процесс оптимальной настройки РУ с целью экономии затрат энергии в дальнейшем, потраченной за один цикл размагничивания конкретного изделия. Данное РУ состоит из последовательно соединенных регулируемого стабилизированного источника переменного и постоянного напряжения (РИПеИПоН) или тока и катушки для намагничивания и размагничивания изделия, а также блока (БУ) управления, коммутатора режима работы (КРР), регистратора величины остаточной намагниченности (РВОН) и цифрового индикатора (ЦИ). БУ, представляющий собой программируемый контроллер, подключенный своим входом к КРР, первым выходом к управляющему входу РИПеИПоН, вторым выходом к управляющему входу РВОН, подключенному своим входом к датчику Холла, третьим выходом к ЦИ. Сущность работы предлагаемого РУ в режиме автоматической настройки (РАН) заключается в том, что контролируемое изделие вначале намагничивают до насыщения, подавая в катушку для намагничивания постоянный ток, а затем размагничивают постепенно нарастающим до заданной величины и затем спадающим полем, изменяющимся по синусоидальному закону, с заданным интервалом времени, а затем – в контроле величины остаточной намагниченности (ВОН) изделия. Причем намагничивание и размагничивание в РАН повторяют несколько раз, например 12. При этом меняется максимальная амплитуда размагничивающего тока (МАРТ) по заданному закону работы, например по принципу работы аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения, или от минимального значения до максимального значения, и наоборот. ВОН изделия сравнивается с заданной и запоминается в блоке памяти БУ, РУ. Для дальнейшей работы БУ, РУ выбирает минимальное или заданное рабочее значение MART, при которой ВОН

изделия достигла заданной величины.

УДК 621.375.024

Усилитель постоянного тока для повышения чувствительности стрелочного амперметра

Михальцевич Г. А., Пекарчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

Если возникает задача измерения силы тока, величина которой превышает верхний предел имеющегося амперметра, то выходом из такой ситуации является применение рассчитанного шунта на амперметр. Увеличить чувствительность измерения амперметра без шунта можно только с помощью усилителя тока (УТ). Рассмотрим, как к амперметру типа М42 со снятым шунтом и при этом током полного отклонения 30 мА, разработать УТ, чтобы предел измерения изменялся с помощью переключателя на 2 мА, 20 мА, 200 мА и 2 А.

Схема разработанного УТ для амперметра изображена на рисунке 1

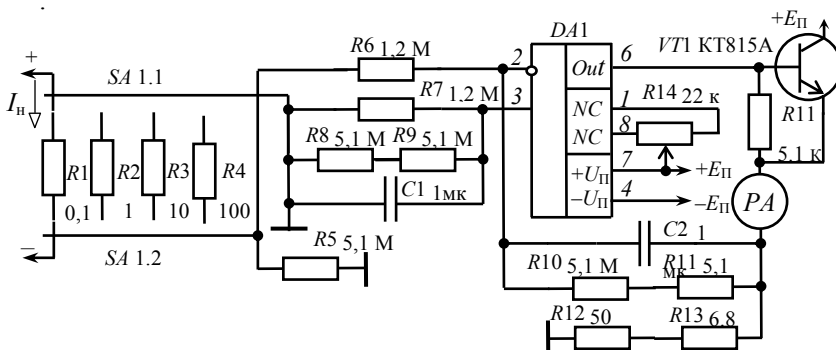


Рис. 1 – Схема усилителя постоянного тока

Схема УТ для амперметра собрана на операционном усилителе (ОУ) $DA1$ типа $OP-07CP$, который работает в облегченном режиме благодаря усилителю тока на транзисторе $VT1$. Для балансировки ОУ служит переменный резистор $R14$ типа СП5-2. Вход ОУ подключен к переключатель пределов измерения $SA1$. Его входные клеммы подключаются в разрыв цепи измеряемого тока. Для питания УТ используется отдельный двух полярный блок питания с выходным напряжением ± 10 В и током нагрузки до 100 мА. Настройка УТ заключается в подборе резисторов $R1-R4$ с номиналами кратными десяти и резисторов $R12$ и $R13$ для получения заданного тока в амперметре PA .

Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в сетях

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 для повышения $\cos \varphi$ 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 таких преобразователях протекают уравнивающие токи по контурам, к которым не подключены обмотки двигателей. Эти токи не выполняют работы, а только увеличивают потери в преобразователях. Если эти контуры отключать, то уравнивающие токи не протекают, и потери энергии уменьшаются.

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 управляемому электроприводу 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., т.е. 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 электроприводу 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.

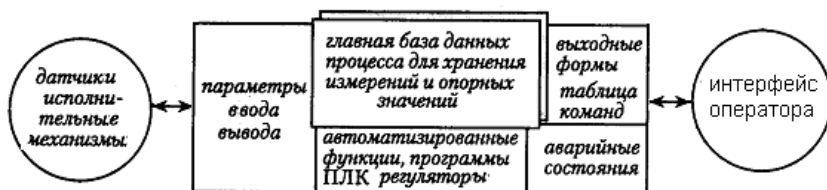
Идя по любому пути энергосбережения, надо особое внимание уделять комплексному решению задач, а не ограничиваться пользой, полученной – и даже доказанной – в одном месте. При этом нужно иметь в виду, что нет универсальных хороших решений, а в каждом конкретном случае нужно выбирать одно лучшее решение.

Персональные компьютеры в промышленности

Ежов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

В системах управления, имеющих много точек взаимодействия с техническим процессом, необходим систематический подход к обработке всех входных данных. Обычно это измеряемые аналоговые величины, или бинарные входные/выходные данные типа "включено/выключено", или "норма/авария". Входные данные обрабатывают универсальной программой сбора и интерпретации данных, учитывающей параметры каждого объекта. Параметры описания объектов хранятся в базе данных процесса, которая представляет собой центральный элемент программного обеспечения управляющей системы. Пример структуры базы данных процесса показан на рис. 1.



Системы дистанционного мониторинга и управления SCADA (от Supervisory Control And Data Acquisition — Дистанционное управление и сбор данных) реализуют на персональном компьютере. Здесь есть средства просмотра оперативной и исторической информации: подробные мнемосхемы, тренды, динамика и др. Учитываются также аварийные состояния: предупреждения, нештатные ситуации, требующие внимания и немедленной реакции оператора.

Модуль визуализации является основным средством визуального контроля и диалога оператора с автоматизированной системой, контроля текущих и исторических параметров технологического процесса, и аналогового и дискретного управления. Предоставлены удобные средства для просмотра истории изменения параметров процесса, отслеживания его динамики, благодаря развертыванию данных в графическом виде. Создается также архив всех событий и отчетов.

Таким образом, SCADA-системы позволяют рационально и эффективно управлять техническими процессами, охватывая все его стороны. Демо-версии SCADA можно использовать в учебном процессе для ознакомления студентов с производством.

Программа моделирования процессов управления

Ежов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Данная программа позволяет моделировать поведение динамических объектов в различных ситуациях. Общее представление об особенностях регулирования объектов дает моделирование процессов регулирования на моделях, представленных в данной программе.

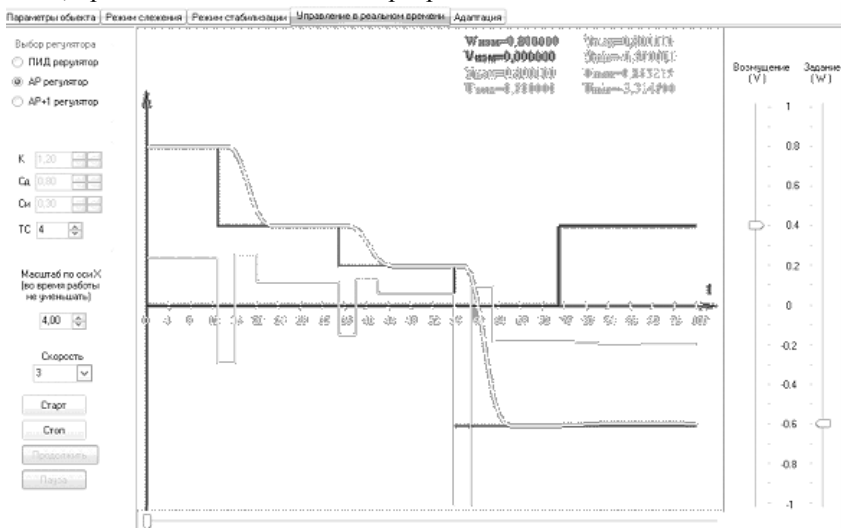


Рисунок 1. Работа программы в режиме «Управление в реальном времени»

Основные задачи учебной программы:

1) Расчет параметров дискретной передаточной функции для 5 вариантов объектов; 2) Выбор и расчет регулятора: ПИД-, ПИ-, П-, АР-, АР+1-; 3) Расчет переходных процессов по рекуррентным алгоритмам; 4) Режимы управления: следящая система (изменение задания); режим стабилизации (изменение возмущения); управление в реальном времени (слежение – стабилизация); адаптивное управление (изменяются параметры объекта). Для идентификации параметров объекта применяется рекуррентный метод наименьших квадратов; 5) Отображение графиков задающих, регулирующих и регулируемых переменных: режим автоматический – весь процесс сразу отображается на экране; в реальном времени – непрерывное моделирование типа тренд.

Бесконтактный синхронный генератор

Синяков А.Л., Дудников И.Л., Полуянов М.И., Капустин А.Г.
Белорусская государственная академия авиации

Авиационные синхронные генераторы в своем составе имеют собственно генератор, возбудитель и подвозбудитель, что позволило исключить скользящие соединения в виде колец и щеток. В структуре генерирующей системы необходимы также блоки регулирования напряжения и частоты, гидромеханический или пневматический привод постоянной частоты вращения с дифференциальным редуктором, так как частота вращения авиадвигателей изменяется в широком диапазоне. Из-за высокой стоимости и требовательности в эксплуатации таких приводов появились системы генерирования со статическими преобразователями напряжения переменной частоты в напряжение постоянной частоты на базе мощных полупроводниковых приборов. Для исключения приводов постоянной частоты вращения и стабилизации частоты выходного напряжения предлагается изменить конструкцию бесконтактных генераторов. Подвозбудитель с постоянным магнитом – индуктором – на роторе и трехфазной якорной обмоткой на статоре остается неизменным. Трехфазное напряжение подвозбудителя выпрямляется и подается на трехфазный инвертор с регулируемым напряжением и частотой. Обмотка возбуждения возбудителя (на статоре) выполняется трехфазной, на нее поступает напряжение инвертора, создающее вращающееся магнитное поле. Якорная обмотка возбудителя (на роторе) также выполняется трехфазной, многофазный однополупериодный выпрямитель исключается. Промежуточная частота выходного напряжения в якорной обмотке возбудителя складывается из частоты инвертора и составляющей, обусловленной частотой вращения ротора. Индуктор генератора (на роторе) выполняется трехфазной обмоткой, на которую подается промежуточная частота возбудителя. В генераторе из промежуточной частоты возбудителя вычитается составляющая, обусловленная частотой вращения ротора. Поэтому для стабилизации частоты напряжения генератора достаточно стабилизировать частоту напряжения трехфазного инвертора (400 Гц), а для стабилизации значения напряжения – регулировать его выходное напряжение. Предлагаемая конструкция бесконтактного синхронного генератора защищена патентом на полезную модель.

Повышение надежности и эффективности авиационных генераторов

Синяков А.Л., Городничук В.А., Полуянов М.И., Дудников И.Л.
Белорусская государственная академия авиации

Бортовые авиационные генераторы небольшой мощности имеют индуктор на роторе и якорную (однофазную или трехфазную) обмотку на статоре. Обмотки возбуждения индуктора питаются током от бортовой сети постоянного тока через регулятор напряжения и два скользящих контакта «кольцо – щетка», интенсивно изнашивающихся при высокой частоте вращения ротора. Кроме того, для генерирования стабильной частоты переменного тока 400 Гц необходимы блок регулирования частоты и дорогостоящий и требовательный в эксплуатации привод постоянной частоты вращения, без которого частота выходного напряжения изменяется в разных режимах работы авиадвигателя до 1000 Гц и выше. Для снижения интенсивности износа колец и щеток таких генераторов и стабилизации их выходной частоты при значительных изменениях частоты вращения авиадвигателей без сложного и дорогостоящего привода постоянной частоты вращения предлагается изменить конструкцию таких генераторов. В структуру генератора вместо регулятора тока возбуждения и регулятора частоты (при наличии привода постоянной частоты вращения) следует ввести трехфазный инвертор с регулируемым выходным напряжением и частотой, а индуктор выполнить неявнополюсным с трехфазной обмоткой и дополнительным третьим скользящим контактом «кольцо – щетка» (аналог: ротор асинхронного двигателя с фазными обмотками). Выходное напряжение инвертора подается на трехфазную обмотку индуктора, который в этом случае будет создавать круговое вращающееся магнитное поле. В результате, изменяя частоту напряжения инвертора, можно получить стабильную частоту выходного напряжения генератора при широком диапазоне изменения частоты вращения авиадвигателя и ротора генератора без дорогостоящего и требовательного в эксплуатации привода постоянной частоты вращения. При этом если составляющие частот от вращения ротора и инвертора суммируются, то можно снизить частоту вращения ротора и уменьшить износ щеток и колец. Предложенная конструкция защищена патентом на полезную модель.

Матвеенко И.П.

Белорусский национальный технический университет

В качестве исполнительных устройств в различных технологических линиях используются электродвигатели (постоянного тока, переменного тока, шаговые и др.). Системы автоматизированного управления электродвигателями, как правило, включают электронные схемы с использованием микроконтроллеров различных типов. Однако отладка работы реальных контроллеров оказывается затратной задачей, поэтому решить такую задачу проще стало возможным благодаря компьютерному моделированию.

Для проведения компьютрного моделирования была использована программа Proteus v7.7. В данной работе приводится разработанный проект схемы для управления двигателем постоянного тока (рис. 1).

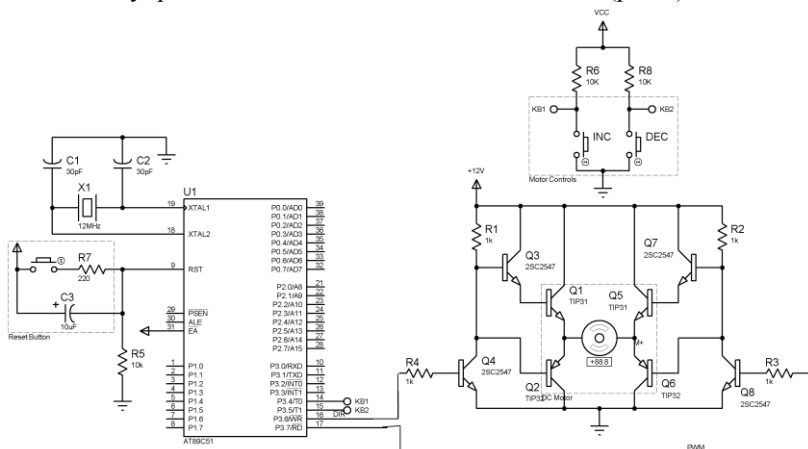


Рис. 1. - Макет проекта

Используем микроконтроллер фирмы ATMEL (тип микроконтроллера AT89C51). Управление скоростью вращения электродвигателя осуществляется скважностью импульсов, задаваемых микроконтроллером, т.е. используя широтно-импульсную модуляцию.

Управление исполнительными устройствами с использованием микроконтроллеров приводит к снижению энергетических потерь за счет рационального управления, т.е. к энергосбережению при работе технологических линий.

Моделирование электронных схем включения электродвигателя

Матвеев И.П.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время большое значение приобрели методы математического моделирования и исследования электронных устройств на компьютере. Например, такие системы как Micro-Cap, Electronic WorkBench, MathLab, Proteus.

В данной работе в среде Micro-Cap проводилось моделирование схемы выключателя электродвигателя, управляемой светом и проверка работоспособности спроектированного устройства (рис.1).

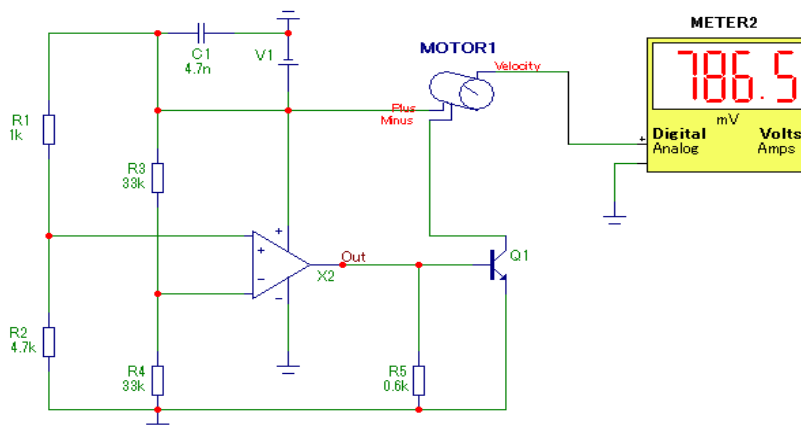


Рис.1. – Схема включения электродвигателя, управляемая светом

В этой схеме КМОП операционный усилитель (ОУ) используется в качестве компаратора, который сравнивает два входных напряжения и переключается в состояние высокого или низкого напряжения в зависимости от того, какое из входных напряжений больше. Инвертирующий вход ОУ подключен к опорному напряжению, создаваемому на делителе R3/R4. Неинвертирующий вход ОУ подключен к делителю напряжения, составленному из фоторезистора R1 и резистора R2, которым настраивается уровень освещенности, при котором схема включается. Транзистор Q1 включает или выключает электродвигатель, используется как усилитель слабого тока. Смоделированная схема включения электродвигателя, управляемая светом, показала свою работоспособность, что позволило отладить работу схемы на этапе проектирования и, таким образом, без дополнительных затрат реализовать устройство в «железе».

Алгоритм определения параметров масляного трансформатора на основе технических показателей

Петрашевич Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Определение реальных технико-экономических показателей позволяет прогнозировать оптимизационные мероприятия в электрических сетях. В частности, информация о величине потерь в трансформаторе в настоящий момент может быть использована в технико-экономических расчётах, а динамика изменения величины потерь в процессе эксплуатации позволяет прогнозировать состояние трансформатора в долгосрочной перспективе и планировать различные оптимизационные мероприятия, такие как капитальный ремонт трансформатора, или его замена.

Нормативный срок эксплуатации масляных трансформаторов, составляет 25 лет. Однако на практике реальный срок эксплуатации зачастую превышает это значение. В то же время существующие методики технико-экономической оценки не учитывают изменения потерь мощности трансформатора в течение срока его службы. Эти изменения вызваны химической деградацией материалов и могут существенно влиять на параметры трансформатора.

Важнейшими эксплуатационными параметрами трансформаторов являются величины собственных потерь электрической мощности, как холостого хода, так и нагрузочных.

Авторами предложен усовершенствованный метод определения потерь мощности в масляных трансформаторах с длительным периодом эксплуатации на основе анализа температурного анализа верхних слоёв масла.

Для измерения температуры верхних слоёв масла авторами разработан макет прибора на основе микроконтроллера Arduino, позволяющий считывать и хранить информацию о температуре в карте памяти microSD. Архитектура контроллера позволяет интегрировать его в цепи тепловой защиты трансформатора.

Разработан макет устройства, позволяющего определять потери мощности в трансформаторе и передавать их диспетчеру.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и выборе оптимизационных мероприятий в распределительных электрических сетях с целью улучшения их технико-экономических показателей, а также при планировании других технических мероприятий, например, замену трансформатора.

Оценка значения индекса надежности энергосистем

Короткевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Индекс надежности энергосистем определяется как отношение действительно отпущенной электроэнергии к электроэнергии, требуемой потребителями. В качестве нормативного значения индекса надежности территориальных энергосистем δ в странах СНГ принято значение, равное 0,996. Это означает, что отношение количества недоотпущенной электроэнергии к требуемой равно 0,004 или отношение отпущенной электроэнергии к недоотпущенной равно 249. В других странах нормативное значение δ принимается равным 0,9996...0,9998.

Однако следует иметь в виду, что увеличение индекса надежности от значения δ равного 0,996 до желаемого значения δ равного 0,9998 связано с увеличением требуемых капитальных затрат не менее, чем в 1,9 раза

Используемое в настоящее время значение индекса надежности, равное 0,996, и принимаемое в качестве нормативного, получено на основе стоимостных критериев, а именно на основе сопоставления затрат, включающих капитальные вложения на сооружение резервной мощности, амортизацию, ремонт и техническое обслуживание, со значением математического ожидания ущерба от недоотпущенной электроэнергии потребителям при отсутствии указанного резерва мощности без учета стоимости топлива для обеспечения выработки электроэнергии резервной мощностью, что приводит к завышенному значению индекса надежности. В настоящее время значение удельной стоимости одного киловатта установленной мощности равно 1000; 1500; 3000; у.е./кВт соответственно при сооружении конденсационных электростанций на газе или угле, а также атомных электростанций; ранее указанное значение принималось равным 120 руб/кВт.

Удельный системный ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям при отсутствии аварийного резерва мощности в расчетах ранее принимался равным 0,6 руб/кВт·ч; в настоящее время указанное значение лежит в пределах 3,0...50 долл/кВт·ч.

При изменившихся значениях удельной стоимости сооружения одного киловатта мощности на электростанциях и удельного ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям достижение желаемого уровня индекса надежности (0,996 и более) может быть обеспечено при отношении удельной стоимости сооружения одного киловатта мощности к удельному ущербу от недоотпуска электроэнергии потребителям не более 100.

Определение показателей надежности простейших схем электрических соединений подстанций

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Главные схемы подстанций выбираются на основании схемы развития энергосистемы или схемы электроснабжения района. На подстанциях 35-750 кВ обычно устанавливаются один или два трансформатора (автотрансформатора). Расчет надежности типовых схем электрических соединений понижающих подстанций выполним с помощью программы "TOPAS". Результаты расчета типовых схем электрических соединений подстанций при полном погашении схемы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета надежности типовых схем электрических соединений понижающих подстанций при полном погашении схемы

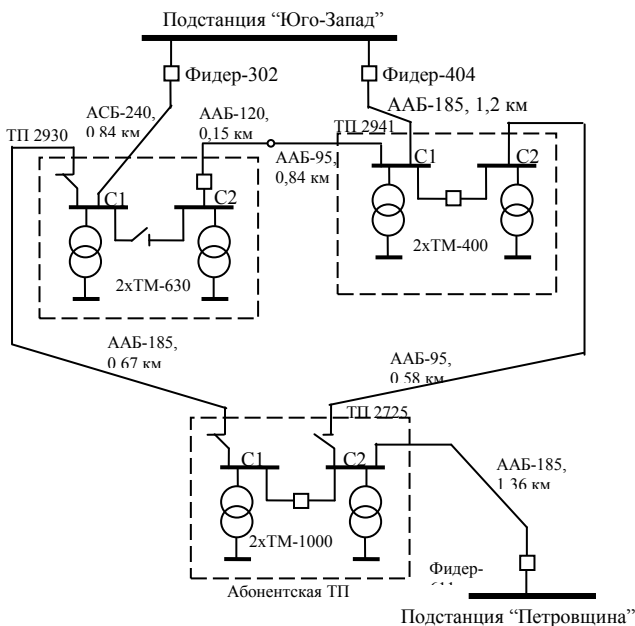
Название схемы	Частота отказа $\lambda_{сум}$, 1/год	Время послеаварийного восстановления $T_{в,ч}$	Коэффициент неготовности, $K_{нг}$, о.е.
Блок (линия-трансформатор) с выключателем	0,544	16,78	$1,04204 \cdot 10^{-3}$
Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий	1,12	0,50	$6,393 \cdot 10^{-5}$
Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий	1,17	0,50	$6,678 \cdot 10^{-5}$
Мостик с выключателями в цепях трансформаторов и ремонтной перемычкой со стороны трансформаторов	0,162	0,51	$9,4315 \cdot 10^{-6}$
Сдвоенный мостик	0,000578	0,50	$3,2991 \cdot 10^{-8}$
Четырехугольник	0,00124	0,50	$7,0776 \cdot 10^{-8}$
Заход-выход	1,22	1,57	$2,1865 \cdot 10^{-4}$
Треугольник	0,0993	13,64	$1,5462 \cdot 10^{-4}$

Расчёты потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях Республики Беларусь с учётом истории переключений

Фурсанов М.И., Макаревич В.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из факторов, повышающим точность расчёта потерь электрической энергии в расчётах электрических сетей, является учёт истории переключений, производимых в рассматриваемой сети. За расчётный период может существовать от одного, (нормального) до нескольких сотен различных (ремонтных, аварийных и т.д.) режимов с продолжительностью от нескольких часов до десятков суток. Пример схемы сети 10 кВ приведен на рисунке. При переключениях в схеме меняется запитка трансформаторных пунктов и потокораспределение в ветвях сети. Методологически учёт истории переключений заключается в разделении расчётного периода на определённое количество "срезов", в каждом из которых существует своя конфигурация сети. Учёт истории переключений повышает точность расчёта потерь электроэнергии, при этом время расчёта потерь увеличивается пропорционально количеству срезов. По мнению авторов, учёт истории переключений с длительностью менее часа является нецелесообразным.



Анализ и снижение технических потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38 кВ РЭС

Фурсанов М.И., Гецман Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Электрические сети 0,38 кВ являются последним звеном в цепи передачи и распределения электрической энергии от электростанций к потребителям. От надежности работы сетей 0,38 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей, а от точности расчетов технических потерь в этих сетях – эффективность выявления коммерческих потерь в электрических сетях в целом. В настоящее время по каждому РЭС энергосистемы технические потери в распределительных сетях рассчитываются ежемесячно и суммируются за год. Полученные значения потерь используются для расчета планируемого норматива потерь электроэнергии на следующий год.

Норматив потерь составляют: технологические потери (нагрузочные, условно-постоянные, допустимые погрешности приборов учета, расход на собственные нужды подстанций) вместе с сезонной составляющей потерь (рис.1).

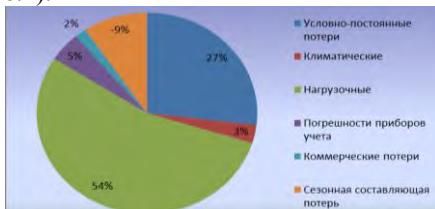


Рис. 1. Структура нормативных потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,38-10 кВ РЭС

Анализ показал, что в общей структуре потерь преобладающими (54%) являются нагрузочные потери электроэнергии в самих сетях 0,38-10 кВ. Большая доля потерь в этих сетях обуславливается тем, что практически вся электрическая энергия, поступившая в сеть 10 кВ за вычетом небольшого числа крупных потребителей, питающихся от сети 10 кВ, и потерь в этих сетях проходит до конечных потребителей по сетям 0,38 кВ, которые в десятки раз объёмнее, чем сети 10 кВ.

Проведенные исследования позволяют перейти к расчету и анализу резервов по повышению экономичности работы электрических сетей, наметить траекторию движения в сторону оптимального состояния электрической сети, т.е. такого состояния, при котором фактические технические потери электроэнергии в сети будут приближены к оптимальным.

Олексюк И.В.

Белорусский национальный технический университет

Состояние изоляции кабельных линий контролируется на всех этапах существования: изготовление кабеля, монтаж и эксплуатация кабельной линии. Своевременное выявление дефектов изоляции приводит к предупреждению повреждения кабельных линий, а, следовательно, к снижению количества аварийных отключений и недоотпуска электроэнергии потребителю.

Все методы контроля за состоянием изоляции кабельных линий делятся на две большие группы: разрушающего и неразрушающего контроля.

Несмотря на то, что действующими нормативными документами регламентируется испытание кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) выпрямленным напряжением, существует вероятность пробоев изоляции из-за способности полиэтилена восстанавливать электрическое поле внутри объема даже после того, как внешнее электрическое поле перестало воздействовать на изоляцию.

Процесс старения кабеля сопровождается резким снижением сопротивления его изоляции. Неразрушающий метод контроля, основанный на измерении сопротивления изоляции кабеля из СПЭ, – недорогой, простой, чувствительный и достоверный.

Разработка метода контроля изоляции кабеля по сопротивлению изоляции основывается на опытных и расчетных данных, т.к. действующие нормы и стандарты не нормируют минимальную величину электрического сопротивления изоляции кабелей выше 1 кВ. Основываясь на опыте эксплуатационных организаций величина электрического сопротивления изоляции кабеля на номинальное напряжение 10 кВ составляет 10 МОм. Величина электрического сопротивления кабелей при вводе в эксплуатацию получена расчетным методом и составляет десятки и сотни мегаом в зависимости от геометрических параметров кабеля.

Основной причиной старения изоляции является высокая температура, ускоряющая реакцию термоокислительной деструкции, в ходе которой распадаются высокомолекулярные соединения полимеров. Реакция термоокислительной деструкции носит экспоненциальный характер, поэтому можно предположить, что изменение сопротивления изоляции также будет происходить по экспоненциальному закону. В ходе исследования путем аппроксимации были получены выражения для оценки сопротивления изоляции кабелей из сшитого полиэтилена.

Моделирование АРВ сильного действия синхронной машины в MATLAB

Золотой А.А., Кунцевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим влияние АРВ сильного действия синхронных машин на характер протекания электромеханических переходных процессов в системе на примере схемы рис.1, при отключении линии Л2 в момент времени $t=0,2$ с.

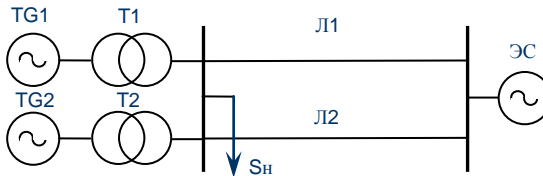


Рис. 1. Схема электропередачи

Параметры электрооборудования:

Турбогенератор TG1 – ТГВ-300; Трансформатор Т-1 – ТЦ-400000/330;

Турбогенератор TG2 – ТГВ-200; Трансформатор Т-2 – ТЦ-400000/330;

Линия Л1, 180кВ, 2АС-300/39; Линия Л2, 180кВ, 2АС-300/39;

Номинальное напряжение электропередачи 330кВ.

Параметры установившегося режима:

$S_{TG1}=150+j65$ МВ·А; $S_{TG2}=100+j60$ МВ·А; $S_H=120+j80$ МВ·А.

Параметры системы возбуждения и АРВ СД:

$K_U=50$; $K_U=5$; $K_F=2$; $K_F=5$; $U_{PB(max)}=6$; $U_{PB(min)}=-6$; $T_{PB}=0,04$ с; $T_{CB}=0,04$ с;

$E_{qe(max)}=2$; $E_{qe(min)}=-1,6$; $E_q(max)=2$; $E_q(min)=0,6$.

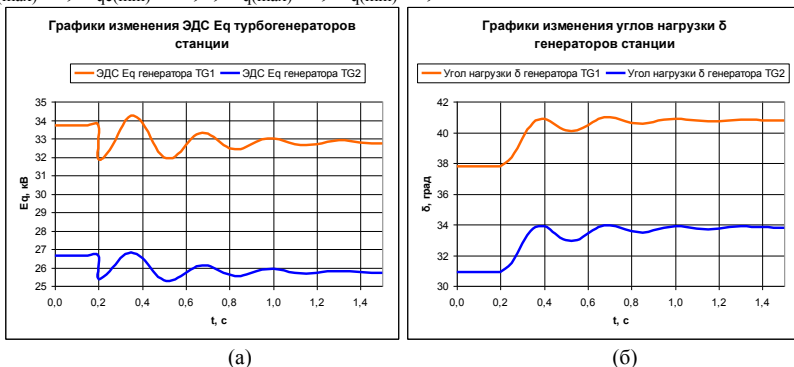


Рис. 2 – Графики изменения параметров режима генераторов станции TG1, TG2: а – ЭДС $E_q(t)$; б – угол нагрузки $\delta(t)$

Современные программные средства для моделирования электрических систем

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Использование современных подходов в создании программных средств (ПС) касается различных сфер деятельности человека, в том числе и разработки программного обеспечения (ПО) для электроэнергетики. Одной из важнейших задач в области современной электроэнергетики является задача моделирования и ведения режимов электроэнергетических систем, зачастую требующая обработки больших объемов данных с последующим отображением результатов пользователю. На рынке ПО моделированию и ведению режимов электрических сетей посвящено большое количество разнообразных программно-вычислительных средств. Наиболее существенных результатов в области создания ПС по моделированию электрических сетей с использованием новых технологий добились в своих работах западные специалисты. Данная работа посвящена возможностям платформы CoDeSys. Использование данного инструмента позволяет проводить в реальном времени моделирование работы электрических сетей, наблюдать за поведением системы с помощью средств визуализации и отображать расчетную информацию. Предлагаемое для использования ПС основано на стандарте МЭК 61131-3 и в своем составе содержит все языки стандарта, позволяет проводить полунатурные испытания разрабатываемой модели без использования объекта наблюдения. Отличительной особенностью комплекса является тот факт, что после успешно проведенного моделирования, доработка программного кода для инсталляции в программируемом логическом контроллере практически не нужна.

Использование современных технологий при моделировании электрических систем позволяет реализовать:

- интерактивное построение модели электрической сети с возможностью последующей коррекции топологии электрических соединений;
- наглядное отображение информации подсистемой визуализации данных за счет применения технологий визуализаций;
- отображение расчетных данных непосредственно на схеме электрических соединений;
- возможность расширения расчетных функций за счет подключения и настройки независимых расчетных модулей;
- универсальность подсистемы визуализации данных в отображении результатов работы различных расчетных модулей.

Управление функционированием и развитием электроэнергетической системы

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Главной задачей управления функционированием и развитием объединенной энергосистемой (ОЭС) Беларуси на современном этапе является совершенствование системы управления. Действующая система (структура) управления традиционно обеспечивает планирование, ведение и оптимизацию режимов ОЭС в рамках оперативно-диспетчерского управления (ОДУ), решение учетно-сбытовых задач с помощью автоматизированной системы учета электроэнергии (АСКУЭ), текущее эксплуатационно-ремонтное обслуживание и организационно-стратегическое управление. Совокупность управляющих воздействий, весьма условно, может быть разделена на технико-технологическое управление и организационно- (в том числе политико-) экономическое.

Главными направлениями совершенствования технологической составляющей системы управления являются необходимость переоснащения АСДУ, развитие АСКУЭ до реализации задачи управления электропотреблением, формирование интегрированной автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений.

Развитие организационно-экономической составляющей управления определяется задачами повышения эффективности функционирования и перехода отрасли на рыночные отношения в рамках «поэтапной управляемой либерализации». Повышение эффективности работы отрасли определяется снижением отраслевых издержек на единицу выпускаемой и транспортируемой продукции, оптимизацией численности персонала, исключением непрофильных активов, пополнение оборотных средств за счет снижения запасов ресурсов и дебиторской задолженности, совершенствованием тарифов. Сохранение балансовой надежности энергосистемы с учетом ввода АЭС требует расширения диапазона регулирования мощности за счет привлечения генерации неотраслевого подчинения, применения тарифов, глубоко дифференцированных по зонам суток и дням недели. Для «поэтапной либерализации» отрасли в Беларуси разработана собственная модель реформирования и функционирования электроэнергетики, что хорошо для сохранения управляемости процесса производства электроэнергии и надежности электроснабжения потребителей, но плохо согласуется с требованиями формирования общего электроэнергетического рынка (ОЭР)

государств-членов Таможенного союза и Единого экономического пространства (ЕЭП).

УДК 621.311

Оценка режимной надёжности энергосистем в послеаварийном режиме (n-2)

Юршо Е.Л.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение требуемого уровня надёжности энергосистем в современных условиях гарантирует стабильное экономическое развитие государства, что очень важно особенно для развивающихся стран. Поэтому в настоящее время вопрос оценки надёжности является очень актуальным.

В данной работе был проведён анализ режимной надёжности Белорусской энергосистемы в послеаварийном режиме при условии, что отключаются две межсистемные связи, т.е. выполняется условие (n-2), где n – суммарное число межсистемных связей.

Режимная надёжность подразумевает исключение возникновения недопустимых режимных параметров в узлах электрической сети, требующих снижения нагрузки.

Расчёт режима производился в программе RASTR. Полученные значения потоков мощности по межсистемным связям сравнивались с допустимыми значениями, приведёнными в ГОСТ 839-80.

В результате анализа получили, что передаваемые мощности от одной областной энергосистемы к другой, даже при аварийном отключении связей одной энергосистемы с двумя другими областными энергосистемами, не превышает допустимые пределы ни в одном из случаев. Однако, несмотря на соблюдение условий по пропускной способности линий, значения напряжений в узлах во многих случаях выходят за допустимые пределы.

Делаем вывод, что в целом режимная надёжность в послеаварийном режиме для условия (n-2) обеспечивается частично, так как значения параметров режима в большинстве случаев (особенно напряжения) выходят за допустимые пределы. Причём эти параметры зависят от того, какие межсистемные связи отключаются.

Локализация мест повреждений в воздушных распределительных электрических сетях

Калентионек Е.В.

Белорусский национальный технический университет

При возникновении повреждения в секционированных распределительных электрических сетях необходимо:

- определить поврежденный участок линии электропередачи;
- выделить поврежденный участок линии электропередачи;
- подать напряжение на неповрежденные участки линии электропередачи;
- определить место повреждения на поврежденном участке линии электропередачи;
- устранить повреждение (выполнить ремонт) и восстановить нормальную схему электроснабжения потребителей.

Локализация места повреждения, т.е. определение и выделение поврежденного участка электрической сети, выполняется:

- путем оперативных переключений;
- автоматически.

Метод оперативных переключений заключается в разделении линии на две части с последующим включением под напряжение одной из них. Это позволяет выяснить, на какой из частей имеется повреждение. Затем часть, содержащая повреждение, опять делится и испытывается. Процесс продолжается до локализации поврежденного участка имеющимися в сети коммутационными аппаратами с обеих сторон и восстановления электроснабжения потребителей, питающихся от неповрежденных участков электрической сети.

В качестве коммутационных аппаратов для автоматической локализации могут быть использованы: выключатели; реклоузеры; выключатели нагрузки; разъединители; отделители; плавкие предохранители.

На основе анализа методических подходов для локализации мест повреждений в распределительных сетях электроэнергетических систем установлено, что ни один из них не удовлетворяет условиям эксплуатации по затратам времени, селективности работы релейной защиты, дополнительного использования ресурса работы секционирующих коммутационных аппаратов. Предложенные способы и устройства не реализуют автоматическую локализацию мест повреждений в распределительных электрических сетях с тремя и более источниками питания.

**Расчет и анализ потерь мощности в трансформаторах
городских трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ
и мероприятия по их снижению**

Гапанюк С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Для расчета были взяты несколько трансформаторных подстанций (ТП) города Минска номинальной мощностью 2х630 и 2х1000 кВА с реальными графиками нагрузки потребителей и рассчитаны потери мощности в трансформаторах. Основными потребителями данных подстанций являются жилые дома, то есть коммунально-бытовые потребители.

Известно, что при выборе трансформатора его загрузка принимается равной 70%, что в пересчете на ток дает для 630 кВА около 920 А, для 1000 кВА – 1470 А.

После построения суточных и месячных графиков нагрузки на 01.03.15. и на март 2015 года для 4-х подстанций, обратил на себя внимание тот факт, что трансформаторы подстанций загружены в среднем на 11% в ТП 2х1000 кВА и на 9,2 % в ТП 2х630.

Данная загрузка трансформаторов является достаточно низкой, что позволяет предложить замену трансформаторов на трансформаторы меньшей мощности.

Как показали расчеты, замена даже серьезно недогруженных трансформаторов не дает существенного экономического эффекта и связана с достаточными финансовыми вложениями.

Следует также отметить, что работы по проведению данного мероприятия являются достаточно трудоемкими и не позволяют оперативно реагировать на изменения режима работы сети.

Эти факторы дают повод задуматься о более эффективных мероприятиях по снижению технологического расхода электроэнергии в сети необходимого для ее преобразования.

Анализ основных схем городских электрических сетей, питающих потребителей 2 и 3 категории, показал, что возможен перевод слабо загруженных ТП на работу с одним трансформатором. И данное мероприятие дает пусть и незначительный (порядка 10 млн. бел. руб. в год) эффект без существенных экономических затрат и практически не влияет на показатели надежности работы подстанции, так как любая неисправность сети требует выезда оперативной бригады.

Необходимо отметить, что наличие современных средств телемеханики и учета позволяет осуществлять оперативное управление режимом работы сети с получением экономического эффекта.

Дистанционное определение места многофазного повреждения в распределительной электрической сети по мгновенным значениям параметров аварийного режима

Мазурек Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Отличительной особенностью дистанционных методов определения места повреждения является то, что замер необходимых величин происходит в момент повреждения (горения дуги) до отключения линии защитой.

Разнообразие видов и характера повреждений, а также структуры и условий работы электрических сетей не позволяет получить универсальный метод определения места повреждения (ОМП).

Одним из наиболее перспективных дистанционных методов ОМП в распределительной сети с односторонним питанием является метод, использующий в качестве исходной информации мгновенные значения параметров аварийного режима (ПАР).

При многофазном повреждении для любого момента времени справедливо уравнение:

$$u_{ab} = u_b - u_a = iL \frac{di_{ab}}{dt} + lr i_{ab} + R_{\pi} i_{ab},$$

где u_{ab} – мгновенное значение междуфазного (линейного) напряжения;
 i_{ab} – мгновенное значение тока стороны воздушной линии, где производится измерение;

L и r – погонные индуктивность и активное сопротивление единицы длины системы «провод – провод» (прямой последовательности в расчете на два провода);

R_{π} – переходное сопротивление.

С целью повышения точности ОМП предлагается измерять необходимые величины для нескольких произвольных моментов времени.

Аварийные режимы исследовались с помощью системы динамического моделирования Simulink (программный комплекс Matlab).

В качестве влияющих на точность расчета расстояния факторов были рассмотрены переходное сопротивление, величина нагрузки, расстояние от питающей подстанции до места короткого замыкания.

По результатам исследования сделан вывод о большей точности предлагаемого метода ОМП (при замере в нескольких произвольных моментах времени) в сравнении с традиционным ОМП по мгновенным ПАР.

**Пример расчета мощности компенсирующих устройств
с учетом действующих в сети устройств регулирования напряжения
и реактивной мощности**

Прокопенко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

По усовершенствованной методике определения оптимальной мощности и мест установки дополнительных компенсирующих устройств (КУ) были проведены расчеты для сложноразветвленной сети трех номинальных напряжений 330-35/10 кВ, включающей три автотрансформатора связи 330/110 кВ и шесть трехобмоточных трансформаторов 110/35/10 кВ. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Ход и результаты оптимизационного расчета

Но- мер опти- ми- заци- он- ного шага	Снижение потерь мощ- ности за счет изменения коэффици- ента транс- формации, МВт	Сум- марное изме- нение напря- жения, кВ	Установ- ленная мощ- ность КУ, Мвар	Снижение потерь мощности за счет установки КУ, МВт	Экономи- ческий эффект, у.е.
1	0,16	42,1			96000
		42,5	32,8	0,76	242850
2	0,14	44,7			84000
		44,1	22,3	0,51	212000
3	0,13	46,2			76320
		45,7	19,1	0,42	172000
4	0,11	46,0			66000
		46,5	17,2	0,33	126230

Как видно из результатов расчетов, приведенных в таблице 1, на всех оптимизационных шагах экономический эффект от установки дополнительных КУ значительно превысил эффект от изменения значения коэффициента трансформации, причем во всех случаях изменялся коэффициент трансформации, который в наибольшей степени влиял на целевую функцию.

Применение усовершенствованной методики особенно важно и целесообразно для сетей с нормальными и повышенными уровнями рабочих напряжений.

Теплоэнергетика

Методы оптимизации динамики стабилизирующего регулятора каскадной САР с учетом максимальной величины регулирующего воздействия

Кулаков А.Т., Кухоренко А.Н.

Белорусский национальный технический университет,
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Каскадная система автоматического регулирования (КСАР) получила широкое распространение в области автоматизации технологических процессов. Вместе с тем при расчете параметров оптимальной динамической настройки стабилизирующего регулятора КСАР не учитывается максимальная величина регулирующего воздействия при отработке задающего воздействия, которая в первую очередь обеспечивает линейность регулировочного диапазона работы системы.

Предложенная методика позволяет устранить указанный недостаток. Осуществляется это следующим образом. Передаточную функцию опережающего участка объекта регулирования принимают в виде инерционного звена первого порядка со временем разгона $T_{оп}^*$. В результате заданная передаточная функция внутреннего контура КСАР по задающему воздействию для промежуточной регулируемой величины также может быть представлена инерционным звеном первого порядка со временем разгона $T_{зд1}$. Тогда передаточная функция оптимального стабилизирующего регулятора принимает вид ПИ-регулятора, время интегрирования которого равняется постоянной времени $T_{оп}^*$ опережающего участка, а коэффициент передачи – отношению $T_{оп}^*$ к $T_{зд1}$ уменьшенному на величину коэффициента передачи опережающего участка $k_{оп}$. При этом передаточная функция внутреннего контура КСАР по регулирующему воздействию x_p при скачкообразном задающем воздействии принимает вид звена быстрого реагирования (ЗБР), постоянная времени числителя передаточной функции которого равна $T_{оп}^*$, а знаменателя – $T_{зд1}$. Причем коэффициент передачи ЗБР обратно пропорционален коэффициенту передачи опережающего участка $k_{оп}$. В результате максимальная величина регулирующего воздействия x_p^{max} в момент времени $t=0$ будет обратно пропорциональна коэффициенту передачи $k_{оп}$, умноженному на величину отношения $T_{оп}^*$ к $T_{зд1}$.

**Феномен золотого сечения как фактор структурной устойчивости
и гармонии динамических систем**

Кулаков Г.Т., Кравченко В.В., Бондарь-Подгурская О.В.

Белорусский национальный технический университет,

ВУЗ Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»

Научные исследования и практика показывают, что для обеспечения системной и структурной устойчивости и гармонии систем в технике, экономике, обществе, архитектуре, живописи и других областях необходимо установить между основными показателями системы соотношения, соответствующие *золотой пропорции*. Золотое сечение – это такое пропорциональное деление отрезка на две неравные части, при котором весь отрезок так относится к большей части, как сама большая часть относится к меньшей или, другими словами, меньший отрезок так относится к большему, как больший ко всему. Его проявление обнаруживается в экономических показателях передовых фирм и компаний, в социальной сфере, в кадровой структуре, на передовых и гармоничных рынках товаров и т.п. Золотые пропорции или технология золотого сечения служат механизмом самоорганизации систем. В анализе тенденций валютного рынка FOREX волны Р. Эллиота официально признаны инструментом технологии золотого сечения. Наличие базовых пропорций (0,62 и 0,38) первого золотого сечения между элементами экономической системы служит индикатором устойчивости, стабильности и гармонии в системе. Для социально-ориентированной экономики ближе всего к устойчивому положению находятся страны, у которых доля госсобственности близка к 62% (Швеция). Наличие базовой пропорции (62 и 38%) между элементами системы служит индикатором устойчивости и стабильности конкуренции на свободном торговом рынке.

Принцип золотого сечения можно использовать при определении оптимальной зарплаты сотрудников: оплата труда каждого разряда по тарифной сетке должна быть равной оплате труда последующего разряда, умноженной на 0,62, т.е. на 38% ниже вышестоящего. Увеличение зарплаты сотрудников компании по принципу золотого сечения обеспечит устойчивость работы коллектива как трудоспособной команды.

Если выстроить систему управления бизнесом по правилам золотого сечения, то можно получить максимальный объем денежного потока.

Распределение доходов и ресурсов наиболее целесообразно осуществлять по правилу золотого сечения.

Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Основой развития экономики любого государства, а вследствие этого и уровня жизни населения является способность эффективно использовать имеющиеся ресурсы: землю, труд, капитал (в том числе человеческий), знания. В свою очередь степень развитости экономики зависит от главного инструмента экономического развития – инноваций. При этом все инновации играют свою положительную роль в обеспечении национальной безопасности государства, однако эффективная инновационная политика не может быть реализована без развитого человеческого потенциала. Кроме того главной стратегической целью инновационного развития Республики Беларусь должно стать достижение высокой конкурентоспособности отечественной продукции на внутреннем и мировом рынке, что, в свою очередь, требует модернизации системы образования и использования новых моделей обучения для формирования новых компетенций у лиц, принимающих решения.

Требования к современному специалисту существенно изменились и должны учитывать динамично меняющийся рынок. В вузах должна действовать глубинная междисциплинарная связь наук, чтобы специалист, вышедший на рынок труда, хорошо в нем ориентировался. Одним из основных стимулов должна быть зарплата; немаловажно и моральное удовлетворение и т.д. В современном обществе востребованы молодые специалисты, способные к предпринимательской и управленческой деятельности, умеющие работать в перенасыщенном балластной информацией мире, обладающие гибкостью ума и способностью к постоянному переучиванию.

Особенности «продукции» инженерного образования: острая нехватка профессионалов, которые должны определять требуемые тренды развития будущих инновационных технологий; необходимость модернизации преподавания фундаментальных естественных наук как основы инженерного образования (например, студенты различных специальностей слушают курсы математики в потоке, которые читает чистый математик, совершенно не отражая в своих лекциях специфики и различий будущих специальностей); особенностью объектов и систем современной техносферы является сложность структуры и поведения их элементов.

Решение указанных проблем позволит существенно улучшить качество профессионального обучения на всех уровнях образовательного процесса Республики Беларусь.

Экспресс-метод выбора производительности сбросных устройств в тепловых сетях

Назаров В.И.

Белорусский национальный технический университет

Основной причиной возникновения гидравлических ударов в тепловых сетях является отключение сетевых насосов, станций, котельных и насосов на перекачивающихся станциях. При аварийном отключении сетевых насосов, как правило, повышается давление в обратных теплопроводах до величины, недопустимой для зависимоприсоединяемых отопительных установок теплопотребителей (допустимое давление для которых не должно быть выше 0,6 МПа). Поэтому важно защитить работу этого оборудования. С этой целью разработаны и используются различные противоударные устройства. К ним в первую очередь относятся быстродействующие сливные клапана (БСК). Выбор этих устройств должен осуществляться по пропускной способности с учетом объема вытесненной воды. Ниже предлагается экспресс-метод определения этой пропускной способности. Согласно формуле Жуковского при гидроударе повышение давления в трубопроводе составит:

$$P_2 = P_0 + \rho a \Delta v \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где P_0 – давление жидкости в трубопроводе до гидроудара, МПа; a – скорость распространения ударной волны в трубопроводе, м/с; ρ – средняя плотность жидкости, кг/м³; Δv – падение скорости потока жидкости в момент гидроудара, м/с.

Если принять L – длину трубопровода от всаса сетевого насоса до потребителя, то тогда масса вытесняемой воды при гидроударе составит:

$$M = L \frac{\pi D^2}{4} (\rho_2 - \rho) \text{ [кг]}, \quad (2)$$

где D – диаметр трубопровода, м; ρ – плотность воды до гидроудара, кг/м³, определяется по давлению и температуре обратной сетевой воды до гидроудара; ρ_2 – плотность воды при гидроударе, кг/м³, определяется по давлению и температуре сетевой воды в момент гидроудара.

Тогда массовый расход воды, вытесненной из обратного трубопровода при гидроударе составит

$$G = \frac{M}{t} = \frac{3,6\pi D^2}{4} a (\rho_2 - \rho) = 0,9\pi D^2 a (\rho_2 - \rho) \text{ [м}^3/\text{ч]}. \quad (3)$$

Повышение эффективности системы технического водоснабжения Гомельской ТЭЦ-2

Карницкий Н.Б., Зенович-Лешкевич-Ольпинская А.Ю.,

Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А.

Белорусский национальный технический университет,

Филиал РУП «Гомельэнерго» – Гомельская ТЭЦ-2

Повышение эффективности работы систем технического водоснабжения электростанций требует комплексного подхода и включает в себя на примере Гомельской ТЭЦ-2 три основных направления или 3 этапа внедрения:

1 этап: «Внедрение автоматизированной системы шариковой очистки конденсаторов турбин Т-180/210-130 ст.№1-3,

2 этап: «Реконструкция градирен №1 и 2»,

3 этап: «Внедрение регулируемого электропривода мощностью 1000 кВт на одном из циркуляционных насосов».

Ниже приведены результаты 1 этапа.

Система шариковой очистки (СШО) конденсатора состоит из двух автономных технологических схем – схемы предварительной очистки охлаждающей воды и схемы циркуляции шариков.

Обязательно устанавливается автоматика управления работой СШО обеих технологических схем.

Регулярное применение СШО позволило довести температурные напоры конденсаторов всех блоков до нормативных величин и достижения коэффициента чистоты до 0,85 на турбоагрегатах всех трех блоков.

Создание автоматизированной СШО конденсаторов 180-КЦС-1 турбин ст. №1÷3 исходя из опыта эксплуатации позволило получить следующие преимущества:

– снизить давление отработавшего пара в конденсаторе (вакуум), что привело к экономии топлива 2998 т.у.т./год и, кроме этого, уменьшить вредные выбросы в атмосферу, повысить экологичность работы оборудования энергоблоков в целом;

– существенно снизить эксплуатационные затраты на обслуживание конденсационной установки за счет исключения альтернативных методов очистки (промывка трубок высоконапорной установкой «Вома») – 30-35 тыс долл. США /год;

– улучшить воднохимический режим и повысить надежность работы блока за счет сохранения неизменной жесткости основного конденсата;

– исключить коррозию конденсаторных трубок, значительно увеличить срок их службы.

Ядерный реактор с топливом в форме микротвэлов

Кашцев В.П., Воронов Е.О., Сорокин В.В.
Белорусский национальный технический университет

Эксплуатируемые в мире в настоящее время атомные электрические станции оснащены ядерными реакторами со стержневыми твэлами, содержащими ядерное топливо в форме таблеток. Аварии на АЭС с таким топливом показали, что такие АЭС являются радиационноопасными объектами. Новые АЭС должны исключить выход радиоактивности во внешнюю среду, как при нормальных условиях эксплуатации, так и при авариях, включая полное обесточивание станции, землетрясения, диверсии и террористические акты. Этого можно добиться, используя другое топливо – шаровые микротвэлы. Такой микротвэл состоит из топливного ядра, покрытого защитными оболочками. Оболочки разделяют топливо и теплоноситель, а также обеспечивают удержание продуктов деления тяжелых ядер внутри микротвэла. Прилегающий к топливу буферный слой выполняется пористым, обеспечивая защиту остальных покрытий от внутреннего давления.

Так как в МАГАТЭ поступили заявления о желании развивать ядерную энергетику от 154 государств, Совет Безопасности ООН ужесточил требования к микротвэлам. Наружная оболочка микротвэла должна быть выполнена из нитридов металлов (ZrN; TiN; AlN; CrN и т.д.). Технологией растворения таких оболочек на заводах по переработке отработанного топлива владеют на сегодня три государства, имеющих ядерное оружие. Наличие таких оболочек снимает все вопросы с выходом активности в тяжелых авариях. В России для использования в реакторах типа ВВЭР рекомендуется микротвэл диаметром 1,8 мм.

Он имеет ядро из двуокиси урана диаметром 1,5 мм и защитную оболочку толщиной 150 микрометров. Активная зона набирается из тепловыделяющих сборок (ТВС) с габаритными размерами стандартных ТВС со стержневыми твэлами. То есть, активная зона с ТВС, содержащими микротвэлы, вписывается в реакторы типа ВВЭР без изменения конструктивных размеров и мощности. Оказалось, что при прекращении охлаждения при аварии температура микротвэлов повышается на несколько десятков градусов за счёт остаточного тепловыделения, но цепная реакция деления прекращается за счёт плотностного и температурного эффектов реактивности водяного теплоносителя–замедлителя. Таким образом, ВВЭР с микротвэлами может останавливаться без срабатывания регулирующих устройств только за счёт отключения циркуляционных насосов.

**Энергоэффективные решения при реновации котлов
тепловых электростанций и котельных**

Болбот С.С.
РУП «Минскэнерго»

Учитывая сложившуюся ситуацию в современной энергетике, есть несколько причин для перевода парового котла в водогрейный режим. Первопричиной является отказ потребителей от пара средних параметров и отсутствие необходимости использовать такой пар для собственных нужд

Также, на отопительных котельных, введенных в работу более 20 лет назад, паровые котлы выработали свой ресурс. По условиям надежности работы оборудования, рабочее давление на них снижено до 0,6-0,8 МПа, что влияет на устойчивость циркуляции, увеличивает интенсивность накипеобразования из-за снижения температуры насыщения и увеличения доли парообразования в экранных трубах. При этом также увеличивается вероятность пережога экранных труб.

При еще большем снижении рабочего давления появляется необходимость отключения чугунного экономайзера, так как в нем может наблюдаться парообразование, что приводит к его разрушению.

Все указанные выше ограничения приводят к значительному снижению КПД котла до 80-82%, а в некоторых случаях до 70-75%.

Одним из наиболее выгодных технических решений является перевод парового котла в водогрейный режим. Реконструкция котла позволяет как повысить надежность работы, так и увеличить экономичность, существенно повышая КПД на 20-25%. В настоящее время существует несколько вариантов схем перевода паровых котлов в водогрейный режим. За основу этих схем взят принцип прямоточного движения воды в котле. Одна из схем перевода в водогрейный режим котлов типа ДКВр разработана и реализована Уралэнергочермет. По этой схеме поступление обратной сетевой воды в экранные трубы топочной камеры, что снижает вероятность парообразования в зоне высоких температур продуктов сгорания. По схеме, реализованной в котельной завода резервуарных металлоконструкций г. Саратова обратная сетевая вода поступает в чугунный экономайзер.

Анализируя имеющиеся расчетные теплотехнические показатели работы котла на различных режимах и фактические результаты работы котлов, можно сделать вывод, что реконструкция котла по предлагаемым схемам позволяет, при сохранении штатных горелок, дымососа и

вентилятора, увеличить тепловую мощность котлов на 30-35% и обеспечить КПД котла при этой максимальной нагрузке до 93,5%.

УДК 621.311

Кожухотрубные теплообменные аппараты

Карницкий Н.Б., Черник А.И.

Белорусский национальный технический университет,

ОАО «Белэнергоремналадка»

Кожухотрубные теплообменники – теплообменные аппараты, в которых теплота передается от греющего к нагреваемому теплоносителю через стенку, а сам теплообменник состоит из пучка трубок, помещенных в цилиндрический корпус.

Принцип работы: вода через нижний патрубок поступает в распределительную камеру, затем в трубки; делает один ход – разворачивается в поворотной камере, затем снова в трубки и в распределительную камеру.

В межтрубное пространство подается пар или другая греющая среда.

Кожухотрубные теплообменники относительно движения среды могут быть одно-, двух- и многоходовыми.

Особенность теплообменников – проходное сечение труб в 2-3 раза меньше проходного сечения межтрубного пространства.

Способы размещения труб в решетках: шахматное или треугольное, коридорное, по концентрическим окружностям, радиальное. Наиболее широкое распространение в кожухотрубных теплообменниках получило треугольное.

Корпус кожухотрубного теплообменника чаще всего стальной. Трубы выполняются из углеродистой стали, меди, латуни и мельхиора. Трубные решетки выполняются из углеродистой стали, латуни и нержавеющей стали.

Расчет кожухотрубных теплообменников на нужные параметры завершается подбором материалов, конструкции расположения труб в корпусе.

Основные преимущества: 1 – высокая эффективность, 2 – компактность, 3 – достаточная надежность, 4 – широкая область применения, 5 – легкость чистки и ремонта.

Кожухотрубные теплообменники используются для нагрева, охлаждения, испарения, либо конденсации рабочих веществ в жидком, или газообразном состояниях. Их применение возможно не только в теплоэнергетике, но и в самых различных технологических процессах, что делает такие теплообменники еще более востребованными.

Система теплоснабжения с АТЭЦ

Тарасевич Л.А., Могилат Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Органическое и ядерное топливо являются исчерпаемыми природными ресурсами, поэтому всегда актуальными будут проблемы повышения эффективности их использования на основе как совершенствования энергетического оборудования, так и создания новых высокоэффективных технологий производства тепловой и электрической энергии. В силу сказанного в настоящее время широкое развитие получила атомная энергетика.

Медленные темпы внедрения АТЭЦ и атомных станций теплоснабжения сдерживали покрытие прироста тепловых нагрузок. В связи с этим как одно из направлений атомной теплофикации рассматривается возможность использования АЭС для теплоснабжения городов и агломераций, что определяется следующими соображениями:

- теплоснабжение от АЭС можно осуществить в сжатые сроки и быстрее начать вытеснение органического топлива;
- АЭС являются новыми источниками и располагают значительными возможностями к совершенствованию и форсированию тепловой мощности реакторов;
- при теплоснабжении от АЭС совпадают сроки службы станции и транзитных теплопроводов;
- использование АЭС для теплоснабжения улучшает экологическую обстановку городов.

Комплексные технико-экономические исследования показали следующее.

1. АЭС на удалении на 30-40 км от городов находится вне конкуренции с вариантами теплоснабжения от районных котельных на угле, газе, мазуте;
2. Оправдан переход на температуру теплоносителя в транзитном теплопроводе от АЭС до 170 – 200 °С.
3. Если АЭС как источник теплоснабжения подключается к подготовленной тепловой нагрузке, то оптимальное значение часового коэффициента теплофикации находится в пределах 0,5 – 0,6. Для вновь создаваемых систем теплоснабжения коэффициент теплофикации составляет 0,7 – 0,8.
4. Учет эколого-экономического фактора существенно повышает конкурентоспособность АЭС как источника теплоснабжения.

УДК 536.2

Сушка движущегося слоя торфа в каскадно-слоевой сушилке с перекрестным подводом сушильного агента

Жихар Г.И.

Белорусский национальный технический университет

При энергохимическом использовании топлива, когда от влажности топлива, поступающего в камеру термического разложения, сильно зависит выход химпродуктов, вопросу сушки топлива перед сжиганием уделяется особое внимание. Опыты проводились на однопоточной каскадно-лотковой сушилке с перекрестным подводом сушильного агента, установленной перед топкой-генератором. Сушилка имеет два отсека. Подвод и отвод греющего агента в каждый отсек сделан отдельно, и расход его регулировался при помощи независимых шиберов. Измерение расходов греющего агента производилось при помощи труб Вентури. Отбирались пробы сырого топлива и топлива после сушилки для определения влажности.

Опыты проводились на кусковом и фрезерном топливе, а также на их смеси. Во время опытов температура сушильного агента на входе в верхний отсек сушилки изменялась от 132 °С до 253 °С, а в нижний отсек – от 121 °С до 291 °С; а на выходе из верхнего отсека от 55 °С до 99°С, а из нижнего отсека – от 64 °С до 105 °С. расход сушильного агента в верхнем отсеке сушилки был до 70 км³/ч, а в нижнем отсеке – до 48 км³/ч. Расход абсолютно сухого топлива в опытах изменялся более чем в два раза от 7 до 17 кг а.с.т./ч, а начальная влажность топлива – от 28 до 60 %. Влажность топлива после сушилки составляла 20-35 %. Влажность на 1 м³ слоя составляла для верхнего отсека до 444 кг/м³ч, а для нижнего отсека до 610 кг/м³ч. Время пребывания топлива в сушилке составляло 12-25 мин.

Сопротивление слоя торфа при его толщине в 80 мм составляло всего 5-10 ммв.ст. Проведенные опыты подтвердили возможность организации сушки мелкокускового и фрезерного торфа в слоевой однопоточной каскадно-лотковой сушилке с перекрестным током.

При скорости выхода греющего агента 0,1-0,32 м/с не наблюдалось выноса мелочи из сушилки. Влагосъем в сушилке по абсолютной влажности составлял 16-31 %. В целом надо отметить вполне удовлетворительную работу сушилки, имеющей столь простую конструкцию. Высокая форсировка сушилки при полном отсутствии механизмов и ручного вмешательства, малый расход электроэнергии на подачу сушильного агента, крайняя простота, малая стоимость и высокая надежность конструкции ставят эту схему в ряд прогрессивных. Данная

схема уже нашла широкое применение в практике для сушки древесины и торфа.

УДК 621.311

Повышение эффективности градирен в системе технического водоснабжения Гомельской ТЭЦ-2

Зенович-Лешкевич-Ольпинская А.Ю.,
Зенович-Лешкевич-Ольпинский Ю.А.

Белорусский национальный технический университет,
Филиал РУП «Гомельэнерго» – Гомельская ТЭЦ-2

Повышение эффективности работы систем технического водоснабжения электростанций требует комплексного подхода и включает в себя на примере Гомельской ТЭЦ-2 три основных направления или 3 этапа внедрения:

1 этап: «Внедрение автоматизированной системы шариковой очистки конденсаторов турбин Т-180/210-130 ст.№1-3,

2 этап: «Реконструкция градирен №1 и 2»,

3 этап «Внедрение регулируемого электропривода мощностью 1000 кВт на одном из циркуляционных насосов».

Ниже приведены результаты 2 этапа.

Выполнено обследование технического состояния водоохлаждающих устройств двух градирен, проведены испытания системы технического водоснабжения, разработаны технические предложения по повышению охлаждающей эффективности градирен, а также для снижения ограничения электрической мощности ТЭЦ в конденсационном режиме для летнего (неотопительного) периода года.

После реконструкции градирни №1 среднее снижение температуры охлажденной воды в сравнении с градирней с асбоцементным оросителем составило 4,16 °С. Экономия топлива от внедрения мероприятия за счет улучшения вакуума в конденсаторах турбин – 1415 т.у.т./год.

Результаты испытаний градирни подтвердили гарантийные обязательства фирмы HEWITECH по охлаждающей способности градирни.

Положительный опыт реконструкции и модернизации водоохлаждающего устройства градирни №1 Гомельской ТЭЦ-2 далее можно использовать как при реконструкции существующих, так и при строительстве новых вентиляторных и башенных градирен не только на объектах Белорусской энергосистемы, но и на других промышленных предприятиях Республики Беларусь.

Исследование процессов комплексного энергохимического использования торфа

Жихар Г.И.

Белорусский национальный технический университет

В состав веществ, получающихся при термическом разложении торфа, входят смолы, органические кислоты, фенолы, альдегиды, аммиак, эфир и многие другие химические продукты, имеющие важное народнохозяйственное значение. При этом основная масса химических продуктов, полученных при комплексном использовании торфа, не конкурирует с химическими продуктами, получаемыми из нефти и природного газа, а дополняют их.

Исследования проводились на стендовой установке с топкой-генератором с обращенным дутьем. Подсушенное топливо поступает в камеру термического разложения топки-генератора, где в результате обогрева его частью газов, поступающих в качестве теплоносителя из зоны активного горения в швельшахту, образуются неконденсируемые газы (швельгаз) паро- и туманообразного вещества, а также полукокс. Полукокс поступает в зону активного горения. В зоне активного горения происходит сжигание полукокса. Опыты на стенде проводились на торфе различного фракционного состава, от чистого фрезерного торфа до мелкого кускового, а также на их смеси. Полученные опытные данные обрабатывались по методике: безразмерные выходы химических продуктов: смолы $\frac{K_{см}}{K_{осм}}$,

швельгаза $\frac{K_{шв}}{K_{ошв}}$, воды разложения $\frac{K_{в.р.}}{K_{ов.р.}}$, где $K_{осм}$, $K_{ошв}$ и $K_{ов.р.}$

представляют собой предельные значения выхода продуктов.

Определяющим критерием процесса в шахте является $\frac{V_{г.ш.} \cdot C_{г.ш.}}{BC_{np}}$, где $V_{г.ш.}$ –

расход газа по шахте, $C_{г.ш.}$ – теплоемкость газа, B – расход топлива, C_{np}

– приведенная теплоемкость топлива в процессе термолиза с учетом испарения влаги топлива, поступающего в шахту и пирогенитической влаги. Результаты опыта представлены в виде графиков. Значение выхода химпродуктов в основном определяется количеством теплоты, вносимой с греющими газами в камеру термического разложения. Предельные выходы химпродуктов достигаются при значении критерия $\frac{V_{г.ш.} \cdot C_{г.ш.}}{BC_{np}} \approx 0,5$. При

этой величине можно определить количество газа, которое следует отбирать из шахты для обеспечения максимального выхода химпродуктов.

УДК 621.311

Внедрение в учебный процесс компьютерных программ CADIX и ROSA для проектирования ВПУ ТЭС и АЭС

Нерезько А. В., Денисов С. М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время водоподготовительные технологии, применяемые на ТЭС и АЭС, развиваются стремительными темпами. Многие современные компании-производители водоподготовительного оборудования предлагают специализированные программные продукты для расчёта и проектирования водоочистительных установок. Наибольшее применение на ТЭС и АЭС в настоящее время получили ионообменные и мембранные технологии, вследствие чего в учебный процесс для выполнения курсовых и дипломных проектов специальностей 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции», 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» были внедрены программы CADIX и ROSA. Вышеприведенные программы разработаны компанией Dow Chemical и находится в свободном доступе на сайте по адресу <http://www.dow.com>.

Программа CADIX разработана для расчета ионообменных установок обработки воды с применением смол компании Dow Chemical, которая позволяет выполнять технологические расчеты вновь создаваемых, существующих, а также реконструируемых установок в схемах обессоливания, умягчения, снижения щелочности воды, конденсатоочистки, финишной обработки обратноосмотического пермеата, удаления нитратов и бора, а также удаления органических веществ с помощью ионитов-органопоглотителей. Она обеспечивает возможность расчета различных типов ионообменных технологий, а также работу фильтров смешанного действия. Программа же ROSA предназначена для расчета обратноосмотических и нанофильтрационных установок с применением мембранных элементов FILMTEC. Интерфейс программы включает в себя: меню ввода информации о проекте, меню ввода параметров состава исходной воды; меню настройки конечных свойств пермеата; меню ввода компоновочных параметров, типа мембран и производительности ВПУ; результаты расчета технико-экономических показателей мембранной установки.

В настоящее время в печати находится учебно-методическое пособие

«Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС», в котором подробно описана методика работы с вышеописанными программами.

УДК 620.9:001.891.57

Компьютерное моделирование газодинамики проточной части турбоагрегата малой мощности с парциальным подводом рабочего тела

Сверчков С.А., Жукова Ю.В., Левков К.Л.

Белорусский национальный технический университет

Моделируемая турбоустановка предназначена для преобразования энергии избыточного давления природного газа в электроэнергию. В состав моделируемой турбоустановки входят: турбинная часть, предназначенная для преобразования потенциальной энергии потока газа в механическую энергию вала. Конструктивной особенностью турбоустановки является всего одно рабочее колесо. Но на нем осуществляется многоступенчатое расширение потока рабочего тела с его подогревом между ступенями. Это возможно за счет подвода рабочего тела от одного сегмента рабочего колеса к другому. Для моделирования проточная часть турбоагрегата представлена в виде трёхмерной модели рабочего тела (природного газа).

Цель моделирования – определение потерь давления в ступенях турбоагрегата, а также выявление перетоков между ступенями. Основные задачами моделирования – сопоставления теоретических расчётных данных, а также экспериментальных данных с результатами трёхмерного компьютерного моделирования, а также проверка заложенных конструктивно-технологических и технических решений. В процессе моделирования были определены следующие параметры: характер движения рабочего тела во всей проточной части турбоустановки, распределение давления рабочего тела в проточной части турбоустановки, изменение плотности рабочего тела, изменение скорости рабочего тела в ступенях и в каналах между ступенями.

Расчеты проводились с помощью программного комплекса ANSYS 14.5в Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси. Решались нестационарные уравнения Рейнольдса, уравнение неразрывности и уравнение энергии. Для замыкания уравнений Рейнольдса была использована $k-\omega$ модель переноса сдвиговых напряжений Ментера. В процессе решения сходимость задачи контролировалась уровнем погрешности. Для давления и скоростей минимальный уровень погрешности составлял 10^{-3} , для температуры – 10^{-5} . Для

подобных задач необходимо задавать зависимость плотности и вязкости, от температуры и давления согласно закону идеального газа и динамической вязкости – по Сазерленду.

УДК 621.165

Снижение затрат энергии на транспорт теплоносителя

Тарасевич Л.А., Могилат Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Возможность значительного (до 40-60%) снижения гидравлического сопротивления трубопроводов введением в поток жидкости малых добавок веществ пока не получила заметного применения в тепловых сетях. Это объясняется, с одной стороны, недостатком эффективных, биологически безвредных и коммерчески доступных, производимых в промышленных масштабах специальных добавок, с другой стороны, отсутствием научно обоснованных практических рекомендаций и методик по использованию таких добавок. Такими добавками могут быть поверхностно-активные вещества (ПАВ), синтетические, природные высокомолекулярные полимеры, а также полисахариды, являющиеся продуктом жизнедеятельности почвенных бактерий.

Эффект от применения активированного теплоносителя может проявляться в увеличении пропускной способности или передаваемой тепловой мощности теплосетей при заданных диаметрах труб, в уменьшении диаметра труб при заданной передаваемой тепловой мощности или в увеличении дальности передаваемой тепловой мощности.

Расчеты показывают, что периодическое введение полимерных добавок увеличивает стоимость отпущенной единицы тепла на 0,7 – 1%, но в то же время эта добавка позволяет экономить 20% электроэнергии, расходуемой на перекачку теплоносителя. Потенциальный энергосберегающий эффект от снижения сопротивления систем транспорта теплоты можно представить из таких цифр. В Беларуси за год на перекачку теплоносителя расходуется до 1,5 млрд. кВт·ч электроэнергии или около 400 тыс. тонн условного топлива.

Таким образом, применение полимерных добавок может обуславливать экономический эффект как в условиях эксплуатации, так и развития теплоснабжающей системы. Для стабильных систем с постоянной тепловой нагрузкой эффект определяется уровнем энергосбережения. Для развивающихся систем с растущей тепловой нагрузкой основным фактором эффективности применения полимерных добавок выступает прямая экономия капитальных вложений. Во всех случаях экономический эффект зависит от замыкающих затрат на

энергоресурсы и роста тепловой нагрузки теплопроводов, т.е. от показателей, меняющихся для каждого конкретного случая и каждой территориальной зоны.

УДК 697.34(075.8)

Продление ресурса тепловых сетей

Герасимова А.Г., Криксина Е.Н., Мальгин С.А.
Белорусский национальный технический университет

Тепловые сети, являясь составной частью системы централизованного теплоснабжения современных городов, представляют собой сложные инженерные сооружения, предназначенные для транспортировки тепловой энергии от источников тепла к потребителям.

Срок эксплуатации большей части тепловых сетей в Беларуси превышает назначенный амортизационный срок. По своему техническому состоянию требуют немедленной замены около 20% от общей протяженности сетей. Происходит быстрое старение тепловых сетей, в результате чего ежегодно обнаруживается 1500-1700 их повреждений.

Возможные пути повышения срока эксплуатации предусматривают дорогостоящие и не всегда действенные мероприятия, которые направлены на: 1 - совершенствование водно-химических режимов; 2 - диагностику тепловых сетей; 3 - применение противокоррозионной защиты.

Перспективным и простым направлением повышения надежности и долговечности трубопроводов тепловых сетей является термическая обработка. По сложившейся многолетней практике и в соответствии с ранее действующими нормативными документами по строительству тепловых сетей в проекты закладывали электросварные трубы с локальной или объемной термообработкой. Термическая обработка в первую очередь предназначалась для снятия остаточных послесварочных напряжений в сварных соединениях. Кроме, того, термическая обработка, позволяет совершенствовать структуру и тем самым и повысить коррозионную стойкость материала.

Действующие в настоящее время нормативные документы по тепловым сетям не требуют обязательной термообработки, что естественно, снижает стоимость труб, но в тоже время и снижает их ресурс.

Проведенные экспериментальные исследования остаточных напряжений в сварных швах труб из сталей 20 и 17Г1С подтверждают наличие остаточных напряжений в сварных соединениях, достигающих в отдельных случаях величин, равных пределу текучести материала. Это поле остаточных напряжений накладывается на рабочие напряжения, ускоряя процессы коррозии.

Результаты исследований свидетельствуют о необходимости разработки мероприятий по снижению остаточных сварочных напряжений, в частности применения термической обработки труб.

УДК 681.51

Идентификация участков объектов регулирования уровня воды в барабане котла

Кулаков Г.Т., Кухоренко А.Н.

Белорусский национальный технический университет,
Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Для определения динамики опережающего участка объекта используют методику, приведенную в [1].

Поскольку динамика инерционного участка объекта без самовыравнивания описывается передаточной функцией реального интегрирующего звена $W_1(p) = 1/T_1 p(\tau_1 p + 1)$, то для получения численных значений последней используют экспериментальные импульсные функции (рисунок 1), обработка которых производится по методике, приведенной в [2].

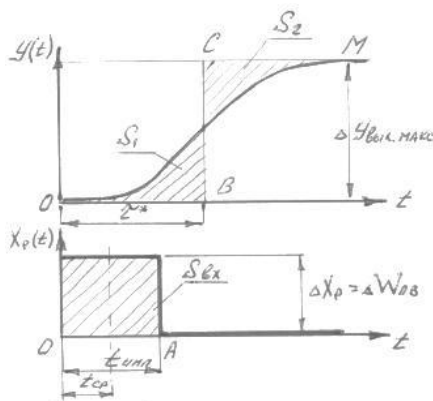


Рисунок 1. Импульсная характеристика по уровню воды в барабане котла при возмущении расходом питательной воды

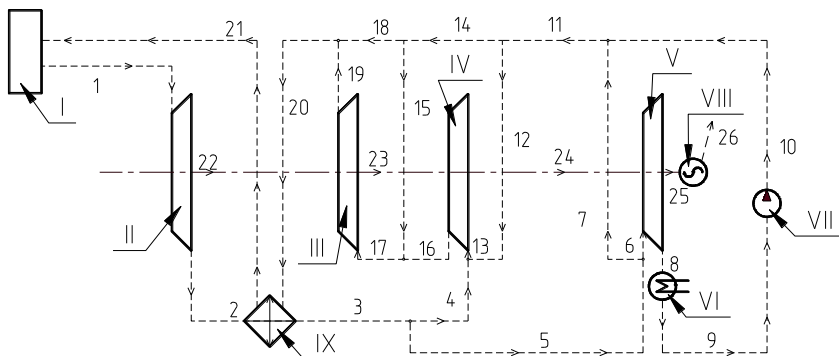
Вначале определяют время τ_1 . Для этого проводят среднюю линию входного регулирующего воздействия с площадью $S_{вх}$, ограниченной кривой входного воздействия, и находят численное значение $t_{ср}$ середины импульса. Затем проводят прямую CM параллельно оси времени и еще вертикаль CB , отсекающую на графике входной величины $y(t)$ равные площади $S_1=S_2$. Находят численное значение отрезка $OB=\tau^*$. Затем вначале

определяют время $\tau_1 = \tau^* - t_{cp}$, потом численное значение постоянной времени $T_1 = S_{ex} / \Delta y_{вых. макс}$.

УДК 629.97

Исследование технологий переработки промышленных и бытовых органических отходов

Седнин В.А., Матявин А.А., Прокопеня И.Н., Кузьмич К.А.
Белорусский национальный технический университет



I – Печь с кипящим слоем, II – газовая турбина, III, IV – компрессор, V – паровая турбина VI – конденсатор, VII – насос, VIII – генератор, IX, X, XI, XIV – теплообменники, XII, XIII – модули ОРЦ либо сетевые подогреватели; 1, 2, 3 – потоки воздуха, 4 – топливо, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 43 – дымовые газы, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 32 – вода 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 26, 29, 30, 31, 33, 34 – пар, 35, 36, 37, 38 – механическая энергия, 39, 41, 42 – электроэнергия.

Поток воздуха 1 из атмосферы поступает в воздухоподогреватель X, где подогревается до температуры до температуры 200...250 °С, и далее следует (поток 2) во вторую ступень подогрева, где его температура достигает 400 °С. Горячий воздух поступает в печь с кипящим слоем I, куда подается, в качестве топлива, иловый осадок 4. Поток продуктов сгорания 5 с температурой 700...750 °С поступает в теплообменник XIV, где нагревается поток водяного пара 25, являющийся рабочим телом парогазовой установки. Вторая часть дымовых газов используется для подогрева воздуха. Поток перегретого пара 13 далее поступает в газовую турбину II, после которой разделяется на два потока 16 и 17. Первый из них подается на вход в 1-ю ступень компрессора IV, сжатый водяной пар (поток 29) далее охлаждается путем смешения с потоком конденсата 28 и далее охлажденный поток пара 30 поступает на 2-ю ступень компрессора

III. Поток пара 31 после компрессора смешивается с потоком конденсата 32 и далее подается в высокотемпературный теплообменник IX.

Поток пара 18 поступает в паровую турбину V, обработавший пар (поток 20) после турбины подается в конденсатор VI, далее насосом VII конденсат возвращается в цикл.

Была выполнена параметрическая оптимизация свыше приведённой технологической схемы комбинированной парогазовой установки. В качестве управляемых переменных принимались: температура и давление перегретого пара на входе в газовую турбину; давление перегретого пара за газовой турбиной. Диапазон изменения $T_{13}=1000\dots1150$ К, соответствует $p_{13}=4,0 - 1,5$ МПа, $p_{14}=0,1 - 1,0$ Мпа.

УДК 620.9:662.92

Эффективность применения абсорбционных тепловых насосов на отопительных котельных и мини-ТЭЦ

Седнин В.А., Райко Д.М., Лазук Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из известных мероприятий по повышению использования потенциала газового топлива на котельных является утилизация скрытой теплоты водяных паров дымовых газов. Однако, несмотря на эффективность, это техническое решение на постсоветском пространстве до сих пор не получило широкого распространения. В то же время зарубежные производители котельного оборудования выпускают конденсационные бытовые котлы и конденсационные поверхностные экономайзеры (КЭ) для промышленных котлов малой и средней мощности. Ещё одним из стимулирующих факторов использования низкопотенциальной теплоты в энергетике и промышленности является появление на мировом энергетическом рынке надёжных абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов (АБТН).

Были рассмотрены примеры совместного использования вышеупомянутого оборудования на отопительной котельной и мини-ТЭЦ. Расчет основных параметров производился с помощью математического моделирования. В результате расчетов были определены основные характеристики КЭ и АБТН. Теплосъем с конденсационного экономайзера составил 840 кВт, влагосодержание дымовых газов снизилось с 0,11 кг/кг до 0,03 кг/кг, расчетная теплопроизводительность абсорбционного теплового насоса составила 1080 кВт. КПД котлоагрегата за счет применения конденсационного экономайзера увеличился на 12 %, что может снизить топливные затраты в среднем на 90 тыс. у.е./год. Простой срок окупаемости применения конденсационного поверхностного

экономайзера и теплового насоса при работе установок 4000 ч/год не превысил 6 лет, что относит данное мероприятие к энергоэффективным.

Совместная работа АБТН и конденсатного экономайзера позволит использовать почти весь потенциал продуктов сгорания, при этом появляется возможность отпускать в сеть на 22 % больше тепловой мощности.

Данная комбинация использования АБТН и КЭ на котельных и мини-ТЭЦ позволит экономить углеводородное топливо и более эффективно его использовать. Кроме этого комбинация является энергоэффективной и позволяет, затрачивая 60 % высокопотенциальной теплоты на природ АБТН, получить на выходе 100 % горячей воды с температурой до 80 °С.

УДК 541.128.

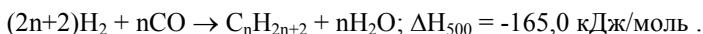
Перспективность промышленного метода получения моторных топлив из альтернативного (ненефтяного) сырья

Краецкая О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Проблема получения высокооктановых компонентов моторных топлив и других химических продуктов из ненефтяного сырья (угля, природного газа, 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 перспективных процессов получения жидких углеводородов из альтернативного сырья является синтез углеводородов из СО и Н₂ – синтез Фишера-Тропша (СФТ), основную реакцию которого можно записать как:



При полном превращении синтез-газа, содержащего компоненты в мольном соотношении СО/Н₂=1/2 и приведенного к н.у., максимальный выход жидких углеводородов составляет 208,5 г/м³.

Интерес к этой реакции обусловлен рядом причин. Во-первых, это простой путь получения углеводородов из любого углеродсодержащего сырья (угля, природного газа, торфа, органических отходов и т.д.). Во-вторых, в связи с создавшимися в настоящее время высокими мировыми ценами на нефть, получение моторных топлив по методу Фишера–Тропша становится более дешевым процессом, чем получение их из нефти. И в-третьих, существенным отличием жидких углеводородов, полученных из синтез-газа, от нефтепродуктов является отсутствие в них серо-, азотсодержащих, а ряде случаев и ароматических соединений. Эти

обстоятельства позволяют считать их наиболее перспективными для экологии больших городов. Следует также учитывать и возможность их легкой ассимиляции существующей системой транспорта, хранения и заправки.

Основными способами получения синтез-газа (смеси CO и H₂) являются газификация угля или конверсия природного газа, запасы которых значительно превышают запасы нефти, а также газификация любого углеродсодержащего сырья (древесина, торф, сапрпель и любая биомасса).

На сегодняшний день мировое производство жидких углеводородов оценивается величиной около 7 млн. т/год.

УДК 629

Теплоэнергетическая система льнозаводов и теплоснабжение сопряженных с ними поселков

Романюк В.Н., Чемерюков А.С., Бобич Н.А.
Белорусский национальный технический университет

К 2020 г. в мире прогнозируется резкий рост стоимости всех ресурсов, что придает большую актуальность разработке первоочередных мер по подготовке каждого предприятия в отдельности к грядущим изменениям на сырьевых и энергетических рынках.

Лен уже сегодня занимает важное место в хозяйственном комплексе Беларуси, однако его роль в будущем должна возрасти. Государство затрачивает большие инвестиции на модернизацию отрасли. Решены или решаются многие узкие места, связанные с его выращиванием, переработкой. Среди проблем, которые подлежат устранению на местах, находится сушка тресты, поступающей на переработку. Нерешенность проблемы приводит к потерям тресты в ходе хранения в тюках до переработки. Ситуация требует изменения в связи с чем ниже рассматривается возможный комплекс соответствующих мероприятий, связанных с модернизацией всей теплоэнергетической системы льнозаводов, которая обеспечивает и дальнейшее снижение себестоимости продукции.

Перевод котельных льнозаводов на использование льнокостры получил признание. Этот переход способствует требованиям энергетической безопасности страны. Котельные должны находиться на балансе льнозаводов. Прилегающие поселки и их коммунальные службы должны покупать тепловую энергию у льнопредприятий, а не наоборот. Это обеспечивает снижение затрат на энергообеспечение и снижение себестоимости продукции.

Снижение себестоимости продукции связано и с технологией приготовления сетевой воды, отпускаемыми котельной льнозавода. Необходимость сушки сырья перед тереблением для генерации сушильного агента обуславливает наличие парового теплоносителя невысокого давления (до 3 ата), который обеспечивает и нагрев сетевой воды. Сушка льнотресты производится перед тереблением в ленточных сушилках, предполагающих размотку тюков с сырьем.

Сегодня имеется оборудование и все условия для котельных заводов по первичной переработке льна к комбинированному энергообеспечению, когда на базе теплотехнологических и отопительных нагрузок обеспечиваются собственные нужды в электроэнергии и снижается себестоимость продукции.

УДК 621.1.016.7 (075.8)

Методика структурных исследований отливки и формы

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Исследованы процессы формирования расплавов в нестационарных полях давлений, скоростей и температур. Приведены формулировки и анализ краевых условий. Установлено, что динамические граничные условия сводятся к заданию либо граничных составляющих скорости, либо их производных, равнозначных заданию составляющих тензора напряжений. Для определенности задачи на всех границах должны быть заданы или компоненты скорости и температура, или их градиенты (соответственно напряжения и тепловые потоки).

В работе исследованы теплофизические и гидродинамические особенности движения жидких металлов и сплавов в каналах сложной геометрии. Решена сопряженная задача гидродинамики и теплообмена при движении расплавов.

В результате проведенных исследований установлены новые количественные соотношения между тепловыми и гидродинамическими параметрами движущегося металла. Из анализа температурных и скоростных полей выявлено влияние профиля канала и краевых условий на структуру потока расплава.

Анализ процессов тепломассопереноса при течении жидких металлов и сплавов проведен с учетом зависимости эффективной вязкости от температуры во всей области течения. В результате математического моделирования и численного эксперимента выявлен физический механизм течения жидких металлов и сплавов с изменяющейся вязкостью в каналах сложной геометрии. Исследование полученных картин линий тока

позволяет определить зоны вихревого циркуляционного течения в кольцевых цилиндрических каналах, что открывает возможности прогнозирования расположения дефектных зон в изделиях, получаемых специальными способами литья (литья под давлением, методами непрерывного литья и др.).

По результатам математического моделирования и численного эксперимента построены таблицы, графики и номограммы, формирующие базу данных оптимальных управляющих параметров процессов затвердевания и охлаждения тонкостенных литых изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов.

УДК 629.735

Развитие ТЭЦ в современных условиях

Бобич А.А.

Белорусский национальный технический университет

Для энергосистем с преобладающей долей комбинированной выработки тепловой и электрической энергии особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности работы существующих ТЭЦ. Названная проблема усугубляется для энергосистем с преобладающей долей ТЭЦ, имеющих слабые межсистемные связи, где возникает необходимость их привлечения к регулированию графика электрических нагрузок. Наибольший эффект от перехода к парогазовой технологии имеет место на ТЭЦ и поэтому в первую очередь необходимо модернизировать ТЭЦ.

С переводом ТЭЦ на парогазовую технологию изменяется структура генерации из-за увеличения удельной выработки в 2–4 раза. Структура потребления хозяйственным комплексом не изменяется. В результате вытесняются из процесса генерации электроэнергии конденсационные блоки, как паротурбинные так и ПГУ, что создает проблемы с регулированием мощности. С вводом АЭС ситуация еще больше усугубляется: происходит вытеснение традиционных регуляторов мощности – паротурбинные КЭС. Возникает проблема в обеспечении графика электрических нагрузок. В этой связи выдвигаются новые требования к ТЭЦ. При этом необходимо вносить коррекцию на изменение параметров окружающей среды, учитывать режимы работы ТЭЦ и требования энергосистемы к работе конкретного источника.

Для решения поставленной задачи необходимо: 1. – использовать сбросные схемы ГТУ вместе с утилизационными; 2 – устанавливать абсорбционные холодильные машины для стабилизации характеристик ГТУ; 3. – применять тепловые аккумуляторы для регулирования

мощности; 4. – утилизировать низкотемпературный поток теплоты, рассеиваемый с циркуляционной водой в градирнях в абсорбционных тепловых насосах.

В результате такой модернизации ТЭЦ и ПГУ-ТЭЦ повышается эффективность использования природного газа и ТЭЦ приобретают новые качества, позволяющие при сохранении отпуска тепловой энергии от источника регулировать график генерации электроэнергии без перерасхода топлива, что в условиях Беларуси уже актуально и чрезвычайно обостряется с пуском АЭС. Экономический эффект для Республики Беларусь определяется снижением годовой потребности импорта ПГ более 1 млн т у. т.

УДК 621.1.016.7 (075.8)

Расчет теплообмена в многослойной литейной форме

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим теплофизические особенности процесса теплообмена в многослойной стенке в общей постановке. Отдельные слои могут претерпевать фазовые или химические превращения (отвердевания термореактивных смол, гипсовых наполнителей, испарения или конденсации в пористых теплозащитных материалах). Расчет проводим с учетом фазовых превращений и зависимостей теплофизических характеристик сопряженных тел от температуры.

Найдем распределение температуры в системе сопряженных тел для каждого момента времени. В этих условиях температурное поле многослойной стенки описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений переноса теплоты (ввиду нелинейности потоков теплоты и граничных условий) с соответствующими краевыми условиями. Изменение температуры по сечению (вдоль координаты x) в любой момент времени для каждого слоя многослойной стенки определяется из решения системы дифференциальных уравнений теплопроводности:

$$c_i(T_i)\rho_i(T_i)\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda_i(T_i)\frac{\partial T_i(x,t)}{\partial x}\right],$$

где i – индекс, определяющий принадлежность уравнения и параметров к различным слоям многослойной стенки;

$c_i(T_i)$ - удельная теплоемкость i - го слоя как функция температуры;

$\rho_i(T_i)$ - плотность материала i -го слоя как функция температуры;

$\lambda_i(T_i)$ - коэффициент теплопроводности i -го слоя как функция температуры;

x – координата, направленная по нормали к поверхности стенки.

Условия теплового сопряжения на границах слоев (граничные условия IV рода) имеют вид:

$$\lambda_i(T_i) \frac{\partial T_i}{\partial t} = \lambda_{i-1}(T_{i-1}) \frac{\partial T_{i-1}}{\partial x}, x = x_i$$
$$T_i = T_{i-1},$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; x_i – длина сопряжений i -го и $(i-1)$ слоев.

УДК 621.1.016.4

Предпосылки к выбору высокотемпературного рекуператора в схеме газотурбинной установки с внешним сгоранием на биомассе

Мясникович В. В., Шкловчик Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Высокотемпературный теплообменный аппарат является неотъемлемой частью в схеме газотурбинной установки с внешним сгоранием, к которому предъявляются строгие эксплуатационные требования. Создание теплообменника, удовлетворяющего этим требованиям, позволит расширить области применения и повысить конкурентоспособность газотурбинной технологии с внешним сгоранием.

Для выбора основного конструктива теплообменного аппарата, прежде всего, следует определиться с его материалом: металлический или керамический. Керамический рекуператор, пожалуй, имеет единственное преимущество, которое в настоящий момент при высоком уровне развития материаловедения присуще и некоторым типам сталей – способность выдерживать высокие температуры. Однако, ряд сложностей, которые возникают при выборе керамики в качестве материала, практически сводят на нет ее использование. Прежде всего, это высокие масса-габаритные параметры керамических рекуператоров при малом значении коэффициента теплопередачи, недопустимо низкая газоплотность при работе под повышенным давлением, дополнительные требования к обустройству, ремонту и очистке рекуператора. Пожалуй, основной

проблемой использования керамического рекуператора является его высокая стоимость ввиду не широкого распространения как на стадии разработок, так и изготовления.

Металлические пластинчатые высокотемпературные теплообменники, как и керамические, имеют малое распространение на стадиях разработок и рассчитаны в основном на уровень температур ниже, чем того требует газотурбинная технология и более чистые теплоносители, получение которых при использовании биомассы в качестве топлива – сложно.

Выбор трубчатого металлического рекуператора в качестве основного конструктива теплообменного аппарата, учитывая вышеописанные недостатки других конструкций, очевидно. Требуется использовать высоколегированную коррозионно-стойкую сталь и температурную компенсацию. Выбранный конструктив имеет широкое поле для инженерного творчества в области интенсификации теплообмена и снижения масса-габаритных параметров рекуператоров.

УДК 697.1

Текущее положение систем централизованного теплоснабжения Республики Беларусь

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет

Энергопотребление на теплоснабжение Беларуси составляет до 40 % потребности в энергоресурсах, при этом до 60 % расходуется в системах централизованного теплоснабжения, оставшиеся 40 % потребляются в прочих системах. В отопительный период имеет место диспропорция между структурами генерации энергии в энергосистеме электроэнергетики и тепловой страны и потребления указанных вторичных энергопотоков. Для ее ликвидации в ночное время вынуждено разгружаются отборы турбин ТЭЦ. Нагрузка передается на пиковые мощности и на КЭС, в результате имеет место пережог топлива. С вводом АЭС описанная ситуация резко обострится. Среди решений по блокированию диспропорции структур генерации и потребления вторичных энергоресурсов незаслуженно игнорируется включение в состав теплогенерирующих источников абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов и утилизация с их помощью побочных низкотемпературных тепловых потоков промышленных предприятий и городского коммунального хозяйства. Подобная утилизация побочных энергопотоков предусматривается приоритетными направлениями развития систем централизованного теплоснабжения. Энергосберегающий потенциал составляет не менее 1 млн т у. т. в год. Удельный вес побочных энергопотоков составляет до

30% энергии, потребляемой на коммунальные нужды и промышленностью, которая оценивается как достигающая 80% общего энергопотребления. Кроме того, в результате в отопительный период идет вытеснение отопительных отборов промышленными, что снижает удельную выработку электроэнергии примерно с 450 до 250 кВт·ч/Гкал. В результате имеет место смягчение ситуации с диспропорцией структур потребления и генерации вторичных энергопотоков.

УДК 330 (476)

Системный подход к модернизации энергообеспечения предприятий легкой промышленности

Романюк В.Н., Муслина Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

Снижению потребления первичных энергоресурсов на нужды промышленных предприятий Беларуси будет способствовать решение проблем эффективного выбора энергоисточников, их сочетаний, параметров теплоносителей, качественно обеспечивающих запросы потребителей в энергии при минимальных топливных и экономических затратах. Это требует применения основ системного анализа в части принятия решений по модернизации теплоэнергетической системы промышленных предприятий (ТЭСПП), и по возможности оптимизации самих теплотехнологий предприятий. Системный подход в энергетике характеризуется комплексностью исследований, т.е. всесторонним рассмотрением изучаемой системы и проблемы с учетом ее внешних и внутренних взаимосвязей, разнообразных ограничений и последствий принимаемых решений.

Целью данной работы является развитие основ системного подхода и его применение к решению нового класса энергетических задач: анализу систем энергопотребления и энергообеспечения предприятий легкой промышленности соответствующими математическими методами и разработке универсальной стратегий оптимизации ТЭСПП рассматриваемых предприятий. Для этого использовалась предлагаемая академиком Н.Н. Моисеевым методика постановки и решения задач системного анализа, согласно которой основным вопросом при расчете и оптимизации сложных систем является выбор уровня декомпозиции (разложение системы на взаимосвязанные элементы) и агрегирования (объединение частей в единое целое) объекта. Таким образом, уровень агрегирования и декомпозиции системы даже при одинаковых функциях цели будет приводить к разным оптимальным решениям. В связи с требуемой по техническим и экономическим причинам реорганизацией

энергогенерирующих и энергоиспользующих систем предприятий легкой промышленности, поиск таких решений при разном уровне декомпозиции системы становится весьма актуальным.

УДК 621.1 670

Утилизация низкотемпературных тепловых отходов отделочных производств предприятий легкой промышленности

Муслина Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день большинство предприятий текстильной индустрии обладают избытком тепловых вторичных энергоресурсов (ВЭР), потенциал которых не используются. Значительная часть ВЭР образуется в отделочном производстве в процессе совершения таких технологических операций как варка полотен, крашение, отбеливание, промывка, а их выход происходит с отходящими горячими потоками отработанной технологической воды, теплоизлучением, загрязненным конденсатом отработавшего пара и пр. Данные потоки относятся к низкопотенциальным.

Анализ энергопотребления существующих крупнейших предприятий легкой промышленности Беларуси позволил оценить не только удельные энерго- и теплотраты предприятий на тонну производимой продукции, но и количество и температурный уровень образующихся ВЭРов. Проведенные исследования показали, что в отделочных производствах текстильных и трикотаж предприятий удельное теплотребление на тонну готовой продукции находится на уровне 10–14 ГДж, что обусловлено разнообразием отделочных машин.

На большинстве крупнейших текстильных фабрик Беларуси с полным циклом производственных процессов, таких как ОАО «Моготекс», ОАО «БПХО», ОАО «Камволь» и пр., в отделочных производствах преобладают машины непрерывного действия. В этом случае на тонну готовой продукции образуется порядка 36 м³ стоков с температурой до 55°C. Суммарные годовые объемы стоков предприятий данного типа оцениваются величиной в 5,8 млн м³. На фабриках с преобладающей долей машин периодического действия, удельные объемы образующихся стоков составляют 65 м³, средняя температура 45–47 °С. Суммарные годовые объемы ВЭРов для предприятием такого типа оцениваются величиной порядка 1,4 млн м³. При утилизации образующихся ВЭРов, с помощью абсорбционных тепловых насосов, годовой энергосберегающий потенциал в среднем по стране составит порядка 700 ТДж теплоты или 167 тыс. Гкал.

Образование и пути выравнивания петли гистерезиса при пусконаладочных работах теплогенераторов

Ярмольчик Ю.П., Ярмольчик М.А.

Белорусский национальный технический университет

Во всех конструкциях магнитных газовых клапанов используются электромагниты с возвратно-поступательным перемещением якоря. В сердечнике электромагнита после выключения тока сохраняется остаточный магнетизм. Величина его зависит от свойств материала сердечника и достигает большего значения у закаленной стали и меньшего у мягких ферритовых сплавов. Однако, как бы ни была мягка сталь, остаточный магнетизм все же будет оказывать влияние, если по условиям работы клапана необходимо перемагничивание его сердечника. При всяком изменении направления тока в обмотке электромагнита необходимо сначала размагнитить сердечник, и только после этого намагнитить в новом направлении. Для этого потребуется магнитный поток противоположного направления. Изменение намагничивания сердечника (магнитной индукции) всегда отстает от соответствующих изменений магнитного потока, создаваемого обмоткой. Это отставание магнитной индукции от напряженности магнитного поля представляет собой гистерезис. Практически это будет означать затрату какой-то части электрической энергии на преодоление коэрцитивной силы, затрудняющей поворот магнитных диполей в новое положение. Затраченная на это энергия выделяется в виде тепла и представляет потери на перемагничивание или потери на гистерезис. Однако в случае, когда магнитные клапана регулируют подачу горючего газа на горелочное устройство, основные потери будут связаны с увеличением (при открытии) или с уменьшением (при закрытии) расхода газа по сравнению с теоретической кривой горения. При этом в одной и той же позиции, а, следовательно, при поступлении оптимального количества воздуха на горение при открытии клапана будет избыток горючего газа, и, как следствие, дополнительная эмиссия CO, а при закрытии – избыток O₂, что приведёт к снижению температуры пламени, и, как следствие, мощности теплогенератора.

В результате исследований было показано, что корректируя позиционирование клапана в зависимости от направления движения штока, можно получить значительную (до 10-12%) экономию топлива, особенно при изменении нагрузки теплогенератора в пределах 30-70%.

**Физические методы и конструктивные решения изменения геометрии
пламени без варьирования расхода сжигаемого топлива**

Ярмольчик Ю.П.

Белорусский национальный технический университет

В случае турбулентных диффузионных факелов пламени процесс сгорания определяется структурой потока и смешением. Применяемые методы расчета основаны на законах подобия турбулентных струй, теории потока в гомогенном реакторе и на полных уравнениях в частных производных для турбулентного течения. При сгорании капель и частиц необходимо учитывать скорости гетерогенных реакций и требуется знать распределения частиц по размерам и в пространстве. Эмиссия загрязняющих веществ, таких, как углеводороды, сажа и оксиды азота, может быть уменьшена соответствующим управлением закономерностями изменения температуры и концентрации в области сгорания. Также необходимо учитывать расчетный лучистый поток тепла от пламени к тепловым стокам (модель с идеальным перемешиванием, модель длинной топки, многоструйная модель, зонный метод анализа).

В течениях с горением влияние тангенциальных потоков подаваемого воздуха и топлива направлено на стабилизацию высокоинтенсивных процессов эффективного чистого сгорания. Течения с существенной тангенциальной составляющей являются результатом сообщения потоку спирального движения с помощью тангенциальной подачи сред в камеру с формированием окружной компоненты скорости. Экспериментальные исследования показывают, что спиральное движение оказывает существенное влияние на поле течения: на расширение струи, процессы перемешивания и затухания скорости в струе (в случае инертных струй), на размеры, форму и устойчивость факела пламени и, собственно, на интенсивность горения (в случае реагирующих потоков). На все эти характеристики влияет интенсивность окружной компоненты скорости, которая характеризуется параметром закрутки, представляющим собой безразмерное отношение осевой компоненты потока момента количества движения к произведению осевой компоненты потока количества движения и эквивалентного радиуса сопла. Каналы подачи топлива располагаются внутри осевых и тангенциальных (генерирующих вихревые потоки) каналов подачи воздуха и вокруг стабилизатора (при использовании распыленного топлива, газа и т.п.) или в центре стабилизатора (при использовании жидких видов топлива, альтернативного твердого топлива и жидких видов топлива и газа при подаче с помощью распылителя).

Основные принципы автоматизации понижительных насосных станций

Прокопеня И.Н., Власюк Д.И., Прокопеня А.Н.

Белорусский национальный технический университет,

Белорусский государственный аграрный технический университет

В данной работе рассмотрены основные задачи, которые выполняет системы автоматизации понижительных насосных станций (ПНС), и описаны основные принципы составления схем автоматизации в контексте поставленных задач.

Понижительная насосная станция (ПНС) – здание или помещение, в котором расположены насосные агрегаты, соединяющие их трубопроводы и арматура. Основная задача ПНС – снижение давления в магистральных трубопроводах обратной сетевой воды. На обратке ПНС устанавливаются для того, чтобы снизить общий перепад давления в тепловой сети и, как следствие, снизить мощность сетевых насосов на теплоисточнике.

Основными задачами, которые стоят перед системами автоматизации ПНС являются:

- включение аварийного насоса (АВР);
- включение резервного источника питания в случае падения напряжения в основном источнике питания;
- стабилизация и регулирование давления до насосной станции;
- рассечка тепловой сети на гидравлически независимые зоны;
- подпитка и поддержание заданного давления в статическом режиме в отключенной от источника тепла зоне;
- отключение подпиточных насосов в случае остановки сетевых насосов на теплоисточнике;
- отключение насосов при перегреве подшипников и отключение эл. двигателей насосов при перегреве обмоток.

Иногда система автоматизация ПНС может выполнять следующие дополнительные задачи:

- включение дренажного насоса при достижении определенного максимального уровня воды в дренажном колодце и его отключение при достижении минимального уровня;

Существует несколько основных гидравлических режимов работы насосных станций. Для разных профилей местности (понижение/повышение уровня земли в направлении потребителя, ровный профиль) и разных вариантов установки ПНС (на прямой/обратной магистрали) будут характерны разные гидравлические режимы, а для каждого гидравлического режима предусмотрена своя схема

автоматизации. Принципиальные схемы автоматизации ПНС для различных гидравлических режимов и различия между ними рассмотрены в других работах.

УДК 620.9:662

Получение и применение дисперсных топлив на основе мазута и угля

Доброго К.В., Давыдко М.И.

Белорусский национальный технический университет

Кроме традиционных твердых, жидких и газообразных топлив в последние годы повышенное внимание исследователей и инженеров-практиков привлекают смесевые дисперсионные топлива, произведенные на основе обводненных мазутов, некоторых видов органических отходов (например, лигнин), углей, биомассы. Использование таких топлив позволяет решать не только энергетические, но и экологические проблемы. Так, разделение по фазам мазут-вода в накопителях-отстойниках требует большого времени и малоэффективно из-за малой разности плотностей мазута и воды. Проблема утилизации или очистки отделенных вод не решается химическими и биологическими методами. Зачастую замазученные воды без должной степени очистки сливаются в общую канализацию.

Одним из возможных направлений решения этой задачи является использование замазученных вод при создании водотопливных эмульсий (ВТЭ). Соотношение фаз вода-топливо в эмульсии, в зависимости от поставленной задачи, может меняться в широких пределах. Наибольший экономический эффект и одновременно снижение экологически вредных газовых выбросов обеспечивает добавление в топливо 10-15% воды.

Кроме ВТЭ, интерес представляют и двухфазные дисперсии, например водоугольные дисперсии, в состав которых могут входить жидкие углеводороды, поверхностно активные вещества и др. При придании такой дисперсии необходимых реологических и теплофизических свойств она может использоваться как альтернатива мазуту в традиционных энергетических установках. Особый интерес могут представлять топливные дисперсии, основанные на органических отходах, отличающиеся высокой экономической эффективностью и, кроме того, дающие экологический эффект.

Для научно-обоснованного применения данных технологий необходимо исследовать связь структурных, теплофизических характеристик альтернативных дисперсных топлив, дать рекомендации по их применению в энергетической сфере.

Возможности использования энергии избыточного давления природного газа в газотранспортной системе

Левков К.Л., Капустин А.С.

Государственное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», Белорусский национальный технический университет

Использование вторичных энергетических потоков (ВЭР) является основой совершенствования теплотехнологии предприятия и пути к повышению энергоэффективности производства. Одним из основных видов ВЭР является энергия избыточного давления природного газа. В виду массовости использования природного газа, как основного вида топлива в Республике Беларусь (более 60% топливно-энергетического баланса страны) развитие технологий этой области является крайне перспективным.

Полезное использование энергосберегающего потенциала потока природного газа связано с его расширением в утилизационных газовых турбинах с выработкой электроэнергии. На территории нашей страны уже используются подобные установки большой мощности на Лукомльской ГРЭС, Минской ТЭЦ-4, Гомельской ТЭЦ-2. Дальнейшее расширение данной области связано с развитием утилизационных газовых турбин малой мощности. Такие установки могут быть применены на ГРУ промышленных предприятиях, ГРП и ГРС. Наличие в стране более 2000 площадок с потребностью в установках мощностью до 100 кВт создает фундамент для внедрения утилизационных газовых турбин.

Использование энергии потока природного газа под избыточным давлением связано с созданием альтернативы регуляторам давления. Использование процесса дросселирования сопряжено с его простотой и незначительным изменением энтальпии потока газа. При внедрении процесса расширения, газ будет значительно охлаждаться, что обуславливает необходимость его подогрева. Предварительный подогрев газа, преобладающий в современных установках, выявляет необходимость наличия высокотемпературного источника для подогрева газа. Это приводит к дополнительным затратам и снижает экономическую эффективность установки.

Дальнейшее развитие установок по использованию потенциала газа избыточного давления связано с внедрением промежуточного подогрева газа между ступенями для получения возможности использования низкотемпературных источников (сбросных потоков теплотехнологий).

Анализ влияния параметров теплоэлектростанций на местных видах топлив на эффективность их функционирования

Левшеня А.И., Матявин А.А., Мясникович В. В.
Белорусский национальный технический университет

В исследовании была изучена схема утилизации илового осадка сточных вод водоканалов на базе парогазовой технологии с применением газотурбинной установки с внешним подводом теплоты и паросиловой установки с органическим теплоносителем. Был произведен анализ влияния температуры подогрева рабочего тела перед входом в газовую турбину на эффективность выработки электроэнергии, рисунок 1.

В качестве оптимальной температуры, в том числе и из соображений технической реализации, для исследуемой схемы утилизации была принята температура нагрева воздуха 840 °С, степень сжатия в компрессоре $\beta = 6$. При полученных оптимальных параметрах мощность между ГТУ и ОРЦ-модулем разделяется соответственно на 1,47 МВт и 0,28 МВт, а общий электрический коэффициент полезного действия будет равен 33,5 %, что является показательным значением для данной схемы.

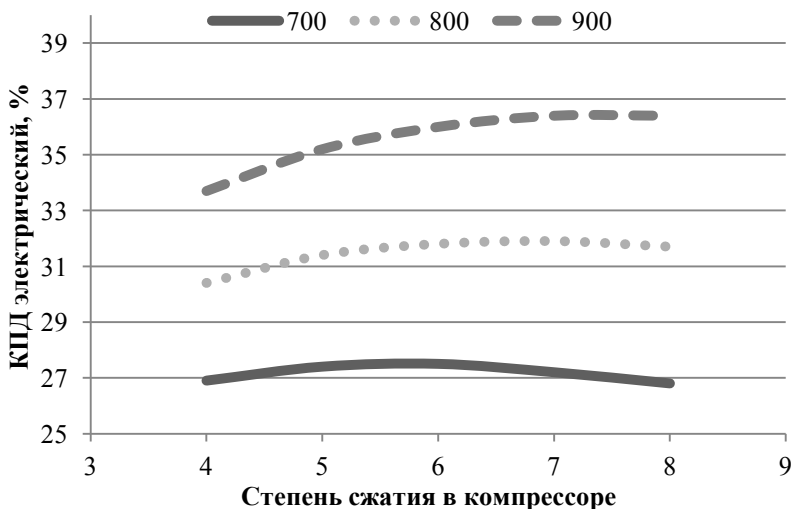


Рисунок 1 – График влияния температуры подогрева рабочего тела перед входом в газовую турбину на эффективность выработки электроэнергии

Применение теплонасосных установок в системах централизованного теплоснабжения

Седнин А.В., Ковалев Р.С., Петюк С.В.

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. 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 необходимо рассматривать варианты для выработки тепловой энергии на базе теплонасосных станций (ТНС). При строительстве источников теплоснабжения с применением ТНС необходимо использовать опыт скандинавских стран, давно и успешно применяющих данные технические решения на практике.

В системах теплоснабжения возможно применение как компрессионных, так и абсорбционных тепловых насосов. В частности в г. Драмменне (Норвегия) с 2011 года функционирует источник теплоснабжения включающий в себя ТНС тепловой мощностью 15 МВт, который используется в базовой части графика тепловых нагрузок и 2х30 МВт газовых котла для покрытия пиковых нагрузок. В качестве источника теплоты используется морская вода, со средней круглогодичной температурой порядка 8 °С.

Применение абсорбционных тепловых насосов (АБТН) возможно в случаях когда есть возможность утилизации большого количества теплоты низкого потенциала. В частности на ГТУ ТЭЦ в г. Рига (Латвия) АБТН используется для повышения теплового потенциала циркуляционной воды, используемой для охлаждения механизмов ГТУ. В качестве теплоносителя высокого потенциала используется природный газ.

**Анализ потенциала низкотемпературных тепловых отходов
нефтеперерабатывающих предприятий**

Седнин А.В., Кузьмин Р.О., Седнин А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время вопросы использования теплоты вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) промышленных предприятий (в том числе нефтеперерабатывающих) в условиях роста цен на углеводородное топливо приобретают все большее значение. ВЭР возникают при естественном протекании технологических процессов и представляют собой, как правило, потоки жидких и газообразных сред с температурой 90–400 °С. Одним из вариантов использования таких тепловых потоков можно с высокой степенью эффективности использовать для производства электрической энергии в установках, использующих органический теплоноситель. В настоящее время на мировом рынке появляются все больше и больше установок на базе осевых и радиальных паровых турбин, винтовых и поршневых машин предназначенных для генерации электроэнергии. Энергогенерирующий модуль заводского исполнения включает в свой состав испаритель, силовую установку, конденсатор, регенеративный подогреватель, питательный насос.

В частности на предприятиях нефтеперерабатывающего сектора имеется большое количество потоков жидкости (процент содержания воды 98-99%), потенциал которых можно использовать для получения электроэнергии для собственных нужд предприятия. Одним из преимуществ применения данных модулей на предприятиях является наличие больших расходов технической воды, которая используется на предприятии которую возможно использовать для охлаждения в конденсаторе рабочего тела энергомодуля.

Предварительные расчеты показывают, что если использовать в качестве греющего теплоносителя поток с температурой 90 °С и расходом 230-300 т/ч, то возможно получение электрической мощности порядка 250-270 кВт. При этом в качестве рабочего тела ОРС-установки как правило используется органическая жидкость R245fa.

Экономическая эффективность данных решений безусловно определяется стоимостью электроэнергии для предприятий, а также единичной мощностью электрогенерирующей установки. Простой срок окупаемости в действующих условиях будет варьироваться от 5 до 7 лет.

Использование гелиосистем в Республике Беларусь

Петровская Т. А., Грицук А. А., Мостыко Ю. В.
Белорусский национальный технический университет

Современная концепция «энергоэффективного» или «экодома» предполагает установку оборудования, позволяющего использовать нетрадиционные, т.н. возобновляемые источники энергии. Популярность системы во многом обязана постоянному совершенствованию гелиосистем и существенному их удешевлению.

Цена на солнечные коллекторы, применяемые для отопления жилища, сегодня соизмерима со стоимостью привычных для нас отопительных систем.

Из всех видов выпускаемых промышленностью солнечных коллекторов наибольшее распространение получили коллекторы с вакуумными трубками и плоские.

Плоские коллекторы представляют собой элемент, способный поглощать излучение солнца, имеющий прозрачное покрытие и термоизолирующий слой. Привлекательной является низкая цена устройства и отличная эффективность в летний период. Из недостатков следует отметить сложный монтаж, невысокую эффективность в холодное время года, большие потери тепла.

Работа вакуумных солнечных коллекторов для отопления дома построена по принципу термоса. Попадающее на прозрачную внешнюю стенку вакуумной трубки излучение не находит препятствий и проходит к внутренней трубке. Вакуумная прослойка между трубками сохраняет около 95% поступающей в нее энергии. Нижняя часть внутренней трубки заполнена жидкостью, которая при нагревании образует пар, который поднимается вверх и, конденсируясь, передает свое тепло коллектору.

Из преимуществ коллекторов этого типа можно отметить высокий КПД как в летнее, так и в зимнее время, даже в условиях сильного (до -30°) мороза и плохой освещенности. Основные недостатки — высокая стоимость, сложности при монтаже, проблемы с очисткой от снега.

Преимущества использования AUTOCAD REVIT

Петровская Т.А., Ролейно Т.Г., Ковалева К.И.
Белорусский национальный технический университет

В отличие от привычного всем AutoCAD, так называемого, электронного кульмана, AutoCAD Revit Structure Suite обладает специализированными функциями для проектирования строительных конструкций. Одна из отличительных возможностей продукта заключается в том, что он позволяет создавать 3D модели объектов любой сложности. Модель конструкции делится на физическую и расчетную. Физическая модель – это геометрия объектов модели, таких как стены, плиты, колонны, балки, связи и др. с заданным материалом, для дальнейшего получения чертежей, спецификаций конструкций. Расчетная же модель – это описание элементов модели с точки зрения расчета – стержни, пластины, жесткие вставки, которые находятся внутри физической модели. Revit обладает возможностью прикладывать нагрузки на элементы, формировать комбинации загружений, а также и задавать граничные условия. Кроме того, программный комплекс позволяет редактировать расчетную модель независимо от физической, и на что следует обратить особое внимание – передавать в комплексы: SCAD Office, ЛИРА, Autodesk Robot Structural Analysis, SOFISTIK и другие.

Создание расчетной схемы отнимает значительную часть времени. При использовании модели Revit расчетная схема выдается автоматически, говоря проще, «то, что нарисовал, то и считаю». Передача модели в расчетный комплекс занимает определенное время в зависимости от сложности схемы и от расчетного комплекса, в котором будет проводиться сам расчет, и на этом этапе расчетная схема нередко требует доработки. Например, использование расчетного комплекса SCAD требует доработки схемы в следующем: необходимо задать загрузки, группы загружений, грунты, однако, в любом случае, экономия времени колоссальна. Если же рассматривать для расчета продукт Robot Structural Analysis, то доработка сводится к минимуму: передается вся модель с жесткостями, нагрузками и их комбинациями, а также граничные условия. Robot имеет двухстороннюю связь с Revit, то есть изменения в расчетной схеме Robot можно автоматически получить в Revit, а следовательно, и вся документация, полученная с модели также изменится. Revit MEP – программный продукт, предназначенный для проектирования внутренних инженерных коммуникаций: отопления, вентиляции и кондиционирования, водоснабжения и канализации, электрики.

Экономика и организация энергетики

УДК 658.382.3: 333.9: 626

Разработка норм времени ремонта оборудования ГЭС

Лимонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

С целью совершенствования отраслевой нормативной базы разработаны нормы времени ремонта основного и вспомогательного оборудования гидроэлектростанций (ГЭС), предназначенные для применения на предприятиях Белорусской энергосистемы. При разработке норм времени учитывались основные технические данные, характеризующие оборудование ГЭС, результаты анализа организации труда при ремонте оборудования ГЭС, предложения и рекомендации энергоремонтных предприятий отрасли, а также технология ремонта. Нормы приведены в человеко-часах (чел-ч). В нормах учтено время на проверку выполнения необходимых мероприятий по подготовке рабочих мест, допуск бригад к работе на заранее подготовленном рабочем месте в соответствии с требованиями правил техники безопасности; разгрузку материалов, инструмента, приспособлений, запасных частей, доставляемых в ремонтную зону и погрузку их для удаления из ремонтной зоны; перемещение материалов, инструмента, приспособлений, запасных частей в пределах ремонтной зоны на расстояние до 50 м; переходы исполнителей в пределах ремонтной зоны на расстояние до 50 м; подготовительно-заключительные работы и обслуживание рабочего места; отдых и личные надобности. Отклонение условий труда от принятых при расчёте трудоёмкости работ учтены поправочными коэффициентами. На работы, не предусмотренные настоящими нормами, могут применяться нормы времени настоящего сборника для аналогичного вида работ с поправочным коэффициентом, согласованным с «Заказчиком» или разрабатываются местные нормы времени.

Проект норм был направлен в РУП-облэнерго для предложений и замечаний. С учетом полученных замечаний и предложений по проекту была подготовлена окончательная редакция норм времени ремонта основного и вспомогательного оборудования ГЭС, которая оформлена к утверждению в качестве стандарта предприятия ГПО «Белэнерго» (СТП 09110.05.601-15).

УДК 621.9

Перспективы развития Белорусской энергетической системы

Кравчук Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Развитие энергетического сектора Республики Беларусь осуществляет-

ся в рамках реализации Государственной программы развития Белорусской энергетической системы на период до 2016 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 29.02.2012 № 194 (далее – Государственная программа).

К 2016 году планируются завершение строительства и ввод в эксплуатацию двух парогазовых установок на Лукомльской и Березовской ГРЭС мощностью 400 МВт каждая, парогазовой установки мощностью 64 МВт на РК-3 в г. Борисове, Полоцкой ГЭС мощностью 21 МВт, а также электрогенерирующих источников на РК-3 в г. Лунинце и РК-3 в г. Барани, использующих местные виды топлива. Данные проекты находятся в стадии реализации. В результате реализации Государственной программы будет введено 1 871,3 МВт высокоэффективных электрических мощностей ГПО «Белэнерго», выведено из эксплуатации 906 МВт; экономия топливно-энергетических ресурсов за период реализации программы достигнет 1265 тыс. т у.т.; удельный расход топлива на производство электроэнергии будет снижен на 25 – 30 г у.т./кВт·ч в сопоставимых с 2010 годом условиях. Экономический эффект от реализации мероприятий Государственной программы оценивается в 273 млн. долларов США.

В перспективе до 2020 года будет продолжена модернизация действующих электростанций с созданием парогазовых технологий путем установки газотурбинных установок, в том числе на Гомельской ТЭЦ-1 и Могилевской ТЭЦ-1, (проекты реализуются с привлечением заемных средств Всемирного банка), Бобруйской ТЭЦ-2, Мозырской ТЭЦ и других, а также реконструкция Минской ТЭЦ-3 и Минской ТЭЦ-2, развитие энергоисточников с использованием возобновляемых источников энергии.

Реализация Государственной программы будет способствовать выполнению принятых Республикой Беларусь обязательств в части формирования общего электроэнергетического рынка Союзного государства, Евразийского экономического сообщества, Содружества Независимых государств, интеграции в энергетический рынок стран Европейского союза.

УДК 502

Кристаллы семейства лангасита для высокотемпературных датчиков давления

Базалевская С.С.^{1,2}, Бузанов О.А.², Кугаенко О.М.¹, Петраков В.С.¹,
Сенатулин Б.Р.¹, Сагалова Т.Б.¹, Сахаров С.А.²

¹НИТУ «МИСиС» (Москва), ² ОАО «Фомос-Материалс» (Москва)

Важнейшую роль в проблеме энергетики играет пьезоэлектрический эффект, позволяющий создавать пассивные и беспроводные датчики всевозможных физических величин (температуры, давления, вибрации), а

также преобразователей на поверхностных (ПАВ) и объемных акустических волнах (ОАВ) для создания частотно-задающих и частотно-селективных элементов СВЧ-диапазона. Основная задача пьезоэлектрического преобразователя – преобразовывать электрическую энергию в механическую и наоборот, эффективность преобразования определяет коэффициент электромеханической связи КЭМС. Многие годы наиболее популярным материалом для пьезоэлементов был высокостабильный и высокодобротный кристаллический кварц, который имеет существенный недостаток: относительно малое значение КЭМС (7%) и фазовый переход при 540 °С. Поэтому был актуален поиск и синтез новых материалов, и в 1980 году был получен новый пьезоэлектрический материал – лангасит, превосходящий кварц по свойствам.

В настоящее время семейство кристаллов лантан-галлиевого силиката, группы кальций-галлогерманатов ($\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$), насчитывает около ста соединений. Наиболее известные из них – лантан-галлиевый силикат, ЛГС, $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, лантан-галлиевый танталат, ЛГТ, $\text{La}_3\text{Ta}_{0,5}\text{Ga}_{5,5}\text{O}_{14}$, лантан-галлиевый ниобат ЛГН, $\text{La}_3\text{Nb}_{0,5}\text{Ga}_{5,5}\text{O}_{14}$, катангасит КТГС, $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$, которые применяются для изготовления температурно-стабильных широкополосных монолитных фильтров, используемых в мобильных системах связи, датчиках давления и детонации, резонаторов в перестраиваемых генераторах, подложек термостабильных срезов для акустоэлектронных фильтров на ПАВ и ОАВ. Преимущества этих кристаллов по сравнению с кварцем заключаются в меньших геометрических размерах элементов, что отвечает требованиям современной электроники и экономит материал, а также в отсутствии фазовых переходов, что позволяет им оставаться пьезоактивными вплоть до их температуры плавления 1470 С.

Крупным производителем кристаллов семейства лангасита является ОАО «Фомос-Материалс», с полным технологическим циклом получения кристаллов и изготовления элементов из них, включающим синтез исходной шихты, выращивание высокосовершенных монокристаллов по методу Чохральского (диаметром до 150 мм и массой до 20 кг) и механическую обработку.

В целях надежной эксплуатации датчиков давления в двигателях внутреннего сгорания, при экстремальных переменных нагрузках, как механических, так и термических (средняя температура в цилиндре 300 °С, а в момент взрыва бензино-воздушной смеси до 3000 °С), проведены многочисленные исследования. Методом высокотемпературной рентгеновской дифрактометрии при нагреве в вакууме и на воздухе выявлена устойчивость фазового состава кристаллов семейства лангасита при отжиге до 1200 °С на воздухе. В вакууме при нагреве выше 1000 °С в кристаллах ЛГТ, ЛГС, КТГС обнаружено частичное разложение исходной фазы с об-

разованием окислов основных элементов, обедненных галлием, что связано с процессом образования летучей закиси галлия и потерей галлия в приповерхностном слое кристаллов. Исследованы механические свойства кристаллов в условиях знакопеременных механических нагрузок до 20 кН/см^2 при частоте 100-150 Гц. Расчет прямого продольного пьезоэффекта при циклических нагрузках при амплитудах напряжений до 20 кН/см^2 показал, что на противоположных сторонах образцов ЛГТ X-среза электрические поля достигают 70 кВ/см , что приводит к уменьшению порога развития трещин в кристаллах, к перестройке дислокационной структуры, двойникованию и значительному снижению температуры начала пластической деформации в хрупких кристаллах. Результаты позволяют прогнозировать перспективность применения кристаллов семейства лангасита в качестве высокотемпературных датчиков. При конструировании устройств на основе монокристаллов семейства лангасита необходимо учитывать как температурную зависимость теплофизических характеристик, так и уменьшение степени анизотропии свойств с ростом температуры. Постоянство фазового состава кристаллов и высокие механические свойства в широком температурном интервале позволяют расширить до 1000-1200 С температурный интервал эксплуатации пьезоэлементов на основе кристаллов семейства лангасита в качестве высокоэффективных датчиков давления, детонации, вибрации для космической и авиационной техники, в атомных реакторах, в двигателях внутреннего сгорания.

УДК 330.621

Эффективность ТЭЦ, работающей на бурых углях

Нагорнов В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время во многих странах мира проявляются интерес к добыче и использованию низкосортных видов топлива, в частности бурых углей. В республике среди разведенных залежей бурых углей наибольший интерес с точки зрения промышленного использования представляет Житковичское месторождение как наиболее разведенное и перспективное с экономической точки зрения. Возможный ежегодный объем добычи оценивается примерно в 4,4 млн.т. бурого угля. Среди возможных направлений переработки использования бурых углей наиболее целесообразными можно считать: термическое и механическое облагораживание, термолиз, газификацию. Продукты термолиза бурых углей могут быть использованы непосредственно в технологических схемах промышленных предприятий. Добыча и использование бурых углей будут сопровождаться ростом экологической нагрузки на окружающую среду. Снижение выбросов может

быть снижено путем облагораживания углей, термохимической переработкой угля.

Для успешного внедрения бурых углей в топливно-энергетический баланс необходимо провести дальнейшие исследования для уточнения технико-экономических показателей их добычи и переработки.

Рассмотрим экономическую целесообразность использования бурых углей при прямом сжигании в котлоагрегатах ТЭЦ. Современная ТЭЦ, сжигающие бурые угли должны иметь котлы, оборудованные специальными топками, ими могут быть: вихревые точки, топки с кипящим слоем и т.д. Кроме того уходящие газы котлов должны тщательно очищаться от золы путем многоступенчатого фильтрования. Все вместе взятое ведет к значительному удорожанию оборудования, а, следовательно, вызывает рост капиталовложений. Если сравнивать буроугольную ТЭЦ, с теплоэлектроцентралью, сжигающую газ, то увеличения удельных капиталовложений может составить 30...40%. Использование бурых углей на ТЭЦ приведет к снижению КПД котлоагрегатов и увеличению расхода энергии на собственные нужды. Эти негативные факторы также необходимо учитывать при сооружении буроугольной ТЭЦ.

УДК 502

Фазовые превращения в системе твердых растворов кадмий-ртуть-теллур под воздействием лазерного излучения

Кугаенко О.М.¹, Петраков В.С.¹, Щербаков К.А.¹, Сенатулин Б.Р.¹,
Карнаух И.М.¹, Астраускас Й.И.², Сахаров М.В.², Средин В.Г.²
¹НИТУ «МИСиС», ²Военная академия РВСН им. Петра Великого, Москва

Ряд твердых растворов КРТ ($Cd_xHg_{(1-x)}Te$) является узкозонным полупроводником, с шириной запрещенной зоны, зависящей от соотношения кадмия и ртути в растворе. – x . Уникальные электрофизические свойства КРТ, такие как высокая квантовая эффективность и время жизни, успешно применяют для создания высокоэффективных ИК-фотоприемников. Существуют проекты по применению КРТ в солнечных элементах, но трудности заключаются в технологической сложности получения, а также связанной с этим высокой ценой материала.

Наличие в КРТ летучего компонента – ртути, объясняет наличие в псевдобинарной фазовой диаграмме $HgTe-CdTe$ размытых линий ликвидуса и солидуса, что усложняет прогнозирование фазовых переходов при высоких температурах. Это и объясняет актуальность исследований поведения твердого раствора при высокотемпературных воздействиях.

Для оценки работоспособности кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ в условиях изменения тепловых условий в настоящей работе поставлена задача

исследования влияния нагрева и воздействия лазерного излучения на структуру монокристаллов КРТ. Для генерации лазерного излучения использовались лазеры на АИГ:Nd ($\lambda=1,064$ мкм) и АИГ:Ег ($\lambda=2,94$ мкм) с длительностью импульса 1 мс. Микроструктура поверхности исследована оптическим методом, элементный состав – методом рентгено-спектрального анализа, фазовый состав – методом рентгенофазового анализа, теплопроводность и теплоемкость кристаллов измерены методом лазерной вспышки.

Состав кристаллов КРТ, определяющий функциональное назначение материала в виде фотоприемников ИК – излучения определенной длины волны, в поле мощного импульсного лазерного излучения изменяется от исходного $x = 0,2$ и $x = 0,3$ до $x = 0,7$, что указывает на разложение исходного состава, уменьшение содержания ртути и изменение интервала спектральной чувствительности ИК-фотоприемников на основе КРТ.

УДК 620.9:05

Автономный дом как один из подходов к экономии энергоресурсов в ЖКХ

Баранников А.И.

Белорусский национальный технический университет

Первые энергоэффективные дома появились в Европе в конце 80-х годов прошлого века. Энергосберегающие здания делятся на два типа: пассивные и активные. Концепция пассивного дома была придумана шведским профессором Бо Адамсоном. Первое требование, предъявленное к такому дому, – возможность обойтись минимальным отоплением в условиях суровых скандинавских зим.

В пассивном доме удельный расход тепловой энергии снижен более чем в 10 раз по сравнению со зданиями старого жилого фонда. Добиться этого позволяют материалы и конструкции с высоким сопротивлением теплопередаче, приточно-вытяжная вентиляция, использующая тепло выбрасываемого воздуха для обогрева, а также возобновляемые источники энергии для отопления и горячего водоснабжения. Меры по «оздоровлению» уже существующих зданий получили название санации.

Но наиболее полно энергоэффективные технологии можно использовать при строительстве именно индивидуальных домов, т. е. мировая тенденция работать в шумном мегаполисе, а жилье перенести в пригород добралась и до Беларуси. Если возводить многоэтажки пассивного типа еще возможно, то активный энергосберегающий дом реален только в частной форме. Но таких проектов в Беларуси по-прежнему единицы. В прошлом году состоялось открытие мультикомфортного дома (пассивного типа) под

Дзержинском, а в этом запланирована презентация качественно нового проекта «Энергодом» в пригороде Минска – в д. Гонолес.

Для оценки эффективности выполненной работы по сокращению теплопотерь здания, эффективного использования в нем энергии и эффективного ее производства в настоящее время используются три основных критерия: комфортное проживание (здоровый образ жизни); энергия (энергетический баланс здания – суммарное количество вырабатываемой и потребляемой домом энергии в конечном итоге должно составить положительный энергодолг); окружающая среда (эффект воздействия здания на окружающую среду должен быть минимальным).

В понятие «комфортное проживание» входят дневной свет, комфортная температура, качество воздуха внутри помещения.

В настоящее время в Белпаруси разработан проект и на его основе построен первый индивидуальный дом такого типа, основной упор, при сооружении которого был сделан на сокращении потерь тепла.

УДК 630.839

Газификация низкосортных местных топлив в пульсирующем слое под давлением

Бокун И. А., Левчук Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет

Газификация топлив в пульсирующем слое под давлением решает ряд важных проблем: интенсификация химических процессов, предотвращение образования агломератов, обеспечивает работу газогенератора с высокодисперсными топливными взвешивками, снижение энергозатрат. Высокие давления позволяют увеличить концентрацию реагирующих газов в реакционном объеме, снизить скорость газового потока при одном и том же массовом расходе, увеличить время контакта газов с высокодисперсным топливом. Процесс газификации в пульсирующем слое под давлением позволяет использовать мелкозернистое топливо с развитой внешней поверхностью без недостатков, которые присущи кипящему слою при атмосферном давлении. В процессе газификации низкосортных топлив в пульсирующем слое под давлением устраняются ограниченные возможности интенсификации химических реакций, повышенный унос топлива с газовым потоком, сокращаются габариты газогенератора. Гидравлический режим пульсирующего слоя характеризуется как снижением сопротивления слоя, так и условиями, определяющими переход неподвижного слоя в подвижное состояние.

Гидравлическое сопротивление пульсирующего слоя в момент перехода его в подвижное состояние характеризуется равенством давления гид-

родинамической силы тяжести на единицу площади:

$$\Delta p = ((\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})(1 - \varepsilon_0) - \rho_{\text{г}} c w_0) (1 - \exp(-0,8f\theta)) \cdot gh$$

$$\Delta p_{\text{max}} = ((\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})(1 - \varepsilon_0) - \rho_{\text{г}} c w_0) (1 - \exp(-0,8f\theta)) \cdot gh_0$$

где Δp - потеря напора, $\frac{\text{кз}}{\text{м}^2}$; $\rho_{\text{ж}}$ - плотность частиц, $\frac{\text{кз} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$;

$\rho_{\text{г}}$ - плотность газового потока, $\frac{\text{кз} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$;

g - ускорение силы свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

ε - морозность слоя;

h_0 - высота слоя в момент перехода во взвешенное состояние, м;

c - скорость звука в дисперсном слое, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

w_0 - скорость газового потока в момент перехода во взвешенное состояние, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$;

f - частота пульсаций, Гц; θ - волновой коэффициент.

УДК 621.4

Эффективность мини-ТЭЦ на базе использования микротурбинных установок

Чернышев В.И., Полещук К.И.

Белорусский национальный технический университет

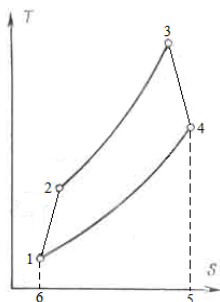
Энергетическая безопасность – основание гарантированной защищённости страны, её граждан, общества, экономики от угрозы дефицита в обеспечении экономически доступными технологиями производства энергии и необходимыми энергоресурсами приемлемого качества. В качестве приемлемых топливно-энергетических ресурсов могут использоваться возобновляемые источники энергии, например, такие как древесина, растительная биомасса и др. Перевод отопительных котельных в мини-ТЭЦ может быть осуществлён путём применения микротурбинных установок.

В настоящее время проявляется значительный интерес к мини-ТЭЦ, т.к. они имеют КПД 80-90%, сроки монтажа 1-2 года для стационарных и 1-2 месяца – на платформах, затраты на эксплуатацию и капиталовложения более низкие, чем у обычных крупных ТЭЦ. Сроки окупаемости составляют от 2 до 5 лет. Единичная электрическая мощность микротурбинных установок может составлять от нескольких кВт до 2МВт и выше, а тепловая 50-200 кВт соответственно.

Использование микротурбины помогает создавать мини-ТЭЦ с глубоким диапазоном регулирования (от 0 до 100%) электрической нагрузки, что играет важную роль у потребителей с цикличным и неравномерным

потреблением в течение суток. Электрический КПД установок составляет 27-30%, а при утилизации тепла общий КПД достигает 75-80%.

На рисунке представлен реальный цикл простейшей микро-ГТУ. Здесь 1-2 – процесс сжатия воздуха в компрессоре, 2-3 – горение топлива в камере сгорания. Так как в компрессоре сжимается 1 кг чистого воздуха, в камере сгорания сжигается b кг топлива, то в процессе 3-4 из камеры сгорания выходит $(1+b)$ кг продуктов сгорания, которые адиабатно расширяются в газовой микротурбине. Выработанные в процессе 4-1 газы выбрасываются, а вместо них засасывается чистый воздух в меньшем количестве. Подводимая в цикле теплота изображается площадью 2-3-4-5-6, а отводимая – площадью 4-1-6-5. Действительная работа цикла: $l_{ц} = q_1 - q_2$.



Подводимая в цикле теплота изображается площадью 2-3-4-5-6, а отводимая – площадью 4-1-6-5. Действительная работа цикла: $l_{ц} = q_1 - q_2$.

Внутренний КПД: $\eta_i = \frac{l_{ц}}{q} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$.

УДК 502

Экономическая ответственность аварийного воздействия на окружающую среду

Бокун И.А, Кабушко А.М.

Белорусский национальный технический университет,
Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Решение проблем негативного воздействия различных хозяйствующих субъектов на окружающую природную среду в настоящее время в основном касается номинальных или близких к ним технологических режимов. Вместе с тем, особую опасность представляют именно непредвиденные, аварийные ситуации.

Основная характерная особенность залпового аварийного воздействия на состояние окружающей среды заключается в вероятностном характере возникновения аварийных событий. В результате потери, связанные с разрушением основных средств, элементов производственной инфраструктуры, остановкой производственного процесса, приобретают свое экономическое содержание в виде непосредственных убытков производителя. Однако наиболее важной экономической составляющей потерь являются последствия, связанные с негативным воздействием на внешние по отношению к источнику реципиенты. В случае появления аварийных загрязнений целесообразно возмещение ущерба возложить на резервный фонд. Держателем этого фонда должна стать страховая служба – страховщик, а все предприятия, обладающие потенциальной экологической опасностью, – войти в его страховое поле в качестве страхователей. В этом случае ответ-

ственность перед пострадавшими несет страховщик, за что предприятие перечисляет на его счет страховые платежи в соответствии с договором о страховании. Предлагается использовать распространенный в страховом деле эффект расщепления риска во времени и пространстве. Уплачивая страховые премии, величина которых относительно необременительна для страхователя, последний перекладывает гарантию возмещения убытков третьим лицам на страховщика. В условиях, когда предприятие имеет повышенный экологический риск, а возмещение ущерба от возможной аварии неотвратимо, ему выгодно идти на расщепление риска, перенесение тяжести своей ответственности в случае аварии на всех страхователей. При этом страховщику тоже выгодно проводить экологическое страхование, учитывая, что аварии носят вероятностный характер, а их распределение подчиняется закону больших чисел. Такое страхование – весьма специфический вид страховой деятельности, который может создаваться и функционировать только при наличии соответствующей правовой базы и разветвленной сети страховых организаций при наличии определенных гарантий успешной их деятельности.

УДК 658.382.3: 333.9: 626

Разработка норм производственных резервов материальных ресурсов организаций Государственного производственного объединения «Белэнерго»

Лимонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

С целью совершенствования отраслевой нормативной базы разработаны нормы производственных резервов материальных ресурсов предназначенные для энергоснабжающих организаций входящих в состав ГПО «Белэнерго» (энергоснабжающие организации). Нормы определяют виды материалов, комплектующих, оборудования и величину их резерва без конкретизации их номенклатуры и являются основанием при составлении заявок на материалы и оборудование при создании резервов материальных ресурсов для аварийно-восстановительных работ на объектах энергоснабжающих организаций.

Номенклатура материалов, комплектующих и оборудования, необходимых для производственного резерва соответствуют документации завода-изготовителя, паспортным данным оборудования или опытным данным энергоснабжающих организаций эксплуатирующее оборудование. Количество, виды и типы материалов и оборудования производственного резерва утверждаются руководством энергоснабжающей организации и согласовывается с ГПО «Белэнерго». Для пополнения ре-

зерва допускается использовать материалы и оборудование, оставшиеся не поврежденными при аварии и демонтированные в процессе ее ликвидации. При использовании материалов, комплектующих и оборудования, не вошедших в сборник норм производственных резервов материальных ресурсов, или использовании технологий, требующих применения материалов в количествах отличных от приведенных в сборнике, следует пользоваться нормами, утвержденными руководителем энергоснабжающей организации, эксплуатирующей соответствующее оборудование.

Проект норм был направлен в РУП-облэнерго для предложений и замечаний. С учетом полученных замечаний и предложений по проекту была подготовлена окончательная редакция норм производственных резервов материальных ресурсов, которая утверждена приказом № 320 от 18.12.2014 г. в качестве стандарта предприятия ГПО «Белэнерго» (СТП 09110.10.300-11).

УДК 658.26:338

Организационно-экономические резервы управления энергоресурсами промышленных предприятий

Лапченко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Организационно-экономические резервы управления энергоресурсами промышленного предприятия могут быть объединены в две группы:

- 1) совершенствование организации энергетического учета, анализа и контроля, нормирования расхода топлива и энергии, планирования потребления энергоресурсов и организации материального стимулирования рационального энергоиспользования;
- 2) применение прогрессивных методов управления энергопотреблением на предприятии: энергоаудита, составной частью которого является технико-экономический анализ эффективности использования энергоресурсов, целевого энергетического мониторинга.

Основными требованиями к энергетическому учету на предприятиях являются: оперативность энергетического контроля, точность информации; необходимая степень разделения учета, вызванная необходимостью выработки и расхода энергии, контролем выполнения суточных лимитов по расходу топлива и энергии отдельными агрегатами и цехами.

Нормированием и анализом должны быть охвачены все элементы расхода топлива и энергии; методы нормирования должны быть достаточно простыми, но в то же время соответствовать принятой на предприятии системе планирования и давать возможность сопоставить плановые и фактические удельные расходы топлива и энергии на основе установления

единой структуры норм; нормирование должно детально охватывать, прежде всего, энергоёмкие процессы (по мелким потребителям допустим групповой учет и укрупненное нормирование), а также выход и использование вторичных энергетических ресурсов. Планирование потребности в энергетических ресурсах на промышленном предприятии должно осуществляться поэтапно: предварительный технико-экономический анализ эффективности использования энергоресурсов; уточнение норм расхода топлива и энергии с учетом предварительного анализа и выполнения разработанного плана организационно-технических мероприятий по рациональному использованию энергоресурсов; планирование потребляемого количества энергии, топлива и воды.

Неотъемлемым элементом эффективной системы управления энергосбережением на предприятиях является энергетический аудит – внешний (независимый) и внутренний – как инструмент выявления резервов экономики энергоресурсов.

УДК 621

Перекрестное субсидирование в энергетике

Левковская А.В.

Белорусский национальный технический университет

Перекрестное субсидирование в энергетике – это большая проблема для всей экономики. За то, что недоплачивают граждане, платят предприятия. А то, что переплатили предприятия, потом возмещают граждане, переплачивая за продукты питания, одежду и другие товары.

Такая система, во-первых, не мотивирует бытовых потребителей и предприятия к эффективному потреблению тепловой энергии. Во-вторых, это дополнительная обуза для предприятий, которая снижает их конкурентоспособность. С другой стороны, государство вкладывает в развитие энергетической отрасли большие деньги. В частности, с 2012 по 2016 год на эти цели запланировано направить более 5 млрд. USD. Но по показателю энергоёмкости и себестоимости продукции эти инвестиции так и не приблизили белорусские предприятия к европейским странам.

Тарифы на электрическую энергию для отечественных промышленных потребителей уже превысили среднеевропейский уровень, хотя электроэнергия в Беларуси вырабатывается на российском газе, который для страны примерно в 3 раза дешевле, чем для европейских стран. Одна из причин таких парадоксов белорусской энергетики кроется в перекрестном субсидировании.

И если есть надежда, что тарифы на электроэнергию вскоре удастся приблизить к себестоимости, то в отношении тепловой энергии это весьма

сомнительно. Слишком неподъемной выглядит эта задача, если пока тарифы на тепло для населения в Беларуси, согласно оценкам экспертов Всемирного банка, покрывают лишь 10-21% затрат на его производство.

В Беларуси неоднократно предпринимали усилия по постепенному отказу от перекрестного субсидирования в энергетике. В настоящее время эта задача решается путем постепенного выравнивания цен на энергоносители между населением и промышленными потребителями.

Белорусские власти планируют полностью уйти от перекрестного субсидирования в ЖКХ к 2017 году, в то время как сроки отказа от такого механизма формирования тарифов в энергетике до настоящего времени окончательно не регламентированы.

УДК 338

Экспресс-диагностика как эффективный способ анализа

Манцорова Т.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Для полноценного функционирования энергетики страны, привлечения инвесторов, устранения перекрестного субсидирования, установления оптимального уровня тарифов необходимо проведения реструктуризации электроэнергетики. Это может быть обеспечено при создании рынка энергии. Учет деятельности предприятий в условиях рынка требует использования особого механизма контроля и управления. Это может быть обеспечено системой управленческого учета, который, в отличие от традиционного финансового учета, позволяет оперативно выявлять отклонения показателей от норматива и давать объективную характеристику производства, распределения и передачи электроэнергии.

Для эффективного внедрения управленческого учета необходимо проведение экспресс-диагностики. Ее цель – найти и выделить наиболее сложные проблемы управления предприятием в целом и его финансовыми ресурсами в частности. Это необходимо для сужения области поиска причин существующих проблем и путей их возможного решения. Чаще всего, данные этого анализа являются предварительными, а выводы носят вероятностный характер. Экспресс-диагностика предполагает небольшие затраты времени на получение предварительной оценки. Затем для более детального анализа можно проводить дополнительные аналитические исследования. С помощью разработанной системы оценочных показателей посредством экспресс-диагностики устанавливается вероятность наступления кризисных явлений в деятельности организации. Перечень показателей не должен быть обширным, но в тоже время давать объективную оценку реального экономического и финансового состояния органи-

зации.

Распространено мнение, что необходимость диагностики выражается в дефиците денежных средств, необходимых для ведения бизнеса и расчетов с кредиторами. Однако этот подход не учитывает индивидуальные особенности организации. Например, на предприятиях энергетики в отопительный сезон при существующем порядке расчетов за потребленное тепло объективно возникает значительная частота кассовых разрывов, поскольку оплата услуг жилищно-коммунальным сектором проводится спустя месяц после оказания услуг предприятиями энергетики. Поэтому этот показатель для предприятий энергетики не может быть оценочным.

УДК 330.131.7

Модель управленческого учета в энергетике

Самосюк Н.А.

Белорусский национальный технический университет

При существующей вертикально-интегрированной модели управления энергокомплексом Республики Беларусь, государство осуществляет централизованное регулирование финансовых отношений предприятий энергетики. Отсутствие рыночных механизмов регулирования в энергетике становится причиной снижения инвестиционной привлекательности многих видов экономической деятельности, высокие тарифы на энергоносители для промышленных потребителей сдерживают модернизацию предприятий и негативно влияют на их финансовое положение. Необходимо создание эффективной системы, учитывающей экономические интересы и производителей, и потребителей энергии, а так же создавать стимулы для экономики энергии на всех стадиях ее производства и потребления.

Предлагаемый информационный продукт управленческого учета (счет 20):

- себестоимость по видам экономической деятельности: себестоимость производства электроэнергии (20.1); себестоимость передачи электроэнергии (20.2); себестоимость распределения электроэнергии (20.3); себестоимость производства теплоэнергии (20.4); себестоимость передачи и распределения теплоэнергии (20.5).

-себестоимость по объектам производства электрической и тепловой энергии: себестоимость энергии электростанций высокого давления (ТЭС ВД, в том числе КЭС, ТЭЦ ВД): себестоимость электрической энергии (20.1.1); себестоимость тепловой энергии (20.4.1); себестоимость энергии электростанций среднего давления (ТЭС СД) и ТЭЦ малой мощности: себестоимость электрической энергии (20.1.2); себестоимость тепловой энергии (20.4.2); себестоимость энергии генерирующих источников с ис-

пользованием возобновляемых видов энергии (ГЭС, ВЭУ): себестоимость электрической энергии (20.1.3); себестоимость тепловой энергии (20.4.3); себестоимость тепловой энергии на котельных (20.4.4).

- себестоимость объектов передачи энергии: себестоимость передачи электрической энергии: себестоимость передачи электрической энергии сетевыми филиалами и подразделениями (20.2.1), себестоимость передачи и распределения тепловой энергии (20.5.1), себестоимость объектов распределения электрической энергии (20.3.1).

Внедрение управленческого учета на энергетических предприятиях будет способствовать получению информации необходимой для формирования обоснованного энерготарифа, оценки эффективности деятельности.

УДК 656.622

Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на предприятиях магистрального транспорта

Самосюк Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Главная задача, которая стоит в области трубопроводного транспорта, подземного хранения и использования газа, – поиск путей снижения расхода газа на собственные нужды и технологических потерь, повышения эффективности товарно-транспортной схемы. Поэтому актуальным является совершенствование методов управления издержками на предприятиях магистрального транспорта газа.

Основным путем сокращения затрат в газовой промышленности является проведение активной политики энерго- и ресурсосбережения. Существует прямой и сопутствующий эффект энергосбережения.

Прямой эффект энергосбережения – это эффект, достигнутый от мероприятий, реализованных в процессе совершенствования технологических процессов, а так же вследствие повышения энергетической эффективности работы технологического оборудования. Вследствие реализации по повышению энергетической эффективности работы технологического оборудования можно достигнуть экономии природного газа в добыче и подземном хранении газа, в магистральном транспорте газа, в переработке газа и жидких углеродов, а так же достигнуть экономии электроэнергии.

Сопутствующий характер энергосбережения: эффект, достигнутый вследствие выполнения необходимых (регламентных) технологических мероприятий и в ходе выполнения плановых работ по капитальному строительству, ремонту и реконструкции объектов. За счет осуществления данных работ можно получить дополнительную экономию природного газа в добыче и подземном хранении газа, в магистральном транспорте

газа, экономию электроэнергии и тепловой энергии.

Ожидаемая экономия природного газа от внедрения мероприятий по энергосбережению на ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» в 2015 году планируется 4732,4 тыс. м³, экономия электроэнергии планируется 651,9 тыс. кВтч, экономия тепловой энергии в размере 410,2 Гкал. Итого экономия за год топливно-энергетических ресурсов планируется в размере 5697 т.т.

УДК 615

Модель создания биоэнергетического кластера в энергетике Вьетнама

Нго Ань Туэт

Белорусский национальный технический университет

Энергетическая система Вьетнама в настоящее время включает три главные энергетические отрасли – угольную, нефтегазовую и электроэнергетику. Остальные энергетические отрасли для выработки электроэнергии пока находятся в стадии развития или имеют незначительную долю. Это ядерная энергетика, возобновляемая энергетика (ветровая, солнечная, геотермическая) и т.д. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в настоящее время недостаточно поддерживаются государством. ВИЭ используются для удовлетворения потребностей различных отраслей национальной экономики.

В соответствии с планом реформирования электроэнергетического сектора энергетика Вьетнама будет развиваться путем формирования конкурентного рынка электроэнергии. Электроэнергетическая группа Вьетнама выделится и станет независимым подразделением в структуре электроэнергетики. Кроме того, ввиду возможного риска нехватки энергии для экономического развития Вьетнама в будущем, особенно угля для производства электроэнергии, возникает необходимость использования наряду с традиционными использовать и альтернативные источники энергии. Это обстоятельство стимулирует развитие нетрадиционной энергетики в стране. ВИЭ может стать конкурентоспособным источником энергии. Согласно новой тенденции развития электроэнергетического рынка, ВИЭ могут участвовать на рынке как дополнительный коммерческий источник энергии для восполнения нехватки электроэнергии в будущем и повысить конкурентоспособность ВИЭ по сравнению с другими источниками.

Одним из сценариев развития ВИЭ в стране может быть создание биоэнергетического кластера, что является решением, который выбирается многими странами мира для того, чтобы развивать использование возобновляемой энергии, обеспечивать устойчивость развития и сохранения традиционных (ископаемых) источников энергии, повышать эффективность государственной поддержки электроэнергетики, эффективно ис-

пользовать получаемую энергию и сохранять окружающую среду.

УДК 005.334(075.8)

Использование экономико-математических моделей для оценки риска

Тымуль Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Роль количественной оценки рисков значительно возрастает, когда существует возможность выбора из совокупности альтернативных решений оптимального решения, обеспечивающего наибольшую вероятность наилучшего результата при наименьших затратах и потерях в соответствии с задачами минимизации и программирования риска. Здесь следует выявить, количественно измерить, оценить и сопоставить элементы рассматриваемых экономических процессов, выявить и определить взаимосвязи, тенденции, закономерности с описанием их в системе экономических показателей» что невозможно без использования математических методов и моделей в экономическом анализе.

Методы экономико-математического анализа, являясь регулятором экономической деятельности в единстве внешних и внутренних неопределенностей, обеспечивая выбор оптимальных решений, позволяют также математически анализировать, измерять значение и возможности минимизации, программирования риска с целью наилучшего им управления на основе повышения эффективности и качества хозяйственной деятельности, сокращения неопределенности.

В качестве математических средств принятия решений в условиях неопределенности и риска можно использовать методы теории математических игр, теории вероятностей, математической статистики, теории статистических решений, математического программирования. Экономико-математические задачи, цель которых состоит в нахождении наилучшего с точки зрения некоторого критерия (или критериев) варианта использования имеющихся ресурсов (труда, капитала, и пр.), называются оптимизационными. Оптимизационные задачи решаются, как правило, методами математического программирования. Необходимым условием использования оптимального подхода к планированию и управлению (принципа оптимальности) является гибкость, альтернативность производственно-хозяйственных ситуаций, в условиях которых приходится принимать плано-управленческие решения. Именно такие ситуации и составляют в основном повседневную практику хозяйствующего субъекта (выбор оптимального ассортимента производственной программы, прикрепление к поставщикам, составление портфеля ценных бумаг, вложение инвестиций в оптимальный проект, маршрутизация, раскрой материалов и т.д.).

Энергетическое строительство

Конструкция гидротехнических сооружений водохранилища "Заславское"

Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Заславский гидроузел расположен на р. Свислочь выше г. Минска, в 300 км от устья ниже впадения р. Вяча, введен в эксплуатацию в 1956 году, и предназначен для регулирования стока р. Свислочь, создания зоны отдыха, а также выработки электроэнергии. В состав гидроузла входят левобережная и правобережная земляные плотины, паводковый водосброс, совмещенный со зданием гидроэлектростанции бычкового типа. Земляная плотина выполнена неоднородной с экраном и понуром. Максимальная высота плотины 12 м, тело ее выполнено из песка, экран и понур – из моренного суглинка. Длина плотины по гребню – 831 м. Верховой откос закреплен монолитными бетонными плитами, крепление низового откоса выполнено одерновкой. Дренаж земляной плотины трубчатый диаметром 300 мм с обсыпкой обратным фильтром. Для наблюдения за работой дренажа устроено 14 смотровых колодца. Паводковый водосброс расположен в русле р. Свислочь и выполнен в виде двухпролетной водосливной плотины практического профиля. Водосливной фронт плотины разделен бычком на два водосливных пролета шириной 6 м каждый, перекрываемых сегментными затворами. Водосливная плотина с правобережной и левобережной земляными плотинами сопрягается с помощью береговых устоев. Береговые устои в пределах водослива выполнены заодно с телом плотины, а верховые и низовые сопрягающие открылки устоев выполнены в виде гравитационных подпорных стенок переменной высоты, изменяющейся от 12 до 6,7 м. Засыпка пазух устоев выполнена в передней части водосброса, до оси проезжего моста суглинком, в нижней части – песком. Обследование нами гидроузла показало, что предыдущие ремонтные работы оказались неэффективными. На боковых поверхностях низовых открылков имеются многочисленные белесые пятна выщелоченного бетона, потемнения и подтеки, что свидетельствует о постоянном высоком стоянии кривой депрессии за устоем, вследствие того, что режим фильтрации в обход берегового устоя неудовлетворительный, нет достаточного гашения напора фильтрационного потока. Это привело к существенному снижению прочности бетона на сжатие, которая в 9-и местах изменялась от 4,3 до 7,6 МПа, что соответствовало марке бетона М35-М75 и в двух местах 10,1 и 10,9 МПа – М150, а минимальная марка бетона для гравитационных плотин М200. Как видно, бетон низового открылка находится в неудовлетворительном состоянии и требует проведения ремонтных работ.

Современное состояние осушительной системы правобережных земель реки Риони Республики Грузия

Селезнев В.И., Батюшко О.А., Мурашко О.А.

Белорусский национальный технический университет

Осушительная система правобережных земель р. Риони расположена в западной части Республики Грузия, в 7 км к востоку от побережья Черного моря в границах Колхидской низменности, и предназначена для осушения в целях сельскохозяйственного использования площади 2250 га.

Мелиорированные земли объекта осушены сетью открытых каналов со специальными мероприятиями по организации поверхностного стока в 60-х годах по проекту «Грузгипроводхоза». Площадь объекта представлена тремя участками: 1) польдерная мелиоративная система в районе деревень Патара Поти, Чаладиди, Сачочуа с магистральным каналом МД и насосными станциями НС№1 и НС№2; 2) самотечная мелиоративная система в районе деревень Сабаджо, Сагвамичао с основными водоприемниками-каналами В и М-2; 3) самотечная мелиоративная система в районе деревни Сагвичио с основными водоприемниками р. Цива, каналами М-1, М-3 и М-2-4. Территория объекта характеризуется малым уклоном поверхности; ложным микрорельефом при незначительном превышении земли над уровнем моря (1-3 м); наличием преимущественно глинистых почвогрунтов и малым коэффициентом фильтрации; подтоплением со стороны р. Риони; высоким стоянием уровня грунтовых вод.

Для осушения земель объекта и предотвращения подтопления территории р. Риони в прошлом веке были построены оградительные дамбы от р. Риони и две насосных станции. Дамбы находятся в удовлетворительном состоянии за исключением отдельных участков, которые требуют подсыпки. В результате длительной эксплуатации (33 года) 4 насоса вышли из строя, часто ремонтируются и требуют замены на более современные. Аванкамера занесена 3-х метровым слоем ила, полностью затоплена.

Отводящий канал выполнен без крепления и находится в неудовлетворительном состоянии, откосы и дно размывты. В бетонных конструкциях шлюза наблюдается незначительное выщелачивание бетона.

Открытая сеть (каналы, коллектора, орнаты) находится в неудовлетворительном состоянии: заросла древесно-кустарниковой растительностью, откосы оплыли, обрушены домашними животными, дно заилено, прибрежные полосы по 3-4 м покрыты золотарником обыкновенным и поэтому распаивается только верхняя часть гряд (квалей). В системе большинства каналов отмечается зарастание площадей кустарником и деревьями. Таким образом, осушительная система нуждается в реабилитации.

В работе принимал участие Н.Н. Линкевич.

УДК 626.8

Основные направления реконструкции осушительной системы правобережных земель реки Риони Республики Грузия

Линкевич Н.Н., Селезнев В.И., Батюшко О.А., Мурашко О.А., Зенькович М.Г.
Белорусский национальный технический университет

В современном состоянии мелиоративная система не может обеспечить ведение сельскохозяйственного производства на требуемом уровне из-за нарушений оптимального водного режима и требует реконструкции.

В результате анализа и оценки материалов инженерных изысканий установлено, что основными причинами неудовлетворительной работы мелиоративной системы правобережных земель реки Риони являются: 1) неудовлетворительная работа насосных станций №№ 1 и 2 в связи с выходом из строя машинного оборудования, неудовлетворительным техническим состоянием аванкамер и др. сооружений; 2) неудовлетворительное состояние магистрального канала МД и коллекторов, создающих подпор на открытую регулируемую сеть и не обеспечивающих необходимых условий для отвода избыточных вод; 3) зарастание открытой регулирующей сети золотарником канадским; 4) нарушение глубины собирателей (орнатов) вследствие заиления смываемыми поверхностным стоком частиц грунта, недостаточные мероприятия по организации поверхностного стока. Для создания условий эффективного использования мелиорированных земель, увеличения производства сельхозпродукции, повышения надежности и технического уровня мелиоративной системы, ее элементов, уменьшения эксплуатационных затрат намечены следующие проектные решения:

- реконструкция насосных станций № 1 и № 2;
- реконструкция открытой осушительной сети на площади 2250 га в связи с ее несовершенством, техническим и моральным износом;
- реконструкция орнатов, устройство дополнительных коллекторов для разукрупнения орнатов;
- ремонт и восстановление сооружений, переустройство и строительство новых гидротехнических сооружений с изменением отметок порогов;
- применение системы организационно-технических мероприятий по организации территории, использованию земель путём ввода в сельскохозяйственный оборот земель заросших золотарником канадским и древесно-кустарниковой растительностью;
- восстановление существующей на объекте дорожной сети;

Проектом предусмотрены следующие мероприятия по организации поверхностного стока: углубление орнатов и устройство дополнительных и

продление коллекторов для разукрупнения орнат и своевременного отвода поверхностных вод.

УДК 626.8

Пути снижения стоимости строительства Полоцкой ГЭС

Круглов Г.Г., Бычenea М.М., Панасюк М.В.

Белорусский национальный технический университет

В последние десятилетия во всем мире отмечается устойчивый интерес к освоению возобновляемых энергоресурсов, как нетрадиционных, так и традиционных, к которым относится гидравлическая энергия рек. В республике накоплен достаточный опыт восстановления ранее построенных и строительства новых малых ГЭС, который позволил приступить к строительству ГЭС на р.Немане и р.Западной Двине, где имеются для этого благоприятные природные условия: удобные створы, при использовании которых затопление прилегающих территорий сводится к минимуму, так как отметки НПУ водохранилищ не превышают уровней паводковых вод в бытовых условиях.

В состав сооружений Полоцкой ГЭС на р. Западная Двина входят здание ГЭС, бетонная безвакуумная водосливная плотина, очерченная по координатам Офицерова-Кригера с шестью водосливными отверстиями шириной 20 м каждая, и глухая земляная плотина.

Вакуумная водосливная плотина, очерченная по координатам Н.П. Розанова, дает экономию в объеме бетона по сравнению с безвакуумной более 15 %. Вакуумные водосливы не получили широкого распространения в связи с тем, что при пропуске расходов воды на значительной части водосливной поверхности возникает вакуум. В зоне вакуума на водосливной поверхности может развиваться кавитационная эрозия бетона, а при срыве вакуума (при попадании в эту зону воздуха) водосливная поверхность подвергается значительным гидродинамическим нагрузкам. Исследования работы вакуумного водослива были выполнены в лаборатории на физической модели, на поверхности которой было установлено 7 пьезометров.

Анализ результатов исследований показывает, что при неподтопленном истечении при полностью или частично открытом водосливном отверстии на водосливной поверхности образуется вакуум. При повышении уровня воды в нижнем бьефе и подтоплении водослива вакуум на водосливной поверхности отсутствует как при полностью открытом отверстии, так и при истечении из-под затвора. Поскольку водосливная плотина Полоцкой ГЭС всегда будет работать в подтопленном режиме, это позволяет заменить безвакуумный профиль водослива на вакуумный. При замене безвакуумной водосливной плотины на вакуумную водосливную плотину эко-

номия составит 4100 м^3 бетона. При стоимости одного кубометра бетона плотины Полоцкой ГЭС 2 167 000 руб. (в ценах 2006 г.) экономический эффект составит 8,9 млрд. рублей.

УДК 627/831

Некоторые аспекты надежности гидроузлов

Богославчик П.М., Метельская Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

Вопросы надежности сложных систем в мире с каждым годом уделяется все больше внимания. Не являются исключением и гидроузлы. Особенностью гидроузлов является то, что в отличие от других технических систем, на их работу оказывают влияние природные факторы, которые гораздо сложнее учитывать при оценке надежности. Одним из главных природных факторов является паводок. Соответствующими нормативными документами в настоящее время установлено, на какой расход следует проектировать водосбросные сооружения гидроузлов. Так для сооружений 4-го класса, к которым относится большинство гидротехнических сооружений в Беларуси, максимальный расчетный расход, который должен пропустить гидроузел при форсированном подпорном уровне, должен быть 1% обеспеченности (повторяемость 1 раз в 100 лет). Большой расход приводит к переливу, к аварии и, как минимум, к экономическому ущербу. Научная обоснованность такого подхода вызывает сомнение. Во-первых, экономический ущерб в различных случаях может существенно различаться. С этой точки зрения обеспеченность расчетного расхода не обязательно должна быть строго фиксирована нормативным документом. Логичнее для каждого случая обосновывать ее экономическими расчетами. Но есть и другая сторона вопроса. В условиях Беларуси максимальные расходы оказываются завышенными. Возникают ситуации, когда за весь период своей работы водосброс ни разу не срабатывает на полную пропускную способность. Выход из такой двойственной ситуации – введение в состав гидроузла резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой. Такое решение позволяет повысить надежность гидроузла по рассматриваемому фактору без дополнительных затрат. Исследования размыва вставки позволили разработать метод расчета размыва для условий ограничения размыва по ширине. Но, как показал эксперимент, размыв по всей ширине одновременно происходит только при быстром повышении уровня верхнего бьефа. В других случаях размыв начинается с некоторой малой ширины B . Поэтому предлагается в уравнениях размыва принимать $B=f(t)$ изменяющуюся в процессе размыва линейно от 0 до максимального значения, ограниченного в рассматриваемом случае ограничивающей размыв одеждой.

Использование эссе при организации самостоятельной работы студентов, изучающих основы энергосбережения и нетрадиционные источники энергии

Гатилло А.С.

Белорусский государственный университет

Метод эссе как вид учебной деятельности студента представляет собой самостоятельное сочинение – размышление студента над той или иной проблемой.

Изученный опыт использования эссе в практике Болонского университета (Италия) и Университета г. Лодзь (Польша) показывает, что он является одним из самых эффективных способов обучения навыкам овладения новым материалом.

Этот метод, безусловно, может быть использован при решении задач, связанных с изучением любой технической дисциплины. Но, как нам представляется, в силу специфики предмета, очень эффективно его можно использовать именно при изучении такой дисциплины, как «Основы энергосбережения и нетрадиционные источники энергии». Дело в том, что для Республики Беларусь проблемы энергосбережения и использования возобновляемых источников энергии в настоящее время являются чрезвычайно важными в русле энергетической безопасности. На каждом рабочем месте будущие инженеры обязаны разбираться в вопросах экономии энергоресурсов.

Однако большой объем информации, который необходимо изучить и осмыслить студенту при изучении этого предмета, затрудняет его хорошее освоение. В качестве примера можно отметить, что при небольшом числе часов, отводимых на изучение обоснования перспективности внедрения солнечных электростанций (СЭС), студент просто не успевает выделить для себя самое главное. Самостоятельное написание эссе позволяет выделить это самое главное, самостоятельно провести анализ с использованием концепций и аналитического инструментария и сделать выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме.

В работе принимал участие С.П. Гатилло (Белорусский национальный технический университет)

Литература:

1. Сидоров С.В. Сайт педагога-исследователя [: Электронный ресурс]. – URL: <http://si-sv.com/> (дата обращения: 18.04.2015).
2. Методические рекомендации по написанию эссе. Web: <http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/essay-2005.phtml> (дата обращения: 18.04.2015).

УДК 620.91

Срок службы электростанций на возобновляемых источниках энергии

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

*НПООО «Малая энергетика»,

**Белорусский национальный технический университет

Мировой опыт показал, что прогресс в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) во многом зависит от большого количества факторов.

Для изучения этих факторов был выполнен «Специальный доклад по возобновляемым источникам энергии и смягчению воздействий на изменение климата» [1]. Он содержит оценку и тщательный анализ технологий возобновляемых источников энергии и их текущей и потенциальной роли в смягчении последствий выбросов парниковых газов. Представленные в нем результаты основаны на обширной оценке научной литературы, включая специфику отдельных исследований, а также на совокупности исследований, результаты которых были проанализированы на предмет вынесения более широких заключений. В докладе объединена информация о технологиях конкретных исследований с результатами крупномасштабных интегрированных моделей, а также представлена актуальная для политики (но не предписывающую какую-либо политику) информация для лиц, принимающих решения, о характеристиках и техническом потенциале различных ресурсов, историческом развитии технологий, проблемах их интеграции и социально-экологических последствиях их использования, а также содержится сопоставление средней стоимости энергии для коммерчески доступных технологий использования возобновляемых источников с недавними затратами на использование невозобновляемых источников энергии.

Одним из вопросов, затронутых в данной работе, явилось определение срока службы электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии. Ведь электростанция должна окупиться как можно раньше, и обязательно в течение цикла жизненного цикла оборудования, работающего на ВИЭ.

Например, для гидроэлектростанций срок работы рекомендуется назначать до 40 лет, а для ветроустановок и солнечных электростанций – 20-25 лет.

Литература:

1. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2012. – 1088 p.

**Изучение работы малой ГЭС
на техническом водовыпуске станции аэрации**

Кохненко Л.И., Гатилло С.П.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования является малая гидроэлектростанция, построенная на водовыпуске Минской станции аэрации (МСА) в соответствии с Государственной программой строительства в 2011-2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь.

Малая ГЭС на Минской станции аэрации установленной мощностью 500 кВт работает в качестве источника электроэнергии за счет преобразования энергии воды, образуемого перепадом уровней между верхним и нижним бьефами существующего водовыпуска Минской станции аэрации. Верхним бьефом является водовыпускной лоток МСА, нижним бьефом – водоприемник очищенных сточных вод. Именно такая компоновка водосбросного тракта МСА определяет целесообразность применения деривационного типа ГЭС.

С целью максимально возможного использования потока воды, поступающего с очистных сооружений на водовыпуск МСА весь расчетный расход воды (до $10 \text{ м}^3/\text{с}$) пропускается через две горизонтальные гидротурбины Каплан с S-образным отводом воды (напор на турбины составляет 7м), при этом обеспечивается максимально возможная выработка электроэнергии. ГЭС работает в режиме водотока и имеет возможность в каждый момент времени реагировать на изменение расходного режима, так как сброс очищенных вод обусловлен работой станции аэрации и колеблется в течение дней недели и времени суток. Гидроагрегаты размещаются в здании ГЭС, к которому вода подается двумя деривационными водоводами диаметром по 1600 мм каждый.

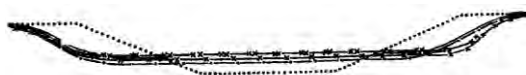
В процессе работы проводились натурные исследования по определению расходов, напоров и коэффициента полезного действия гидроагрегатов малой ГЭС на МСА. В результате исследования первой в Беларуси малой ГЭС на очистных сооружениях впервые были определены значения основных параметров гидроагрегатов, изучены проблемы, возникающие при проектировании и эксплуатации ГЭС на техническом водовыпуске.

Получены графические зависимости для основных энергетических параметров гидроэнергетического оборудования. Они позволяют получить опорные графики для исследования в дальнейшем данных об изменении режимов эксплуатации оборудования, например, загрязнении сороудерживающих решеток, что позволит вносить коррективы в программы автоматического управления гидроэнергетическим оборудованием.

Способ повышения устойчивости сечений земляных каналов

Рогонович В. П., Шкадун А. А., Аль Исса Махамад Ваэль
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время размеры земляных каналов – обычно трапециевидных – рассчитываются по установленным допускаемым неразмывающим средним скоростям потока для однородных несвязных, неоднородных по крупности несвязных и связных грунтов. Исследованиями Белгипроводо-

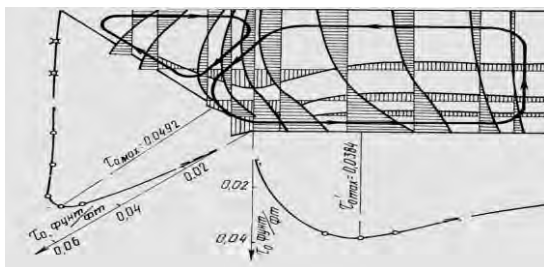


Поперечное сечение русла регулируемой реки после переформирования: - проектное сечение; - - - - по измерениям через год; ———— - через 2 года; —x—x— - через 3 года; —xx—xx— - через 4 года.

хоза установлена их интенсивная деформация во времени. Гидравлический радиус и пропускная способность уменьшаются во времени. Канал перестает выполнять свои функции.

Интересно отметить, что канал как проектируемый объект рассчитывается не на силы, действующие на канал как инженерную конструкцию, а на средние скорости потока.

Однако опубликованные экспериментальные исследования показали, что касательные напряжения распределяются неравномерно.



Очевидно, что максимальные касательные напряжения возникают на откосе в окрестности пересечения поверхности откоса с дном канала. Причем из эпюр распределения по поперечному сечению поперечных компонентов скорости с

очевидностью следует, что поперечные компоненты скорости транспортируют концентрировано к откосу объемы воды, забранные у поверхности и поэтому движущиеся с большой скоростью и тем самым локально повышают касательные напряжения, способствуя размыву канала, и затем транспортируют влекомые наносы в середину канала, уменьшая глубину и, следовательно, гидравлический радиус. Из изложенной первопричины деформаций каналов следует логичный вывод: для повышения устойчивости сечений земляных каналов достаточно сделать крепление канала локально на откосе в области повышенных касательных напряжений.

Исследование прерывной волны

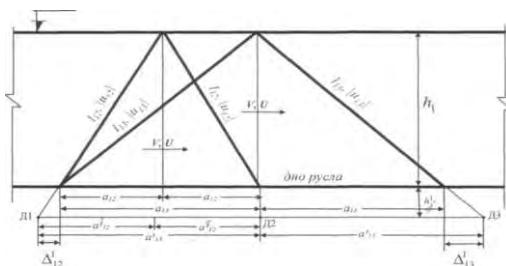
Рогонович В. П., Евдокимов В. А.

Белорусский национальный технический университет

Количество чрезвычайных ситуаций гидрометеорологического характера в Беларуси стоит на втором месте после пожаров. Измерительно-информационные системы раннего оповещения (ИИС РО) способствуют уменьшению ущерба и гибели людей от наводнений.

Автоматические ИИС РО функционально должна выполнять одновременно следующие измерения ультразвуковыми (УЗ) средствами: средней скорости и глубины на скоростной вертикали и давления прерывной волны в нижнем бьефе гидроузла.

Принципиальная схема прозвучивания водного потока на скоростной вертикали УЗ передатчиками-приемниками:



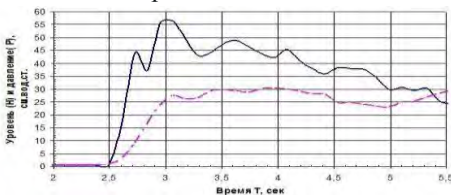
Глубина на скоростной вертикали

$$h_j = a_{13} * \sqrt{\frac{1 - \frac{a_{12} * O_{12}}{a_{13} * O_{13}}}{\frac{a_{13} * O_{12} - 1}{a_{12} * O_{13}}}}$$

где $O_{12} = (\frac{1}{t_{12}} - \frac{1}{t_{21}})$, $O_{13} =$

$(\frac{1}{t_{13}} - \frac{1}{t_{31}})$, где $O_{12} = (\frac{1}{t_{12}} - \frac{1}{t_{21}})$, $O_{13} = (\frac{1}{t_{13}} - \frac{1}{t_{31}})$,

a_{12} и a_{13} – полурасстояния между УЗ датчиками $D_{ii}=1,2,3$ на поверхности русла; $t_{12}, t_{21}, t_{13}, t_{31}$ – временные интервалы распространения УЗ сигналов при прозвучивании потока УЗ-датчиками $D_i, i=1,2,3$ по течению и против течения. Экспериментальные данные лабораторных исследований прерывной волны средствами ИИС позволяют сделать предварительные выводы:



1. При движении прерывной волны по мокрому руслу скорость распространения давления в нижних слоях воды опережает скорость изменения уровней;
2. Максимальное давление на обтекаемый объект примерно в два раза

больше гидростатического.

Нестационарное течение воды в судоводных шлюзах

Богданович М.И., Сергей И.Г.

Белорусский национальный технический университет

Наполнение и опорожнение камер судоводных шлюзов осуществляется при нестационарном течении воды в водопроводных трактах систем питания, камерах и подходных каналах. Нестационарность течения вызвана тем, что процесс идет при переменных во времени значениях параметров, определяющих течение: напора на шлюз (уменьшается) и коэффициента расхода системы при открытии затворов (увеличивается). Картина течения в камере существенно усложняется за счет отражения волн наполнения и опорожнения от ворот шлюза, от шлюзующихся судов, а в подходных каналах еще и от их сужений и внезапных расширений на выходе в реку или водохранилище.

В действующем в Республике Беларусь нормативном документе на проектирование судоводных шлюзов имеется шесть нормируемых параметров, которые должны быть обеспечены проектными решениями по системе питания. Значения этих параметров могут быть получены гидравлическим расчетом.

Существующие методики гидравлического расчета судоводных шлюзов построены на расчетных зависимостях, полученных путем интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих нестационарное течение воды с разной степенью приближения. Примером могут служить уравнение типа уравнения Бернулли для неустановившегося течения воды, система интегро-дифференциальных уравнений, отражающей совместную работу потока и судна в камере (Васильев О.Ф. и др.), система уравнений Навье – Стокса для описания течения в подходных каналах шлюзов (Липатов И.В., Мильцин Д.А. и др.).

При интегрировании используются различного рода допущения, что позволяет получить весьма приблизительные расчетные параметры течения и соответствующие им параметры систем питания. Это серьезно осложняет достижение при проектировании шлюзов соответствия их систем питания одновременно шести требованиям, предъявляемым в ТКП. По этой причине у многих шлюзов фактическая судопропускная способность оказывается ниже проектной. Для преодоления сложившегося положения необходимо оптимизировать количество нормируемых параметров системы питания, а также обосновать введение в ТКП методики расчета гидравлических характеристик шлюзов, учитывающей результаты современных исследований нестационарных течений в судоводных шлюзах.

Загрязнения окружающей среды радионуклидами

Казьмирук И.Ч., Кудласевич И.В., Пригодич И.Н.
Белорусский национальный технический университет

Воздействие человека на окружающую среду стало глобальной проблемой современности. Поступление в окружающую природную среду твердых, жидких и газообразных веществ, в том числе и радионуклидов, вызывает ее загрязнение и оказывает вредное влияние на здоровья человека, животных, состояние растений.

Современное экологическое состояние планеты Земля оценивается как глобальный кризис. Негативные тенденции воздействия человека на биоту носят не только локальный, но и глобальный характер. В окружающей нас природной среде насчитывается около 300 радионуклидов, как естественных, так и получаемых человеком искусственно. В биосфере Земли содержится более 60 естественных радионуклидов. При работе атомных реакторов образуется около 80 радионуклидов, при ядерных взрывах – около 200, промышленностью выпускается более 140. Наибольшее количество радионуклидов поступает в окружающую среду в результате аварий на атомных электростанциях.

Тяжесть последствий загрязнения окружающей среды радионуклидами для живых организмов зависит не столько от их концентрации, сколько от влияния ионизирующего излучения, сопровождающего распад радиоактивных элементов. Радиоактивному воздействию подвергается наземно-воздушная, водная и подземная среды, а из-за миграции атомов – и грунтовые воды. Концентрация радионуклидов постепенно возрастает по пищевым цепям, что имеет существенные негативные последствия для живых организмов, включая человека, и биосферы в целом

Социально-экономическая и культурная ситуация, сложившаяся на загрязненных территориях нашей Республики, является типичной для всех подвергшихся радиационному загрязнению территорий Беларуси, Украины и России. Именно в Беларуси расположены примерно 70 % всех загрязненных территорий с уровнем облучения свыше 1 кюри на кв. км.

Трагические события самых масштабных аварий на атомных станциях последних десятилетий, ряд инцидентов на других гражданских и военных объектах с ядерным топливом привели к широкому размаху движения против развития ядерной энергетики и строительства АЭС. Однако, результаты исследований последних лет в различных областях инженерных дисциплин и физики высоких энергий, а также заключения авторитетных международных комиссий, убедительно свидетельствуют в пользу дальнейшего развития ядерной энергетики в самых широких масштабах.

Подбор фильтров для горизонтального дренажа

Митрахович А.И.* , Казьмирук И.Ч.**

*РУП «Институт мелиорации»,

**Белорусский национальный технический университет

Работы по реконструкции мелиоративных систем дренажа в Республике Беларусь выдвигают требования по повышению эффективности реконструкции, снижения ее стоимости за счет максимального использования работоспособных элементов и применения новых материалов. Необходимость проведения реконструкции обуславливается неэффективным действием дренажа по регулированию водного режима почв.

Особенно неблагоприятные последствия связаны с кольматацией или повреждением защитно-фильтрующего материала (ЗФМ) дренажа. Предложена методика исследования работоспособности фильтров дрен и оценки их технического состояния. Она включает проведение обследования труб, испытания их в полевых и лабораторных условиях. Методика апробирована на опытно-производственном участке «Волма» с различными типами ЗФМ одиночных дрен. В полевых условиях определялась водопримная способность, т.е. количество воды, поступающей в полость труб через перфорированные отверстия. В устье проводились замеры стока, который создавался путем заполнения водой шурфа, открытого над дренаем. Величина водопримной способности, определенная в полевых условиях, изменялась в пределах 0,8-4,9 м³/сут. с 1 м.п. трубы. Для оценки влияния срока эксплуатации ЗФМ на их фильтрационные характеристики проведены сравнительные испытания фильтрующего материала, взятого с дренажной трубы объекта в СПК «Баума» Ивьевского района Гродненской области и нового, не бывшего в эксплуатации. В результате установлено, что коэффициент фильтрации чистого геотекстиля на 60% выше, чем с объекта, т.е. материал за два года эксплуатации существенно закольматирован песком мелкозернистым. Немаловажную роль в работоспособности дренажа играет и его заохривание железистыми отложениями, которые закупоривают водопримные отверстия дренажных труб, как отмечалось на объекте «Баума».

Дренаж будет длительно функционировать, если материал фильтра долговечен, а его параметры соответствуют механическому составу осушаемого грунта и условиям фильтрации. Параметры ЗФМ определяются путем проведения полевых и лабораторных исследований.

Приведенные данные следует учитывать при реконструкции дренажа.

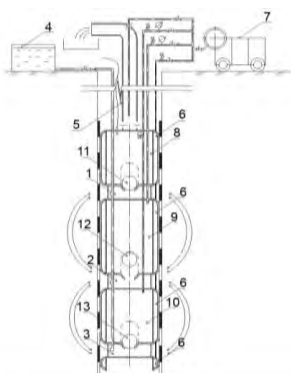
Регенерация скважин методом реверсивного задавливания реагента пневматическими насосами вытеснения

Ивашечкин В.В.*, Ивашечкин А.В.**, Иванова И.Е.*

*Белорусский национальный технический университет,

**ОАО «Минскметрпроект»

Основным сооружением для добычи подземных вод являются водозаборные скважины. В процессе эксплуатации удельный дебит скважин снижается из-за процессов кольтматации. Наибольшей эффективностью при регенерации скважин обладают реагентные методы. На кафедре "Гидротехническое и энергетическое строительство" предложено устройство для циркуляционной обработки скважин на воду (рисунок 1), которое представляет собой трехкамерный пневматический насос вытеснения.



1,2,3-циркуляционные камеры;
4-емкость с реагентом; 5-
эрлифт; 6-пакеры; 7-
компрессор; 8,9,10 –
пнеumoкамеры; 11,12,13-
плавающие шаровые клапаны.
Рисунок 1 - устройство для
циркуляционной обработки
скважины на воду

Устройство состоит из циркуляционных камер 1,2,3, которые соединяют с емкостью для реагента 4 гибким шлангом. Устройство опускают на водоподъемных трубах эрлифта 5 в фильтр скважины. Приводят в действие пакеры 6, подавая в них сжатый воздух из ресивера компрессора 7. Далее заполняют воздухом пневмокамеры 8,9,10. Затем подают реагент из емкости 4 в циркуляционные камеры 1,2,3. Одновременно сбрасывают воздух из пневмокамер 8,9,10 в атмосферу, заполняя их реагентом. Плавающие шаровые клапаны

11,12,13 открываются, и реагент заполняет пневмокамеры 8,9,10, затем в пневмокамеру 9 подают сжатый воздух. После этого подают воздух, например, в пневмокамеры 8 и 10 и одновременно сбрасывают воздух из пневмокамеры 9, а затем подают воздух в пневмокамеру 9, одновременно сбрасывая воздух из пневмокамер 8 и 10. Таким образом, реагент из-за разности давлений в пневмокамерах реверсивно перемещается по закольтмированной прифильтровой зоне, что обеспечивает эффективную декольтматацию фильтра. Цикл закачки и сброса воздуха в камерах многократно повторяют. При стабилизации электропроводности, все образовавшиеся загрязнения удаляют из скважины с помощью эрлифта. Далее устройство перемещают на следующий интервал фильтра.

Совершенствование технологий капитального ремонта водозаборных скважин

Ивашечкин В. В., Магарян М. П., Бобкова Ю. А., Корсюк А. А.
Белорусский национальный технический университет

При производстве капитального ремонта скважин для уменьшения подъемных усилий и предотвращения разрушения фильтра при извлечении фильтровой колонны из скважины, предлагается использовать гильзу со срезаемыми шпильками в нижней части фильтра (рисунок 1). Посредством воздействия ударных нагрузок на фильтровую колонну ее можно сместить в гильзу, разрушив кольматационные связи между фильтром и гравийной обсыпкой и после этого извлечь фильтровую колонну.

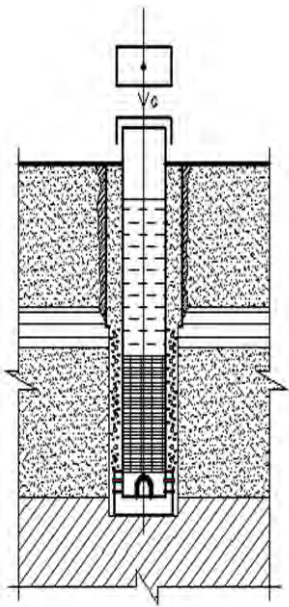


Рисунок 1.
Усовершенствованная конструкция скважины

Подбор ударного оборудования производится по величине требуемой энергии для срезания шпилек и смещения фильтровой колонны вниз:

$$aE = (R_{\phi} + [\tau_{CP}] \cdot \omega \cdot n) \cdot e \quad (1)$$

где a – поправочный коэффициент; E – энергия удара; R_{ϕ} – силы трения боковых поверхностей фильтровой колонны о грунт; e – перемещение конструкции вследствие удара (10-15 мм – для разрушения кольматационных связей и среза шпилек); $[\tau_{CP}]$ – прочность материала шпилек на срез; ω – площадь поперечного сечения шпильки; n – количество шпилек гильзы (принимается согласно расчетам, но не менее 4-х).

Расчеты показали, что использование гильзы со срезаемыми шпильками в усовершенствованной конструкции водозаборной скважины по сравнению с обычной конструкцией (с фильтром, расположенным впотай) позволяет на 15-20% снизить требуемую энергию удара, затрачиваемую на смещение фильтровой колонны вниз. Ис-

пользуемые расчетные зависимости позволяют рассчитать массу используемого груза и высоту его подъема, энергию, требуемую для смещения фильтра вниз, и подобрать необходимое технологическое оборудование.

**Оценка вибродинамических воздействий при забивке свай
на прилегающие здания**

Повколас К.Э., Корбут О.Б.

Белорусский национальный технический университет

В условиях уплотнения городской застройки следует учитывать воздействие строительных работ на прилегающие существующие строения, поскольку в процессе забивки свай под новое здание возможны нарушения эксплуатационной пригодности, а также санитарных норм.

На исследованном объекте вблизи свайного поля возводимого дома расположен двухэтажный коттедж со стенами из газосиликатных блоков. Вибрации фундамента, стен и дисков перекрытий коттеджа, передаваемые через грунтовую среду при забивке 15 свай, измерялись при помощи четырехканального виброанализатора ВИБРАН-3.2 в режиме вибросборщика с последующей обработкой данных специализированной программой на компьютере. Кратчайшие расстояния от свай до внешней стены здания определялись при помощи лазерного дальномера BOSCHGLM 250 VFPProfessional.

Результаты исследований показали, что предельные скорости колебаний фундамента при забивке даже ближних свай не превысили допустимых 5 мм/с для частот колебаний от 1 до 10 Гц.

Для оценки физиологического воздействия измерялись колебания перекрытия первого этажа при забивке пяти свай. Результаты октавного анализа показали, что даже при забивке наиболее удаленной от внешней поверхности стены сваи средние квадратические величины скоростей колебаний значительно превышают допустимые значения вибрации в жилых помещениях. Для прогнозирования расстояния, на котором колебания по качественной (субъективной) оценке станут слабо ощутимыми, зависимость пиковой величины скорости колебаний центра пола второго этажа от расстояния до места забивки свай аппроксимирована логарифмической. Это расстояние для пиковой скорости колебаний 0,64 м/с составит 83,6 м.

Основные выводы:

- величины вертикальных колебаний фундамента существующего жилого дома в ходе забивки группы свай, расположенных наиболее близко к нему, не превысили предельных значений исходя из условия обеспечения нормальной эксплуатации;
- средние квадратические величины скоростей колебаний перекрытий превышают допустимые значения вибрации в жилых помещениях по санитарным нормам в 3,04-3,8 и более раз.

УДК 631.6262

Причины неудовлетворительной работы дренажа на объектах Беларуси

Сапожников Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

К настоящему времени в республике Беларусь имеется около 3 млн га осушенных сельскохозяйственных земель, из них, порядка 2,2 млн га – закрытым дренажем, при этом уложено более 900 тысяч километров керамических и пластмассовых дренажных труб.

Большинство их построенных дренажных систем работают удовлетворительно, обеспечивая своевременный отвод избыточных грунтовых и поверхностных вод.

Однако имеются участки, когда дренаж не обеспечивает надёжного осушения, что приводит к значительным потерям сельхозпродукции.

С 1967 по 2000 гг. автором совместно с проектными и строительными организациями БССР и Республики Беларусь были обследованы десятки неудовлетворительно работающих дренажных систем во всех областях Беларуси.

На основании выполненных работ и их анализа установлены основные причины неудовлетворительной работы дренажа и сделаны следующие выводы:

1. Неудовлетворительное осушение отмечается на объектах двух типов: участках грунтово-напорного питания и минеральных тяжёлых почвах с западным рельефом;
2. Недостаточный объём и детальность гидрогеологических изысканий на болтах грунтово-напорного питания не позволяет проектировщикам правильно определить тип питания участка и рассчитать расстояния между дренами;
3. Строительству дренажа на участках с высоким стоянием уровней грунтовых вод должно предшествовать обязательное предварительное осушение трасс коллекторов и дрен. Дренажные трубы должны быть защищены подходящими для конкретных грунтовых условий фильтрами, а засыпка дренажных траншей должна производиться немедленно после укладки дрен, не допуская скопления воды в траншее;
4. Модуль дренажного стока – величина расчётная, зависящая от гидрогеологических условий объекта и параметров дренажа – при проектировании должна рассчитываться исходя из конкретных условий проектируемого участка.

Совершенствование узла напорной флотации водоочистных установок

Кравцов А.М., Шахрай Д.С.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Разработка и совершенствование очистных систем с применением наиболее перспективных методов очистки, таких как флотация, может обеспечить не только достаточный уровень защиты окружающей среды, но и позволяет разрабатывать малоотходные и безотходные технологии использования природных ресурсов.

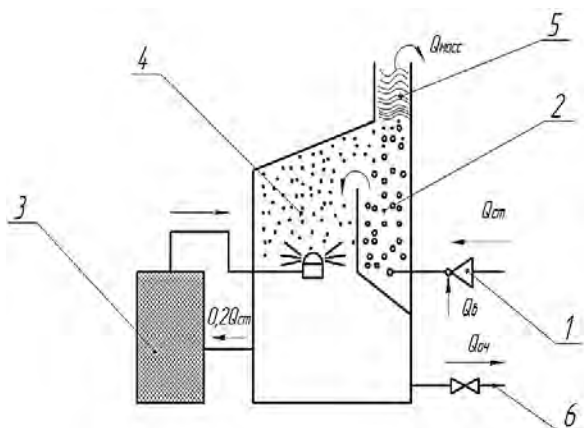


Рисунок 1 – Комбинированная флотационная камера. 1 – эжектор, 2 – камера струйной флотации с образованием крупных пузырьков; 3 – блок напорной флотации; 4 – вторая камера, образование мелких пузырьков; 5 – окно удаления пены; 6 – отвод очищенной воды.

стадиями флотации, а также повысит эффективность за счет того, что более крупные пузырьки обладают большей несущей способностью.

Такая схема установки обладает рядом преимуществ:

- исключается процесс флокуляции, необходимый для укрупнения примесей, связанный с применением реагентов. Это позволяет исключить содержание на предприятии реагентного хозяйства, а также позволяет в перспективе использовать такую установку в технологиях связанных с применением микроорганизмов для переработки выделенных примесей;

На основании проведенного анализа предлагается создание комбинированной флотационной камеры, в которой будет использована комбинация струйной флотации с напорной (рисунок 1).

При проведении очистки сточных вод наиболее эффективным является комбинирование процессов напорной флотации с методами флотации, которые способны удалять более крупные примеси. Это позволит распределить нагрузку между

- использование эжекторов позволяет сократить энергозатраты, связанные с применением компрессоров;
- достигается высокая насыщенность очищенной воды кислородом.

Литература:

1. Кравцов, А.М. Совершенствование локальных сооружений для очистки нефтесодержащих сточных вод / А.М. Кравцов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3. – С. 63–67.

УДК 627.8.012

Развитие малой гидроэнергетики в Беларуси

Елисеев А.Е., Метельская Ю.О., Кочергин А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

МиниГЭС для нашей республики – это самый приемлемый вариант, т.к. развитие территории предопределяет развитие гидроэнергетики с использованием потенциала низконапорных потоков.

В Беларуси насчитывается более 20 тыс. рек и ручьев. Технически доступный потенциал использован всего на 3%. Потенциальная мощность всех водотоков составляет 850 МВт, в том числе технически доступная – 520 МВт, экономически целесообразная – 250 МВт.

Сооружения малых ГЭС началось в 1930-1940 г. К 1941 г. действовало 32 электростанции суммарной мощностью 1400 кВт. Второй этап строительства приходится на начало 50-х годов. Было построено 50 ГЭС суммарной мощностью 7250 кВт. В 2010 г. в Беларуси насчитывалось около 30 миниГЭС.

Современные достижения в области автоматики позволяют сделать малые ГЭС полностью автоматизированными. К 2020 г. суммарная мощность увеличится вдвое, что позволит получить дешевую и экологически чистую энергию. К 2020 г. за счет гидроресурсов можно получить до 0,8-0,9 млрд. кВт·ч в год и соответственно заместить 220-250 тонн условного топлива.

Использование гидроресурсов рек Беларуси представляется перспективным для решения проблемы уменьшения зависимости энергетики республики от поставок импортных топлив, а также улучшения экологической обстановки.

Чтобы реализовать такие грандиозные планы, сделать предстоит немало. Это – и возведение каскадов ГЭС на основных водных артериях, и строительство новых миниГЭС на малых реках, а также восстановление заброшенных мини-станций с заменой их оборудования.

**Влияние количества испытуемых образцов
на коэффициент фильтрации геотекстиля**

Казьмирук И.Ч., Гутько А.В., Бобрик О.А., Фёдоров Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Геотекстильные полотна нашли широкое применение в гидротехническом строительстве и применяются в качестве защитно-фильтрующих материалов дренажа. Перед применением геотекстиля должны проходить серию испытаний в лабораторных и полевых условиях. Наиболее важной характеристикой пригодности геотекстильного полотна в качестве фильтра дрен является коэффициент фильтрации, определенный в направлении нормальном к его плоскости. Теоретической основой испытаний является предположение о справедливости закона Дарси, что скорость фильтрации линейно зависит от градиента напора.

По договору в лаборатории РУП «Институт мелиорации» на приборе ФП-1 была проведена серия экспериментов с различным количеством испытуемых образцов. По методике, приведенной в СТБ 1980-2009, рекомендуется устанавливать коэффициент фильтрации одного слоя полотна на чистой воде, в то время как определение коэффициента фильтрации закольматированного полотна проводят в три слоя, чтобы предотвратить вымывание кольматанта водой за время проведения эксперимента.

Проводилось определение величины погрешности при испытаниях различного количества образцов геотекстильных полотен. При проведении эксперимента замерялось количество воды W , прошедшее через образец за время t , по пьезометрам измерялась разница в давлении над образцом и под ним. При окончательной обработке данных учитывалась общая толщина образцов, измеренная под давлением в 0,02 МПа, которое соответствует величине давления на образец в приборе ФП-1 и при эксплуатации.

Лабораторные эксперименты проводились с геотекстильным материалом «Тураг PRO» черного цвета. Наблюдалась, в основном, тенденция к увеличению коэффициента фильтрации с увеличением количества испытуемых образцов. Так, для 3-х образцов величина составила 32,2 м/сут.; для 10-37,9; для 15-36,6; а для 30-42,5. Таким образом, диапазон колебаний от среднего для материала «Тураг PRO» находился в пределах $\pm 10\%$. Значит, при испытании 3-х образцов полотен, одно из которых закольматировано грунтом, получают заниженные данные по величине коэффициента фильтрации. Приведенное предположение требует подтверждения на образцах полотен других марок. Если данное предположение подтвердится, то следует вводить поправочные коэффициенты при определении фильтрационных параметров закольматированного геотекстильного полотна.

**Технико-экономическое обоснование
области применения обессоливания воды
для условий Республики Беларусь**

Ануфриев В.Н., Адиканко И.И.

Белорусский национальный технический университет

Обессоливание широко применяется для водоподготовки в системах водоснабжения предприятий энергетики, производства медицинских препаратов, пищевой промышленности. Существующие методы обессоливания и опреснения воды подразделяются на две основные группы:

- обработка воды с изменением ее агрегатного состояния (дистилляция, вымораживание);

- обработка воды без изменения ее агрегатного состояния (ионный обмен, электродиализ, обратный осмос, экстракция);

Выбор метода обессоливания определяется качеством исходной воды, требованиями к степени деминерализации обессоленной воды и технико-экономическими соображениями. С учетом развития технологий водоподготовки, например разделения на мембранах, для сложившихся экономических условий страны (тарифы на электроснабжение, цены на топливо, оборудование и т.д.) возникает задача оценки применимости способов обессоливания воды на станциях водоподготовки.

В настоящее время основными в практике водоподготовки является сокращение потребления реагентов и снижение нагрузки на окружающую среду в части минимизации расходов сточных вод. Зарубежный опыт показывает, что для сокращения объема сточных вод необходимо повторное или последовательное использование воды в различных циклах, а для сокращения количества загрязняющих веществ в сточных водах – применение рационального сочетания существующих технологий обработки воды.

В Европейском Союзе утверждён ряд документов описывающих наилучшие доступные методы решения основных экологических проблем с учетом структуры и характера промышленного сектора. В них рассматриваются общие критерии, применяемые к затратам по технологиям, их экологической эффективности, включая предполагаемое воздействие на различные компоненты природной среды.

Для использования в условиях Республики Беларусь передовых научно-технических разработок в области обессоливания воды, актуальным становится вопрос об анализе существующих доступных методов, а также разработка рекомендаций по сокращению объема, очистке и утилизации высокоминерализованных сточных вод на этапе водоподготовки с учётом экономических и экологических показателей.

**Особенности строительства грунтово-растительных площадок
для очистки сточных вод.**

Ануфриев В.Н., Мурина А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Грунтово-растительные площадки представляют собой сооружения, где используются растения макрофиты. Это могут быть как водоемы с различными видами водной растительности, так и сооружения для очистки сточных вод в грунте, на котором высаживаются макрофиты. Грунтово-растительные площадки такого типа представляют собой заглубление, ложе которого заполнено песком, гравием, галькой, другим крупнодисперсным химически инертным материалом с посадками камыша либо другой влаголюбивой растительности. Площадки размещают на слабофильтрующих грунтах. Для предотвращения просачивания частично очищенной сточной воды в грунт, фильтрующая загрузка размещается над слоем гидроизоляции, который делают из полимерной пленки. Профильтровавшаяся вода собирается дренажными трубопроводами в нижней части загрузки.

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, вертикальным и наклонным потоком в грунте. Различные типы грунтово-растительных площадок имеют свои особенности, что и создает возможность очистки в них разных категорий сточных вод.

На грунтово-растительные площадки для предотвращения их кольматации подается осветленная сточная вода. Осветление небольших расходов сточных вод производится в септиках или других сооружениях для отстаивания, которые являются элементами такой системы очистки.

Грунтово-растительные площадки могут применяться в сочетании с другими видами очистных сооружений, например, биологическими прудами, биологическими фильтрами. Причем биологические пруды, могут применяться как для предварительной очистки сточных вод с последующей доочисткой на грунтово-растительных площадках, так и в качестве сооружений финишной очистки и инфильтрации очищенной воды в грунт. Такое сочетание сооружений позволяет уменьшить нагрузку на площадки и сократить размеры площадей необходимые для их размещения.

Строительство сооружений грунтово-растительных для отдельных объектов и небольших населенных пунктов является доступным, не требует применения сложных механизмов, дорогостоящих материалов и приспособлений и осуществляется с использованием местных строительных материалов.

Критерии оптимизации параметров водохозяйственного комплекса в бассейнах малых рек предгорных районов Вьетнама.

Фам Нгок Киен

Белорусский национальный технический университет

Водопользование в бассейнах рек предгорных районов Вьетнама, как и во многих регионах других государств, практически невозможно без регулирования речного стока, так как наибольшие потребности в воде (в основном, на нужды орошения) не покрываются выпадающими в вегетационные периоды осадками, а речной сток в эти периоды недостаточен для обеспечения водой всех пользований в необходимом объеме. Эти особенности необходимо учитывать при разработке планов управления речными бассейнами для обеспечения выбора оптимальных параметров водохозяйственных комплексов. В упомянутых выше условиях не существует прямой зависимости между полезным объемом водохранилища и площадью орошения за счет этого объема, а потребности в воде орошения зависят не только от выпадающих осадков, но и от периодов сбора урожая, сельскохозяйственных культур, погодных условий. Кроме того, более сложными становятся водохозяйственные, экологические и другие ограничения, связанные с выполнением требований других (кроме орошения) участников водохозяйственного комплекса (ВХК). Самым важным параметром ВХК является емкость водохранилища, для обоснования которой предложен следующий критерий оптимизации: минимум регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади в виде целевой функции:

$$f(F_{г.ор}) = \frac{W_{е.ор} + W_{вх}^{нпу}}{F_{ор}} \rightarrow \min \quad \text{при } F_{ор} \geq F_{е.ор}, \quad (1)$$

где $W_{е.ор}$ - естественный речной сток ($м^3$), предназначенный для орошения (с учетом удовлетворения обязательных потребностей других участников ВХК); $W_{вх}^{нпу}$ - полный объем водохранилища при нормальном подпорном уровне ($м^3$); $F_{ор}$ - общая поливаемая в течение года площадь (га); $F_{е.ор}$ - гарантированная за счет естественного речного стока площадь орошения (га). Результатами оптимизации являются емкость водохранилища и рациональные площади видовых культур по каждому сезону года.

**Обоснование поправочных коэффициентов к ставкам
экологического налога за отведение сточных вод**

Герасимчик А. С., Колобаев А.Н.

Белорусский национальный технический университет

До 2012 года при отведении сточных вод в природные водные объекты с превышением допустимых объемов сточных вод, но без превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ в этих водах, предусматривалась повышение базового тарифа в 15 раз. Отмена этого положения вполне оправдана, но лишь при отсутствии превышения установленного в разрешении на специальное водопользование допустимого сброса загрязняющих веществ в составе сточных вод.

При отведении сточных вод с превышением их объема, но с фактической концентрацией равной допустимой, требования в области охраны водной среды нарушаются, так как превышает установленная водопользователю величина допустимого сброса. В этом случае правомерность повышающего коэффициента к ставке налога за 1 м³ очевидна. Авторами предлагается применять повышающий или понижающий коэффициент в зависимости от объема сброса, концентрации загрязняющих веществ и массы сброса загрязняющих веществ. Применение этих коэффициентов целесообразно в следующих ситуациях:

1) предприятие сбрасывает сточные воды с фактическими концентрациями загрязняющих веществ, близкими к допустимым или равными им, а объем сброса больше допустимого. В этом случае наблюдается превышение по массе сброса загрязняющих веществ, поэтому используется повышающий коэффициент к ставке экологического налога;

2) предприятие отводит сточные воды с концентрациями загрязняющих веществ намного меньше допустимых, а объем сброса сточных вод находится в пределах нормы, т. е. масса загрязняющих веществ будет существенно ниже допустимой; в таком случае применяется понижающий коэффициент к ставке экологического налога.

Величина повышающего коэффициента определена из условия, чтобы сумма дополнительного налога не превышала размера возмещения вреда, вычисленного согласно Указу Президента Республики Беларусь 24.06.2008 N 348. Его величина пропорциональна отношению превышения фактической массы сброса к допустимой и в среднем составит 2,6. Значение понижающего коэффициента предлагается определять в зависимости от максимального соотношения между фактической и допустимой концентрацией (из всех нормируемых и контролируемых загрязняющих веществ).

**Расчет всасывающих трубопроводов насосных станций
отжимных и оборотных рассолов калийных производств**

Шейко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения стабильной работы насосного агрегата необходимо выполнить гидравлический расчет всасывающего трубопровода в случае забора рассола из шламохранилища (рассолосборника) через дамбу (рис.1) или через вакуумный бак (рис. 2).

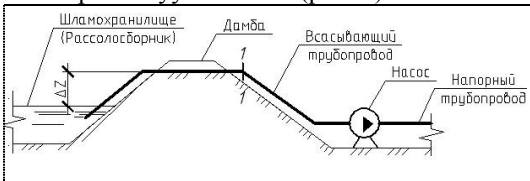


Рис. 1-Всасывающий трубопровод через дамбу

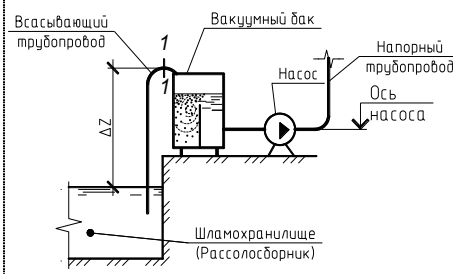


Рис. 2-Всасывающий трубопровод через вакуумный бак

Расчет всасывающей линии сводится к определению максимального вакуумметрического давления (напора) $H_{\text{вак}}$ и сравнению его с допустимым вакуумметрическим давлением (напором) $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$. Для обеспечения стабильной работы всасывающей линии, не допускающей разрыва сплошности рассола, необходимо соблюдение следующего условия:

$$H_{\text{вак}} \leq H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$$

Максимальный вакуум $H_{\text{вак}}$ определяется по формуле:

$$H_{\text{вак}} = \Delta Z \cdot \rho_p + h_{\text{пв } 1-1} \frac{\rho_p}{\rho_v} + \frac{\alpha V_{1-1}^2}{2g} \cdot \rho_p, \text{ где } \Delta Z - \text{превышение всасывающей}$$

линии насоса в рассматриваемом сечении над минимальным уровнем рассола в шламохранилище (рассолосборнике), где возникает наибольший вакуум; ρ_p - плотность рассола; $h_{\text{пв } 1-1}$ - потери напора во всасывающем трубопроводе в сечении 1-1; ρ_v - плотность воды; V_{1-1} - средняя скорость рассола в сечении 1-1. Наибольший вакуум будет образовываться в сечении максимально удаленном по длине и по высоте от входа во всасывающий водовод. Допустимое вакуумметрическое давление (напор) $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ принимается как для воды и зависит от температуры перекачиваемой

жидкости и отметки местности.

УДК 697.7

Расчет и обоснование выбора солнечного теплового коллектора для горячего водоснабжения индивидуального жилого дома

Величко В.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время ввиду постоянного роста цен на углеводородные энергоносители, связанного с проблемами глобального изменения климата, а также того факта, что традиционные источники энергии исчерпаемы, актуальным является развитие и широкое использование возобновляемых, экологически чистых источников энергии. Наиболее доступным видом таких источников является энергия солнца.

Потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в Республике Беларусь составляет более 40 млн. т.у.т., или $1,14 \cdot 10^{12}$ МДж. Без ущерба для окружающей среды может быть использовано 1,5% всей падающей на землю солнечной энергии, что для Беларуси составляет $2,6 \cdot 10^{12}$ МДж и в 2,2 раза превышает общее потребление ТЭР в республике.

В настоящей работе объектом исследования является система горячего водоснабжения индивидуального жилого дома, расположенного в Дзержинском районе Минской обл., в котором проживает семья из пяти человек. Планируется, что нагрев воды для системы горячего водоснабжения (ГВС) будет полностью обеспечиваться за счет использования солнечных коллекторов в летний период года и частично в зимний период года.

Ставилась задача выбора наиболее оптимального варианта солнечной водонагревательной установки исходя из критериев стоимости и эффективности ее использования. Установка должна обеспечить нагрев 300 литров холодной воды в день до температуры 55°C .

В процессе решения поставленной задачи выполнены следующие работы: рассчитано требуемое водопотребление дома; обоснованно выбран оптимальный угол наклона плоскости солнечного коллектора и произведен расчет прихода солнечной радиации на эту плоскость; проведен анализ нескольких видов солнечных коллекторов (плоский и на основе вакуумных трубок); проведены расчеты площади коллекторов для полного покрытия нагрузки ГВС в течение года.

Выбрано также необходимое вспомогательное оборудование (гелиобойлер, контроллер и насосная станция) и дублирующий источник горячего водоснабжения (электрический бойлер) для зимнего периода. Проведено технико-экономическое обоснование принятых решений.

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Кундаса С.П.

Теплоперенос в промышленных зданиях с системами напольного отопления

Нестеров Л.В., Лонская Т.Г.

Белорусский национальный технический университет

В практике современного строительства, в том числе и промышленных зданий, все чаще возникает необходимость обогрева площадок в открытом пространстве, например, футбольного поля с подогревом, или помещений в закрытом пространстве, например, выставочного зала, ткацкого цеха и т.п. Проведенный анализ областей применения различных систем отопления показал, что широко распространенное отопление конвекторами и радиаторами не дает необходимого теплового комфорта: при большой площади помещения неизбежны перепады температур по площади, а при высоте помещения 3 метра и более градиент температуры может достичь 8 град/м. Происходит бесполезный перегрев верхней зоны помещения и, соответственно, увеличенные потери теплоты.

Напольное отопление при правильном подходе к проектированию и расчету лишается этих недостатков. Необходимо отметить, что в связи с распространением в последние годы этого вида отопления отработана определенная техника выполнения работ: материалы труб и защитных слоев, конструкция пола, технология укладки греющих трубопроводов и др. Существуют и методики расчета таких систем. Общим недостатком существующих методик является отсутствие научно обоснованной базы для распределения трубопроводов по площади обогрева. Естественно, что при одинаковой теплоотдаче и равномерной укладке труб, температура центральных и периферийных зон пола будет различна. Для устранения этого недостатка применяются различные способы укладки труб, изменяется шаг между витками т.п. Эти мероприятия осуществляются практически «по наитию», без какого-либо расчета. А если учесть, что в производственном помещении может быть установлено стационарное оборудование, то вопрос о рациональной укладке греющего трубопровода становится еще более сложным.

Нами предполагается проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку методики расчета систем напольного отопления, учитывающей конфигурацию помещения, размещение технологического оборудования и обеспечивающей комфортные параметры при минимальных затратах на сооружение системы и ее эксплуатацию.

Контактный теплообмен в электропроводящих коммуникациях

Акельев В.Д., Широкова Е.М., Кравчук К.А.

Белорусский национальный технический университет

Представлены исследования по разработке соответствующих методик для определения пожароопасных проявлений электрического тока при нагреве контактных проводов.

Площадь фактического контакта составляет малую долю от номинальной поверхности соприкосновения, т.е. образуются пятна непосредственного контакта шероховатых тел и полости, заполненные флюидом. Коэффициент теплопроводности флюидов меньше коэффициента теплопроводности металлов, что приводит к увеличению температур контактных участков.

Термическое сопротивление флюида переменной толщины можно рассматривать как сопротивление слоя постоянной толщины эквивалентного пространства между элементами контактирующих поверхностей.

Аналитическое решение задачи о реальной поверхности касания проблематично, поэтому становится актуальным экспериментальное исследование.

Термическое сопротивление контакта двух тел можно описать уравнением для параллельно включенных проводимостей:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_\infty},$$

где R_0 – термическое сопротивление реального контакта, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт;

R_∞ – термическое сопротивление флюида, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт;

R – суммарное термическое сопротивление контакта, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт.

Рассмотрены и проанализированы экспериментальные исследования, проведенные при контакте двух образцов в различных условиях. Например, для образцов из различных материалов, при различных внешних нагрузках, температурах и времени. Все эти факторы оказывают определенное воздействие на величину коэффициента термического сопротивления контакта. Степень воздействия каждого из факторов представлена графическими зависимостями, построенными по эмпирическим данным.

Моделирование и тепловизионный анализ эффективности применения местных теплоизоляционных материалов при строительстве индивидуальных домов

Кундас С.П.¹, Кресова Е.В.², Кужелко Д.Ю.², Супринович Ю.Л.³

¹Белорусский национальный технический университет,

²Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова, ³Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоСтроитель»

В связи с развитием в Беларуси энергоэффективного строительства актуальной задачей является оптимальный выбор строительных материалов, обеспечивающих необходимые теплоизоляционные свойства при оптимальном соотношении цена-качество. Всё более широкое распространение, в особенности в индивидуальном домостроении, находят дома, строящиеся с применением экологически чистых местных материалов. Распространение получает также «этническое» экологически чистое строительство. Можно выделить два основных направления этого вида строительства: дома из прессованных соломенных, соломенно-глиняных блоков и каркасные дома (по типу фахверка) с соломенно-глиняным заполнением с использованием скользящей опалубки.

В нашей стране направление экологически чистого индивидуального строительства наиболее активно развивает Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоСтроитель». В частности, им построены индивидуальные дома в д. Стаховцы Мядельского района Минской области и в д. Старый Лепель Лепельского района Витебской области.

Для оптимизации выбора теплоизоляционных материалов ограждающих конструкций домов разработана трёхмерная тепловая модель, описывающая конструкцию дома, его конечно-элементное представление и расчётно-аналитические методы. Конструктивная модель создана в программном комплексе SolidWorks. Конечно-элементная и расчётно-аналитические модели и непосредственно расчёты выполнены в программном комплексе COMSOL Multiphysics. Проведенные с помощью разработанной интегрированной модели численные исследования позволили оптимизировать структуру и расположение теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях дома (глина-щепа, глина-солома, тростник). Тепловизионные исследования динамики нагрева и охлаждения дома подтвердили работоспособность созданных моделей и возможность их использования для решения задач анализа тепловых режимов зданий и оптимизации ограждающих конструкций.

**Построение системы поддержки принятия решений
по использованию возобновляемых источников энергии**

Кундас С.П.¹, Тонконогов Б.А.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Международный государственный экологический университет
им. А.Д. Сахарова

В Республике Беларусь, которая не обладает в достаточном количестве собственными энергетическими ресурсами, большое внимание уделяется использованию местных видов топлива и возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Эффективное решение этой важной задачи в значительной степени зависит от наличия актуализированной информации о потенциале ВИЭ, применяемых технологиях и оборудовании.

Следует отметить, что для принятия решения об использовании хозяйствующими объектами и физическими лицами определенного вида возобновляемых источников энергии необходимо учитывать большое число факторов, которые в конечном итоге и определяют целесообразность и экономическую эффективность проекта. Поскольку поставленная задача является многофакторной и многокритериальной, целесообразно использовать для ее решения специальные математические методы и современные информационные технологии.

Для решения указанных задач в настоящей работе созданы и адаптированы для условий Республики Беларусь методики оценки потенциала следующих видов ВИЭ: солнечной энергии; энергии ветра; гидроэнергии и биоэнергии. Разработана также информационная система, которая технически реализуется в виде полнофункционального ресурса сети Internet, состоящего из серверной базы данных и Web-сайта для доступа к ней.

Система предоставляет пользователям следующую информацию:

- о потенциале всех видов ВИЭ, привязанном с помощью ГИС-технологий к конкретной местности (пилотная версия системы разработана для Дзержинского р-на Минской обл.);
- о производимом в области ВИЭ технологическом оборудовании;
- аналитический модуль для оценки энергетической и экономической эффективности использования ВИЭ на уровне хозяйств, предприятий, населенных пунктов или районов.

Оценка экономической эффективности осуществляется по критериям: чистая текущая стоимость; срок окупаемости; дисконтированный период окупаемости; внутренняя норма доходности; индекс рентабельности инвестиций.

**Проектирование гибридной системы энергоснабжения
одноквартирного жилого дома**

Артеменков И.В.

Белорусский национальный технический университет

Возобновляемые источники энергии находят все более широкое применение в мире для решения проблем энергетической безопасности и сохранения климата. Для стимулирования развития этого актуального направления в Республике Беларусь постановлением Совета Министров № 586 от 10.05. 2011 года была принята национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011-2015 гг., а также Комплексная программа по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов на 2009–2010 годы и на перспективу до 2020 года (постановление Совета Министров № 706 от 01.06.2009).

Объектом исследования в настоящей работе является система энергоснабжения одноквартирного дома, построенного на территории Международного экологического парк «Волма» – центра возобновляемых источников энергии. Для строительства дома была принята типовая конструкция каркасно-щитового дома, разработанная и производимая фирмой «Эко-Строитель», в которой применены тростниковые маты в качестве утепляющего материала ограждающих конструкций.

В работе представлены результаты расчетов электрической нагрузки здания, удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, а также нагрузки на систему горячего водоснабжения объекта.

На основе этих показателей был произведен выбор оборудования гибридной системы энергоснабжения дома на основе возобновляемых источников энергии в состав которой входят: фотоэлектрический модуль и две ветроэнергетические установки с вертикальной и горизонтальной осями вращения – для нужд электроснабжения; солнечная водонагревательная установка на основе вакуумного трубчатого гелиоколлектора и котельной на древесном топливе – для нужд теплоснабжения объекта. Такая система обеспечивает автономное энергоснабжение дома независимо от погодных условий.

Представлены результаты расчетов выработки тепловой и электрической энергии гибридной системой энергоснабжения, а также анализ экономической эффективности проекта на основе системы принятых показателей.

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Кундаса С.П.

Анализ возможностей оптимизации гибридных систем энергообеспечения индивидуальных жилых домов с помощью методов компьютерного моделирования

Величко В.В.¹, Кужелко Д.Ю.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) все более широкое применение в системах энергообеспечения жилого сектора. Однако некоторые из них (ветро- и солнечные энергоисточники) зависят от метеорологических условий, времени, суток и года. Учитывая актуальность этого направления в энергетике, указанная проблема решается в настоящее время применением гибридных систем на основе ВИЭ.

Методика выбора оптимального варианта построения гибридных систем должна быть основана на расчете и сравнительном анализе энергетических характеристик автономных электростанций, предназначенных для электропитания конкретного потребителя с географической привязкой к месту ее размещения. Улучшение энергетических характеристик таких систем достигается за счет рационального выбора установленных мощностей генерирующих и аккумулирующих источников, определяемых климатическими условиями в месте размещения электростанции и характером электрической нагрузки потребителя, а также оптимального управления потоками энергии в замкнутой энергетической системе, которое обеспечивает единая система управления рабочими режимами. Важное значение имеет также проведение на этапе проектирования технико-экономического анализа принятых технических решений.

В настоящей работе объектом исследования являются современные программные средства для оптимизации гибридных систем на основе ВИЭ и основной целью является проведение анализа существующего программного обеспечения и применяемых математических моделей для выбора оптимального построения таких систем с учетом их места расположения, климатических условий, а также исходя из критериев доступности, функциональных возможностей и эффективности их применения.

На основе проведенного анализа выбраны программные средства, с помощью которых возможно решение задач проектирования и оптимизации гибридных систем, а также определены возможности их модернизации и адаптации для решения конкретных практических задач.

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Кундаса С.П.

Работа вытяжного зонта при наличии внешних воздействий

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Многие технологические процессы сопряжены с выделением теплоты и вредных веществ. Для исключения рассеивания вредностей в воздушном пространстве цехов применяют местную вытяжную вентиляцию, предназначенную для удаления загрязненного воздуха от мест его выделения.

Методики проектирования местных отсосов не учитывают многие возмущающие факторы, имеющие место в реальных условиях: потоки воздуха, вызванные открыванием ворот и фонарей цеха; схему распределения приточного воздуха; особенности развития конвективных струй и др.

Цель исследования – найти условия полной локализации вытяжным зонтом конвективной струи, формируемой линейной нагретой плитой, с поверхности которой выделяются вредные вещества. Для решения задачи использовано численное моделирование на основе дифференциальных уравнений процессов переноса теплоты и массы. Принято допущение о том, что в нагретой струе загрязняющие вещества содержатся в количествах, не влияющих на развитие струи. Начальная температура внутренней воздушной среды и температура приточного воздуха заданы на уровне $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура поверхности плиты $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вычислительный эксперимент показал, что при раздаче приточного воздуха только с одной стороны зонта происходит вынос тепловой струи за пределы зонта. С целью исключения выноса рассмотрены несколько вариантов с применением удлиненных свесов. Ни один из вариантов не позволяет исключить уход нагретого загрязненного воздуха в пространство цеха. Наибольший эффект снижения утечек дает свес, расположенный со стороны набегающего потока воздуха. В качестве альтернативного способа защиты зонта рассмотрены экраны. Наилучший результат, когда утечка нагретого загрязненного воздуха практически отсутствует, обеспечивается экраном, расположенным симметрично относительно зазора между плитой и зонтом. Экраны следует располагать с обеих сторон от конвейера, поскольку направление бокового потока может изменяться при перемене наружных метеорологических условий, открывании дверей, изменении режима работы приточных и вытяжных установок.

Установлено, что формирование конвективной струи над горячей горизонтальной поверхностью сопровождается образованием шейки, что не учитывается традиционными методиками расчета вытяжного зонта. Значение угла раскрытия зонта, близкое к 60° , не гарантирует равномерного всасывания по всей плоскости входного отверстия.

К вопросу о сланцевом газе

Артихович В.В., Волчек Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Сланцевая революция – распространённое с 2012 года в прессе обозначение внедрения в промышленную эксплуатацию эффективных технологий добычи газа из залежей сланцевых пород («сланцевый газ»), которое произошло в США в начале XXI века.

Сланцевый природный газ (англ. shale gas) – это природный газ, добываемый из горючих сланцев и состоящий преимущественно из метана (CH₄). Добывается из месторождений, расположенных в сланцевых осадочных породах. Запасы породы распределены по всему миру на суше и на морском дне. В мире имеется 48 сланцевых бассейнов в 38 странах.

Первая коммерческая газовая скважина в сланцевых пластах была пробурена в США в 1821 году. Масштабное промышленное производство сланцевого газа также начато в США в начале 2000-х, где впервые была применена комбинация **наклонно-направленного бурения** и многостадийного **гидроразрыва пласта**. Гидроразрыв сделал принципиально возможным разработки сланцевых месторождений, а для традиционных месторождений эта технология позволила существенно сократить расходы.

В числе факторов, положительно влияющих на перспективы добычи сланцевого газа: близость месторождений к рынкам сбыта; значительные запасы; заинтересованность властей ряда стран в снижении зависимости от импорта топливно-энергетических ресурсов.

Однако добыча сланцевого газа сталкивается с рядом проблем, которые могут оказывать на эту отрасль большое влияние: при сжигании кубометр сланцевого газа выделяет в 2 раза меньше тепла, чем природный; в нем много примесей, поэтому он транспортируется в сетях низкого давления на малые расстояния. Бурение сланцевых скважин в 5–15 раз дороже, чем обычных, так как необходимо много чистой воды и химических соединений. Добыча сланцевого газа может вызвать серьёзные экологические проблемы в регионе добычи (загрязнение окружающей среды, а также отравление питьевой воды). Каждое месторождение невелико, и использовать его можно кратковременно; из него можно извлечь всего порядка 20% газа, в то же время из традиционной скважины извлекается до 60% газа.

Пока ещё рано судить о том, насколько большое влияние может оказать разработка сланцевого газа: по оптимистичным оценкам она немного опустит цены на нефть и газ – до уровня нулевой рентабельности добычи сланцевого газа. По другим оценкам, держащаяся на дотациях разработка сланцевого газа скоро окончится совсем.

Расчет температурных полей и их градиентов в дорожных асфальтобетонных покрытиях

Пшембаев М.К.¹, Ковалев Я.Н.², Орлович А.И.² Золотарев И.Н.²

¹Комитет по автомобильным дорогам Республики Казахстан,

²Белорусский национальный технический университет

Воздействие тепловых потоков на асфальтобетонные покрытия при различных климатических характеристиках районов строительства и эксплуатации дорожных одежд снижает их прочность, коррозионно-сдвигоустойчивость, морозоустойчивость, а следовательно – долговечность. Причиной деформационных процессов является характер градиентных температурных полей в материалах дорожных одежд, развиваемых как при длительном, так и при кратковременном воздействии теплоты и массы, которые способствуют разрушению поверхностных слоев покрытий, контактирующих с наружным воздухом. При этом в порах насыщенного влагой покрытий вследствие движения автомобилей возникают пульсирующие гидродинамические давления, способствующие разрушению структуры материала поверхностных слоев, что приводит к возникновению необратимых деформаций.

В расчетах асфальтобетонные покрытия рассматривались как неограниченные пластины, термические контактные сопротивления теплопроводности между которыми отсутствуют. Конвективный и радиационный теплообмен у поверхности покрытий происходит в соответствии с законом Ньютона-Рихмана и Стефана-Больцмана. Градиенты температур имеют место только в направлении координаты x , а по координатам y и z равны 0. Таким образом, асфальтобетонное покрытие – это полуограниченное тело при граничных условиях третьего рода, в котором перенос теплоты и массы зависит от коэффициентов теплопроводности, удельной массовой изобарной теплоемкости, плотности, температуропроводности, коэффициентов теплоотдачи у поверхности.

Разработана компьютерная программа на языке C++ для инженерных расчетов температурных и градиентных полей дорожных одежд из материалов с различными теплофизическими характеристиками и наружного воздуха в соответствии с граничными условиями третьего рода для полуограниченного тела. Результаты расчетов представлены в виде графических зависимостей распределения температуры по толщине покрытий в зависимости от его начальной температуры и теплофизических характеристик.

**О моделировании конвективных потоков воздуха
в пневмоопорных объектах**

Хрусталеv Б.М., Акельев В.Д., Кудрявцев П.А.
Белорусский национальный технический университет

Многие численные исследования конвекции представлены в рамках двумерной конвекции, так как в широкой области пространство параметров конвекции имеет квазидвухмерный валиковый характер.

При этом известны расчеты трехмерной конвекции с использованием двумерных модельных уровней и исходных уравнений аэродинамики для протяженных горизонтальных поверхностей с различными аспектными отношениями (отношение горизонтального размера объекта к его высоте).

В работе моделирование выполнено в соответствии с разработанным специальным программным модулем для расчета пространственного распределения скоростей, температур, давлений в пневмоопорных объектах на основании метода конечных разностей.

Поля скоростей, давлений, температур рассчитаны для характерных моментов времени в нестационарном режиме.

На рисунке 1 представлено поле температур в характерных сечениях объекта при скорости поступления воздуха 3 м/с.

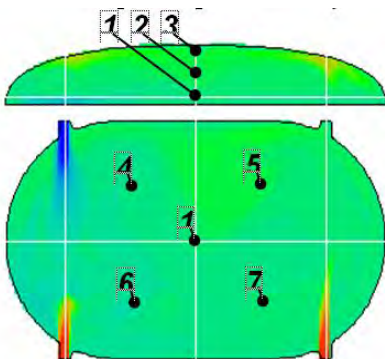


Рисунок 1 – Температурное поле пневмоопорного объекта при скорости воздуха 3 м/с

Анализ данных полученной модели показывает, что через 20 с температура в области источников теплоты равна 30 °С, скорости изменяются от 1 до 3 м/с. В области притока менее нагретого воздуха имеют место потоки воздуха со скоростями 1-3 м/с (температура 10 °С).

**Тепло- и массоаэродинамическая устойчивость
отапливаемых объектов**

Тереш А.С.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрены некоторые аспекты тепло- и массоаэродинамической устойчивости отапливаемых объектов.

В качестве «объектов» рассматривались: жилые, промышленные наземные (подземные) здания и сооружения; вентиляционные коммуникации и т.д. «Оболочка» – это конструкция, которая имеет более и менее нагретые поверхности различных геометрических форм, например: внешние и внутренние поверхности пневмоопорных объектов, вентиляционных каналов, по которым транспортируется аэродиффузионные капельные потоки.

Устойчивость объекта (в технике) – способность системы восстанавливать своё установившееся состояние после внезапного нарушения каким-либо внешним или внутренним фактором. Различают статическую и динамическую устойчивость. При анализе статической устойчивости объекта рассматривают только его начальные и конечные состояния на основании статических характеристик. При исследовании динамической устойчивости объекта следует учитывать динамические моменты и продолжительность его перехода от начального состояния к конечному, а также характер движения объекта в течение этого периода.

Теплоустойчивость оболочки – свойство её сохранять стационарное температурное поле поверхностей при периодических колебаниях теплового потока. Аэродинамическая устойчивость помещений – способность снижать колебания термодинамических характеристик воздуха в объекте при периодических изменениях тепловых потоков от источников теплоты. Для объектов различного назначения аэродинамическая устойчивость определяется коэффициентами устойчивости потокам пара, влажного воздуха, их воздухопроницаемости.

Диффузионная инерция – способность объекта сопротивляться изменениям парциального давления при переменных диффузионных воздействиях.

Число волн в оболочке характеризует её показатель массообменной инерции, зависящий от периода колебаний массопотоков. Уменьшение периода колебания увеличивает инерцию оболочки, следовательно, в ней возможно наличие большего числа волн; при этом интенсивнее уменьшаются колебания в оболочке и длина волны для потенциала массопереноса.

Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. Акельева В.Д.

Методы определения тепло- и температуропроводности при нестационарных режимах

Сизов В.Д., Кудрявцев П.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время разработано и запатентовано множество способов и устройств для определения теплофизических характеристик конструкций при нестационарных режимах, в основе которых лежит расчет температурных полей в элементах конструкций при подводе и отводе теплоты с определением тех промежутков времени, когда процесс можно считать стационарным. Однако в натуральных условиях любой процесс при нагреве или охлаждении наружной конструкции считается нестационарным при тепловом воздействии на неограниченную пластину при граничных условиях III рода. Для выявления временного интервала, когда температура на внутренней поверхности ограждения не начнет изменяться, т.е. $t_{в.п.} \neq t_0$, можно воспользоваться классическим решением данной задачи [1].

По расчетным формулам и заданным начальным условиям, в соответствии с [1] для любого интервала времени $\Delta\tau$ и R определяются аргументы Fo и Bi , на основании которых по известным соотношениям и графикам вычисляются температуры на поверхности, в центре и на противоположной стороне неограниченной пластины т.е. $t = f(R, \tau)$ (рисунок 1, который показывает, что темп изменения температуры зависит от времени τ и термического сопротивления ограждающей конструкции R).

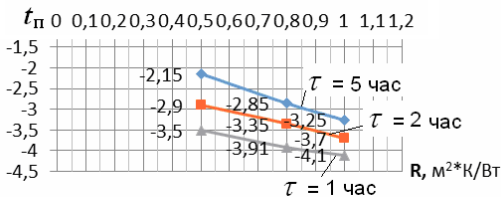


Рисунок 1 – Графики зависимости температуры на поверхности стены через временной интервал τ от термического сопротивления стенки $t = f(R)$

Изложенное показывает, что, решая обратную задачу, можно определить R при измерениях темпа охлаждения или нагрева конструкции в определенные промежутки времени.

Литература:

1. Пехович, А.И. Расчеты теплового режима твердых тел / А.И. Пехович, В.М. Жидких // Л.: Энергия, 1968. – 304 с. илл.

Анализ методик теплового неразрушающего контроля при оценке качества конструкции

Сизов В.Д., Емцев Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Методы теплового неразрушающего контроля (ТНК) применяются во всех отраслях промышленности, где по неоднородности теплового поля можно судить о техническом состоянии контролируемых объектов. Основными достоинствами ТНК являются: универсальность, точность, оперативность, высокая производительность и возможность проводить контроль дистанционно.

Различают пассивный и активный методы ТНК. Пассивный ТНК не нуждается во внешнем источнике теплового воздействия. Активный ТНК напротив, предполагает нагрев объекта внешними источниками.

Активный метод теплового контроля применяется, когда во время эксплуатации объект самостоятельно не выделяет тепловое излучение достаточное для проведения ТК и нагревается различными внешними источниками. Использование методов активного ТК заключается в том, что тепловые потоки, действующие на поверхность объекта, из-за наличия скрытых дефектов внутри образца перераспределяются, что приводит к появлению на поверхности специфических температурных аномалий.

Аномалии наблюдаются и регистрируются с помощью различных устройств, а их амплитуда, форма и изменения во времени служат параметрами, которые позволяют обнаружить те или иные дефекты.

При диагностике ограждающих конструкций зданий и сооружений в процессе возведения и эксплуатации задача ТНК сводится к определению термического сопротивления стенки, которая представляет собой типичную обратную задачу теплопроводности, которая имеет два подхода к ее решению – измерение температур на обеих поверхностях объекта и величины теплового потока и измерение температуры на одной поверхности и температуры окружающей среды.

Второй подход требует использования расчетных значений коэффици-

ентов теплообмена согласно формуле:
$$R = \frac{T_{\text{вн}} - \frac{\alpha_{\text{н}}}{\delta_{\text{вн}}} \cdot (T_{\text{н}}^w - T_{\text{н}}^a) - T_{\text{н}}^w}{\alpha_{\text{н}} \cdot (T_{\text{н}}^w - T_{\text{н}}^a)},$$
 из

которой ясно, что решение задачи по этой формуле неустойчиво.

Таким образом, дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку методики ТНК, позволяющей уменьшить погрешности решения данной задачи.

Выбор оптимальных размеров конструктивных элементов затенения световых проёмов общественных зданий

Борухова Л.В., Шибeko А.С.

Белорусский национальный технический университет

Конструктивные солнцезащитные устройства должны быть запроектированы таким образом, чтобы в тёплый период года обеспечивать требуемый световой климат в помещении при минимизации поступления прямого солнечного излучения, так как за счёт прямого солнечного излучения в помещение поступает большее количество теплоты, чем от рассеянной солнечной радиации (для условий Республики Беларусь для ориентированных на восток или запад остеклений удельный тепловой поток падающего прямого солнечного излучения составляет 614 Вт/м^2 , а рассеянного – 174 Вт/м^2 , т.е. в 3,5 раза выше).

При расчёте требуемых размеров конструктивных солнцезащитных устройств необходимо, чтобы коэффициент инсоляции – отношение освещённой прямым излучением площади к общей площади окна – был минимальным. Коэффициент инсоляции зависит не только от размеров светового проёма и солнцезащиты, но и от положения солнца в расчётный час.

Рассчитав требуемые размеры горизонтальных (козырьков) и вертикальных (рёбер) солнцезащитных устройств, можно убедиться в том, что козырьки наиболее эффективны для уменьшения поступления прямой радиации, причём меньшие размеры будут у наклонных козырьков. Рёбра при этом не нужны, т.к. они в меньшей степени снижают поступление прямого солнечного излучения и в большей снижают поступление рассеянной радиации, необходимой для создания освещённости.

Проводя дальнейший анализ данных и рассчитав оптимальный отступ козырька от светового проёма, можно сделать вывод, что проектировать стационарную солнцезащиту оптимально для наиболее подверженной облучению южной стороны, при этом её размеры будут минимальны. В качестве основной солнцезащиты должен применяться козырёк с углом наклона 56 градусов относительно плоскости окна и установленный на расстоянии от откоса светового проёма, равном $0,24$ высоты.

Для прочих ориентаций применение стационарной солнцезащиты для полного затенения не рекомендуется в связи с тем, что их размеры будут достаточно велики. Однако полностью отказываться от её применения не стоит, т.к. она уменьшит нагрузку на системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Как основной фактор снижения тепlopоступлений через световые проёмы должно выступать применение специальных остеклений с малым коэффициентом пропускания солнечного излучения.

Методика экспериментальных исследований аэродинамических характеристик воздухораспределителей

Ширяков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Для создания требуемых параметров воздуха в рабочей зоне помещений и корректной работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо производить расчёты раздачи приточного воздуха и потерь давления. Для определения скорости и избыточной температуры на входе струи в рабочую зону и потерь давления в воздухораспределителях нужно знать величины аэродинамических коэффициентов, которыми являются:

- скоростной (динамический) коэффициент m , характеризующий темп изменения скорости по оси струи;
- температурный (тепловой) коэффициент n , показывающий темп изменения избыточной температуры по оси струи;
- коэффициент местного сопротивления ζ – отношение потерь полного давления в воздухораспределителе к динамическому давлению, определённое исходя из скорости в «живом» сечении.

Для определения данных коэффициентов для воздухораспределителей, выпускаемых ОДО «Вариж», на кафедре «Теплогасоснабжение и вентиляция» БНТУ был запроектирован и выполнен стенд, который состоит из канального вентилятора, электрокалорифера, камеры статического давления и универсального насадка, в который можно монтировать различные типы решёток. Измерения величин производили с помощью комбинированного прибора «Testo 435» с двумя типами датчиков: скорость и температуру определяли с помощью термодатчика, давление – трубкой Пито. Температуру воздуха в помещении определяли с помощью термоанемометра «Testo 425». Испытания производились при трёх режимах работы вентилятора. При определении скоростного и теплового коэффициентов измеряли скорость и температуру по оси струи на источении и в сечениях, расположенных на расстоянии 0,4–1,0 м через каждые 0,1 м и на расстоянии 1,5 м от воздухораспределителя. Одновременно контролировалась температура и подвижность воздуха в лаборатории. Скорость воздуха в струе усреднялась по времени (за 60 с). Для определения коэффициента местного сопротивления определяли полное давление в статической камере за вычетом потерь на трение от места измерения до исследуемого воздухораспределителя и скорость воздуха в «живом» сечении. Точки измерения давления устанавливались исходя из требований ГОСТ 12.3.018-79. Скорость воздуха в камере усреднялась по времени и площади.

Работа выполнена при участии А.С. Шибeko.

**Исследование аэродинамических характеристик
воздухораспределителей**

Борухова Л.В.¹, Борухова М.А.², Шибeko A.C.¹, Ширяков A.A.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²Белорусский государственный университет

Для создания требуемых параметров микроклимата в помещениях зданий различного назначения необходимо, чтобы скорость и избыточная температура приточного воздуха на входе в рабочую зону не превышали нормативных значений. Для расчёта параметров приточной струи необходимо знать скоростной (динамический) и тепловой (температурный) коэффициенты воздухораспределителя.

На основании теоретических зависимостей изменения скорости и избыточной температуры по оси струи можно определить скоростной и тепловой коэффициенты воздухораспределителя при условии, что струя слабоизотермичная и не испытывает стеснения другими струями и ограждающими конструкциями.

Для испытаний были отобраны различные типы решёток, выпускаемых ОДО «Вариж». Условно их можно разделить на четыре типа в зависимости от места установки, типа струи и схемы подачи приточного воздуха.

Первый тип – настенные решётки, предназначенные для подачи воздуха в рабочую зону наклонными струями, при этом из воздухораспределителя в зависимости от угла установки лопаток истекает компактная или коническая струя.

Ко второму типу относятся решётки настенные РС11-турбо, с помощью которых можно получить различные типы струй (компактную, веерную и комбинированную) и схемы подачи воздуха в зависимости от поворота диффузоров.

Третий тип – нерегулируемые потолочные решётки, монтируемые в подвесной потолок.

К четвёртому типу относятся решётки потолочные с поворотными диффузорами РС5турбо, аналогичные РС11-турбо.

Исходя из экспериментальных значений коэффициентов, были построены номограммы в логарифмической системе координат с помощью математического пакета Wolfram Mathematica, благодаря которым удобно определять значения скорости и избыточной температуры на оси струи.

Результатом испытаний и расчётов явилось издание в 2014 г. каталога продукции ОДО «Вариж», в который были включены данные графики. Одновременно были разработаны соответствующие лабораторные работы по курсу «Вентиляция».

**Разработка методических рекомендаций по выполнению
курсовой работы «Экологическое обоснование
проектируемого промышленного объекта»**

Бракович И.С., Золотарева И.М.

Белорусский национальный технический университет

Система экологического образования студентов, обучающихся на факультете энергетического строительства БНТУ, является трехступенчатой. На младших курсах они изучают дисциплину «Основы экологии», где получают знания по основным экологическим законам развития биосферы, выполняют ряд лабораторных работ.

На 3-м курсе студентами специальности «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» предусмотрено изучение дисциплины «Инженерная экология», где они получают более глубокие знания по экологическим проблемам своей специальности. Кроме освоения лекционного материала, на практических занятиях выполняют расчеты объемов выбросов различных загрязняющих веществ, зон их распространения, строят санитарно-защитные зоны предприятия, оценивают экономический ущерб от загрязнения окружающей среды. По результатам расчетов они выполняют и защищают курсовую работу «Экологическое обоснование проектируемого промышленного объекта». Теоретическая часть работы изложена в сборнике «Теплоснабжение и вентиляция: курсовое и дипломное проектирование» под ред. Б.М.Хрусталева (М.: Изд-во АСВ, 2007). Но в настоящее время существенно изменилась официальная терминология; кроме того работа дополнена разделом по экономическому обоснованию проектируемых работ, введен раздел по расчету исходных данных для каждого студента.

Третья ступень экологического образования базируется на получении экологических знаний в рамках каждого предмета по специальности («Вентиляция», «Отопление», «Газоснабжение», «Теплоснабжение» и др.), а также дисциплины «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение». Студенты выполняют расчетно-графическую работу «Разработка, расчет и энерго-экономическое сравнение вариантов систем очистки и утилизации газовых выбросов». Она предусматривает выполнение расчетов по газовым выбросам и является основой для экономически оптимального подбора соответствующего технологического оборудования для очистки газовых выбросов от пыли и других загрязняющих веществ.

**Методы «солнечной архитектуры»
применительно к квартальной застройке
из энергоэффективных жилых домов в условиях Республики Беларусь**

Покотилов В.В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

На основании выполненного анализа радиационного климата Беларуси предлагаем планировочное решение жилой застройки составлять из ячеек дальнего порядка, сформированными транспортными дорогами широтной ориентации и с отклонениями от неё на $+32^\circ$ и на -24° (рис.1). Таким образом, здание солнечной архитектуры можно “поворачивать” в диапазоне 58° (в пределах азимутов: 32° на ЮЗ и 24° на ЮВ относительно нулевого меридиана) без снижения его энергоэффективности, что значительно расширяет градостроительные возможности. Ячейка сформирована в виде треугольника, боковые грани которого находятся под углом 32° и 24° относительно его основания широтной ориентации, вдоль линии которого предусматривается застройка одно-двухэтажными сблокированными домами. На боковых сторонах ячейки располагаются многоэтажные дома с увеличением этажности к вершине ячейки.

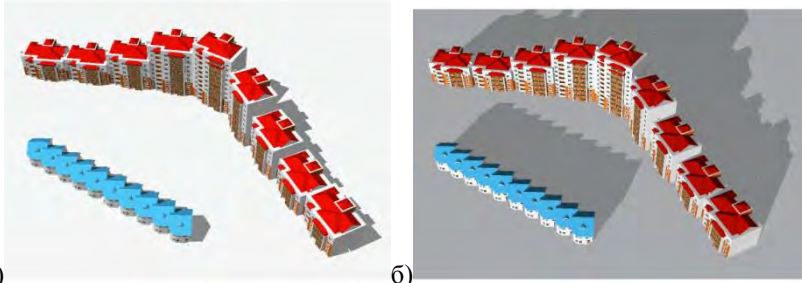


Рис.1. Энергоэффективная градостроительная ячейка с домами солнечной архитектуры; а) тенеобразование в квартале в полдень 22 июня; б) тенеобразование в квартале в полдень 21 декабря.

Для таких ячеек значительно улучшаются, в сравнении с иными вариантами застройки, условия микроклимата дворовых пространств и эксплуатационные условия транспортных магистралей. Дворовые пространства минимальным образом затеняются окружающими зданиями, при этом хорошо вентилируются и в то же время защищены от ветров Ю-В направления (преобладающего в зимний период года) и от ветров С-З направления (преобладающего в летний период года). Основное тенеобразование от зданий приходится на полотно дорог,

формирующих градостроительную ячейку, что увеличивает срок службы до-
рожного покрытия.

УДК 662/997:697.1

**Методика теплогидравлического расчета гелиосистем
горячего водоснабжения энергоэффективных жилых домов
в условиях Республики Беларусь**

Покотилов В.В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Рекомендуется следующая последовательность вычисления основных параметров гелиосистемы:

1. На основании принятого типа гелиоколлектора и его тепловых характеристик вычисляется для каждого месяца и за год теплопроизводительность 1 м^2 гелиоколлектора.

2. На основании требуемой суточной нормы воды на нужды горячего водоснабжения вычисляется общая годовая потребность в тепловой энергии. Существующая норма воды горячего водоснабжения составляет 105 л/человека в сутки. Однако средний расход воды в г. Минске на человека не превышает 150 литров, из которых расход горячей воды составляет не более 70 литров, что и следует принять в качестве исходного значения для вычисления общей годовой потребности в тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения.

3. Требуемая площадь поверхности гелиоколлекторов определяется делением требуемой тепловой энергии за расчётный месяц на теплопроизводительность 1 м^2 гелиоколлектора. В качестве расчётного можно выбрать месяц с наиболее высокой теплопроизводительностью. Если рассматривается гелиосистема только для нужд горячего водоснабжения, то в качестве расчётного можно принять июль месяц. При наличии дополнительно иных потребителей в качестве расчётного можно выбрать месяц с низкой теплопроизводительностью в летний период (например, март или сентябрь).

4. Определяется теплопроизводительность гелиосистемы по месяцам года и в целом за год, а также доля компенсации требуемой теплоты за счёт гелиосистемы.

5. Выполняется конструирование проектируемой гелиосистемы, включающее в себя конструирование системы гелиоколлекторов на кровле, эстакаде, конструирование теплового пункта с размещением в нём баков-аккумуляторов, теплообменников, насосов и другого оборудования, составление схем первичного, вторичного и промежуточного контуров гелиосистемы.

6. Выполняются теплотехнические и гидравлические расчёты контуров гелиосистемы. При этом для конструирования и расчётов гелиосистемы

многоквартирного жилого дома могут быть приняты ориентировочные исходные данные, предоставляемые производителями гелиосистем.

УДК 697.1

Отопление энергоэффективных многоквартирных жилых домов

Шурыгин К.М.

Белорусский национальный технический университет

Повышение энергетической безопасности Республики Беларусь является одним из приоритетных направлений государственной политики, что актуализирует переход к массовому и недорогому строительству энергоэффективных жилых зданий.

Энергоэффективными зданиями считаются такие здания, которые потребляют в год $40 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$. Для того, чтобы добиться такого уровня потребления, необходимо свести к минимуму теплопотери здания. В современных зданиях наибольшие теплопотери приходится на вентиляцию – порядка 53 % от общего показателя по зданию.

Экономия на вентиляции осуществляется при помощи замены естественной вентиляции на принудительную с установкой по рекуперации удаляемого воздуха, которая вкупе с современной автоматической системой отопления, мерами теплозащиты и грамотного солнечного проектирования, уже позволяют достичь показателя теплопотребления в $30,8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год при наших климатических условиях.

С помощью установки решаются такие проблемы как выпадение конденсата на наружных ограждающих конструкциях при установке герметичных окон, использование тепла выделяющегося при жизнедеятельности людей и бытовых приборов, обеспечение нормативного воздухообмена. Существуют схемы централизованного, децентрализованного и централизованная с децентрализованным управлением. Воздуховоды трассируются преимущественно вне жилых помещений, вписываясь в интерьер, зашиваясь под потолок. Уровень шума не должен превышать нормативных, и регламентируется ГОСТ 12.1.036-82 и ТКП 45-2.04-154.

Рассмотрены и проанализированы: различные схемы расположения и управления рекуператора, влияние различной температурной эффективности рекуператора, ожидаемое энергосбережение в сравнении при не полной вентиляции и рекуперацией, преимущества и недостатки для жильцов как потребителей энергии. Сделаны выводы по этим данным.

Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. Покотилова В.В.

**Анализ гелиосистем теплоснабжения жилых домов
применительно к климату Республики Беларусь**

Сурга Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Представлен анализ радиационного климата Республики Беларусь. Количество солнечной энергии в разных регионах Беларуси показано на карте инсоляции.

Условно гелиосистемы подразделяют на гелиосистемы небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в конструкции этих гелиосистем. Рассмотрены и проанализированы различные конструктивные схемы гелиосистем теплоснабжения жилых домов.

Небольшие гелиосистемы применяют с естественной и насосной циркуляцией теплоносителя в контуре гелиоколлектора. Однако, для климата Республики Беларусь схема с естественной циркуляцией теплоносителя неприемлема из-за отрицательных температур воздуха в холодный период. Двухконтурная схема небольшой гелиосистемы обладает всеми преимуществами систем с естественной циркуляцией и может быть использована к климатическим условиям Беларуси. В этой системе контур гелиоколлектора состоит из двух контуров: до гидравлического разделителя – с естественной циркуляцией, после гидравлического разделителя – с насосной циркуляцией.

Средние гелиосистемы с гелиоколлектором общей площадью до 40 м² оборудуются аккумуляторами емкостью более 500 литров. В этом случае применяют в качестве аккумуляторов буферные баки емкостью до 3 м³.

Гелиосистемы с гелиоколлектором общей площадью более 100 м² относятся к крупным гелиосистемам. Такие системы принципиально отличаются конструкцией тепловых аккумуляторов, системами автоматического управления и технологией проектирования.

Анализ конструктивных схем показывает, что некоторые из них не могут применяться из-за проблем по санации контура горячего водоснабжения от легионеллеза (системы с бойлерами емкостью более 500 литров). В таких системах создаются условия для образования в воздухе мелкодисперсного бактериального аэрозоля, что приводит к заражению организма человека через дыхательные пути. Также затруднительным является внедрение в Республике Беларусь крупных гелиосистем теплоснабжения жилых домов из-за отсутствия специализированных сервисных служб и персонала соответствующей квалификации.

**Тепловые пункты и особенности автоматизации
жилых и общественных зданий
в зависимости от возмущающих воздействий**

Климович А.Г., Боричевская Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе мы затронули тему автоматизации тепловых пунктов.

Проблема была очевидна. В период резких изменений температуры наружного воздуха, т.е. осенний и весенний периоды, ежегодно происходят “перетопы” жилых зданий. Истоки этой проблемы – следствие энергоэффективных мероприятий по зданию и автоматизация тепловых пунктов. В результате из-за сильных перепадов температуры и высокой тепловой инерции ограждающих конструкций возникают длительные по времени запаздывания температурных колебаний. Регулирование температуры в подающем трубопроводе теплового пункта производится по наружной температуре. Когда в помещении тепло, а на улице резко похолодало, датчик в тепловом пункте дает сигнал на регулирующий орган повысить температуру теплоносителя. По причине высокой тепловой инерции температура в помещении будет изменяться очень медленно, поэтому температура теплоносителя будет значительно выше, чем требуется. Отсюда вытекает, что такой вид автоматизации нецелесообразен и экономически невыгоден. Был предложен очень простой выход: использовать комбинированное взаимодействие датчика на регулирующий орган, т.е. учитывать температуру наружного и внутреннего воздуха, а также инерцию ограждения. Примером такого устройства является датчик фирмы De Dietrich. Данное устройство учитывает вышеперечисленные параметры, что и приводит к более качественному регулированию. Принцип действия следующий.

В системе автоматизации участвуют несколько датчиков, один из которых считывает температуру наружного воздуха, а остальные – температуру внутреннего. Датчиков внутреннего воздуха может быть несколько, они устанавливаются в помещениях с наибольшими удельными теплопотерями. Тем самым происходит корректировка температуры наружного воздуха по температуре внутреннего. Степень корректировки может варьироваться по определенным соображениям проектировщика. Зачастую используются 60 процентов сигнала поступающего с датчика, находящегося снаружи здания, и 40 процентов с датчика внутри помещения. В самом же устройстве находится функция использования данных об инерции ограждения. Проектировщик делает расчеты и заносит в базу данных величину тепловой инерции, и уже само устройство создает запаздывание воздействия на регулирующий орган.

Термодинамический анализ использования энергии в зданиях и сооружениях

Протасевич А.М.

Белорусский национальный технический университет

С началом строительства зданий с низким потреблением энергии и оценки объектов по показателям энергоэффективности, возникла необходимость выполнения анализа процессов обеспечения микроклимата здания, как единой технической (термодинамической) системы. Выполнение анализа осуществляется по параметрам энергосбережения. Смысл этого термина означает сбережение работоспособности потоков энергии, т.е. сбережение эксергии.

Термодинамический анализ позволяет решить несколько задач.

1. Оценить потоки энергии подводимой к зданию для обеспечения микроклимата помещений в виде суммы потоков эксергии и анергии при различных температурах наружного воздуха. Результаты расчётов показали, что с уменьшением температуры окружающей среды увеличивается поток эксергии, необходимый для создания микроклимата в помещениях здания. Но всё же около 70 % подводимой энергии составляет анергия. Следовательно, в процессе создания микроклимата помещений необходим подвод "смеси" эксергии и анергии.

2. Выполнить оценку энергопотребления в здании на основании полного энергетического баланса в виде:

$$\sum E_э^{ex} + \sum E_м^{ex} + \sum Q_x^{ex} + \sum Q^{ex} = \sum E_э^{6yx} + \sum E_м^{6yx} + \sum Q_x^{6yx} + \sum Q^{6yx},$$

где $\sum E_э^{ex}$, $\sum E_э^{6yx}$, $\sum E_м^{ex}$, $\sum E_м^{6yx}$ – суммарные величины соответственно электрической и механической эксергии на входе и выходе рассматриваемого здания или сооружения, кДж;

$\sum Q_x^{ex}$, $\sum Q_x^{6yx}$, $\sum Q^{ex}$, $\sum Q^{6yx}$ – суммарные величины химической энергии и теплоты на входе и выходе рассматриваемого здания или сооружения, кДж.

3. Детализировать уровни энергоиспользования в зданиях на основании построения потоков эксергии и анергии в диаграмме П.Грассмана.

Перечисленные методики анализа энергопотребления здания позволяют дать полную оценку распределения энергии между подсистемами его инженерного оборудования в процессе обеспечения микроклимата помещений.

Энергоэффективность зданий и сооружений

Протасевич А.М., Желтов Н.С., Федосенко Р.М., Чекризов А.В.
Белорусский национальный технический университет

Повышение энергоэффективности эксплуатируемых зданий, строительство новых зданий и сооружений является одним из основных технических приоритетов в мировом сообществе. Успехи в экономии энергетических ресурсов, в строительстве энергоэффективных зданий в странах различны. В Республике Беларусь эксплуатируется более 25 млн. м² жилья с удельным теплопотреблением более 130 кВт·ч/м² в год. На данный момент в стране построено с использованием энергоэффективных технологий немногим более 10 жилых зданий. В последние годы определённый рост строительства энергоэффективных зданий наблюдается и в России. Цель их строительства: уменьшение энергопотребления до величины менее 100 кВт·ч/м² в год. В Германии, промышленно развитой стране с высокой плотностью населения, удельное потребление энергии за последние годы снизилось в несколько раз. Особое внимание в Германии обращено на использование возобновляемых источников энергии – ветроэнергетики, солнечной энергии, биоэнергии. В скандинавских странах уже существуют поселки из энергоэффективных домов. Осуществляется строительство «пассивных» зданий, потребляющих на отопление не больше 15 кВт·ч/м² энергии в год. В энергоэффективных зданиях основное внимание обращается на теплоизоляцию ограждающих конструкций. Наиболее высокие нормативные требования по теплоизоляции ограждающих конструкций приняты в скандинавских странах, имеющих длительный исторический опыт строительства зданий в суровых климатических условиях. Россия и Беларусь законодательно ввели повышенные требования по теплоизоляции зданий позже стран ЕС с ориентацией на нормы и учёт опыта Германии. Снижение теплопотерь достигается также путём перехода на оконные блоки из ПВХ или клееной древесины и использованием стеклопакетов с низкоэмиссионным стеклом и заполнением межстекольных прослоек «тяжелыми» газами. Энергоэффективность систем отопления состоит в способности подачи необходимой тепловой мощности в нужное время в помещения здания. Вводится требование по применению регулирующей арматуры с ограничением нижнего предела температуры и обеспечением непрерывной циркуляции теплоносителя. Повышение энергоэффективности вентсистем можно достичь снижением скорости воздуха в воздуховодах. В ближайшие годы следует ожидать новых результатов в строительстве энергоэффективных зданий, в том числе и в Республике Беларусь.

**Применение тепловых насосов и фанкойлов
в системах обеспечения микроклимата помещений**

Сомова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Современные энергосберегающие системы климат контроля не могут существовать без применения тепловых насосов (ТН). При использовании теплового насоса для кондиционирования воздуха энергия в устройстве переносится в обратную сторону, нежели при традиционном использовании теплового насоса в качестве источника тепловой энергии. В системах кондиционирования широко используются тепловые насосы типа «воздух-воздух». Существует два основных вида кондиционирования помещения тепловым насосом различные по принципу действия, потреблению энергии и эффективности хладоснабжения: пассивное кондиционирование; активное кондиционирование. Для обеспечения активного кондиционирования в контур теплового насоса встраивают четырех-ходовой клапан и дополнительный дроссельный клапан. В данном случае циркуляция рабочей жидкости происходит в обратном направлении. Конденсатор становится испарителем и наоборот. При работе теплового насоса в режиме активного кондиционирования коэффициент использования энергии EER, применяемый для расчетов кондиционирования будет немного ниже, чем при режиме работы теплонасосной системы в отопительном режиме. Для обеспечения максимального коэффициента теплонасосной системы с возможностью работы на кондиционирование необходимо предусмотреть систему распределения холода. Наиболее оптимальным вариантом является использование фанкойлов. Система чиллеров-фанкойлов имеет значительные преимущества при кондиционировании объектов с большим количеством помещений. Обычно рассмотрение ТН сплит-системы кондиционирования воздуха ограничивается насосами типа «воздух-воздух», которые используют в качестве источника теплоты наружный воздух. Применение ТН в этом случае заключается в использовании всех доступных для системы кондиционирования источников тепловой энергии, а именно тепла вытяжного воздуха, низкопотенциального тепла атмосферного воздуха, а также тепла конденсации водяного пара для увлажнения воздуха в отапливаемых помещениях. Этим достигается максимальная рекуперация влажности вытяжного воздуха, что особенно актуально при низких температурах атмосферного воздуха, а также обеспечивает расширение диапазона рабочих температур внешнего воздуха для тепловых насосов «воздух-воздух». Применение подмеса в поток атмосферного воздуха внутреннего позволяет повысить КПД теплового насоса, что также повышает эффективность способа.

**Метод определения коэффициента термовлагопроводности
для прогнозирования влажностного режима
ограждающих конструкций**

Крутилин А.Б.¹, Лешкевич В.В.²

¹РУП "Институт БелНИИС",

²Белорусский национальный технический университет

Сокращение сроков строительства зданий приводит к возведению наружных стен с материалами, имеющими технологическую и строительную влажность. Во многих случаях данные влажности значительно превышают расчётные массовые отношения влаги этих материалов, принимаемые при теплотехнических расчётах. Подобные проблемы выявлены и при эксплуатации наружных стен из ячеистобетонных блоков автоклавного твердения низкой плотности ($\rho = 400$ и 500 кг/м^3). Сегодня в Республике Беларусь в первые годы эксплуатации в зданиях наблюдаются дефекты, вызванные истощением ресурса морозостойкости вследствие повышенной влажности ячеистого бетона.

При эксплуатации наружных стен с повышенной влажностью ячеистого бетона при наличии градиента температуры возможно также движение влаги по сечению стены за счёт механизма термовлагопроводности. Исследования по изучению этого механизма велись преимущественно в области сушки материалов вследствие наличия при протекании данных процессов значительных градиентов температур. Данные по их величинам, а также исследования их зависимостей для ячеистых бетонов низких плотностей ограничены, а для отрицательных температур образцов не найдены.

Авторами проведены эксперименты по определению коэффициентов термовлагопроводности на состыкованных образцах (разрезная колонка) с разными массовыми влажностями. Для создания «тёплой» и «холодной» поверхностей использована установка для измерения теплопроводности "NETZSCH HFM 436 Lambda". Перед стыковкой образцы ячеистого бетона с различными влажностями упаковывали в полиэтиленовую плёнку и выдерживали не менее двух недель в условиях, близких к изотермическим. После выдержки составляли колонки, которые со всех сторон влагоизолировали и устанавливали в обойму из экструзионного полистирола. Общее время эксперимента составляло не менее трёх суток. Количество влаги за счёт термовлагопроводности определяли, выделяя из общего потока влаги потоки за счёт влагопроводности и паропроницаемости.

Получены экспериментальные значения коэффициентов термовлагопроводности ячеистого бетона от влажности при средней температуре образцов $t \approx -5 \text{ }^\circ\text{C}$ и различных значения влажности материала.

**К вопросу об энергоэффективности систем отопления
с поквартирной и поэтажной разводкой**

Черванёва Е.А., Якимович Д.Д., Лешкевич В.В.
Белорусский национальный технический университет

Представлены результаты теплотехнических и тепловизионных исследований жилых и административных зданий с поквартирной и поэтажной разводкой систем отопления (СО). Трубопроводы СО прокладываются в конструкции пола, как правило, вдоль наружных стен по периметру помещений. Квартиры имеют отдельный тепловой ввод и теплосчётчик.

Представлены термограммы внутренних и наружных поверхностей стен жилого панельного здания. Видно, что обогрев рассматриваемой комнаты осуществляется трубопроводами СО вышерасположенного помещения. Трубопроводы проложены вдоль стыков панелей – «слабых» с точки зрения теплозащиты. Прогрев стен настолько велик, что вызывает значительное повышение температуры внутреннего слоя панели и значительный температурный всплеск на наружной поверхности. В зданиях массовых серий каналы в перекрытиях иногда отсутствуют, а часть стен наружных изготовлена из податливого материала (ячеистых блоков), и трубопроводы прокладывают внутри них. В результате происходит интенсивное остывание теплоносителя.

Другим примером является административное здание с наружными стенами в виде фасадной системы остекления и навесной фасадной системой с керамогранитом. Трубопроводы СО проложены в перекрытиях вблизи наружных стен. Представлены термограммы внутренних и наружных поверхностей. Низ внутренних и наружных стен прогревается трубопроводами СО. Измерение теплового потока через наружную стену оказалось невозможным по причине его направленности не наружу, а внутрь помещения. Температура поверхностей стекла в уровнях глухих стен оказалась заметно выше, чем у оконных заполнений.

Выводы: 1. системы отопления с поквартирной разводкой в существующем виде увеличивают теплопотери; 2. использование данных СО ставит пользователей в зависимость от поведения соседей и существенно усложняется решение вопросов по предотвращению образования плесени в помещениях, т.к. в целях экономии сводится к минимуму или полностью блокируется работа вентиляции. Решение первого вопроса лежит в теплоизоляции трубопроводов СО. Решение проблемы теплопотерь в смежные квартиры применительно к панельному домостроению практически невозможно при существующем парке форм. Решение вопроса работоспособности системы вентиляции квартир также оказывается затруднительным.

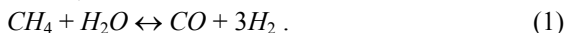
**Система теплоснабжения дальнего транспортирования теплоты
в химически связанном виде**

Копко В.М., Тарасевич Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

В ряде случаев возникает необходимость создания системы сверхдальнего (до 100 км и более) транспортирования теплоты от источников, удаленных от районов теплоснабжения.

В качестве одной из таких систем может быть каталитическая система транспортирования теплоты в химически связанном состоянии, базирующаяся на реакции паровой конверсии метана. Газ метан CH_4 и водяной пар H_2O в присутствии катализатора вступает в химическую реакцию при температуре около $800\text{ }^\circ\text{C}$ с поглощением теплоты:



Этот процесс паровой конверсии требует значительного количества теплоты ($12,8\text{ МДж/кг } CH_4$), источником которой может быть атомный реактор.

Полученная в результате паровой конверсии смесь газов $CO + 3H_2$ после регенеративных теплообменников охлаждается до $40\text{--}50\text{ }^\circ\text{C}$ с полезной отдачей теплоты и транспортируется по газопроводу в район теплоснабжения.

У потребителя газовая смесь поступает в метанатор, где в присутствии катализатора снова превращается в смесь метана CH_4 и водяного пара H_2O с выделением значительного количества теплоты при температуре около $600\text{ }^\circ\text{C}$.

Эта теплота используется в парогенераторе, где вырабатывается водяной пар энергетических параметров, поступающий в теплофикационную турбину. Охлажденная смесь $CH_4 + H_2O$ после теплофикационного цикла разделяется и осушенный метан по обратному газопроводу возвращается к источнику теплоты.

В процессе цикла метан на расходуется, а только циркулирует в замкнутом контуре: конверсионный реактор – газопровод $CO + 3H_2$ – метанатор – газопровод CH_4 – конверсионный реактор.

Достоинства данной системы:

- в возможности передачи теплоты в химически связанном виде на большие расстояния без потерь в окружающую среду;
- в снижении стоимости дальних трубопроводов вследствие отсутствия теплоизоляции, компенсаторов и пр.;
- в возможности полезного использования отводимой от ядерного реактора теплоты.

Обзор методик теплового расчета конструкции ледового поля

Ливанский Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день действуют следующие нормативные документы, регламентирующие порядок проектирования сооружений с ледовым полем: в Республике Беларусь – это П2-2000 к СНиП 2.08.02-89 «Проектирование спортивных и физкультурно-оздоровительных зданий, сооружений и помещений», в Российской Федерации – СП 31-112-2007 «Физкультурно-спортивные залы. Часть 3. Крытые ледовые арены».

Вопросы использования электроэнергии, эксплуатационные расходы и микроклимат помещений ледовых катков рассмотрены в «Правилах ИИХФ по строительству и эксплуатации катков».

Тепловой расчет конструкции ледового поля производится по двум методикам: первая – «Рекомендации по проектированию инженерного оборудования искусственных катков», разработанная Ленинградским зональным научно-исследовательским и проектным институтом типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий (ЛЕНЗНИИЭП) ГОСГРАЖДАНСТРОЯ, вторая – справочник ASHRAE «Холодоснабжение» (ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers т.е. Американское общество инженеров по нагреванию, охлаждению и кондиционированию воздуха).

В рекомендациях ЛЕНЗНИИЭП рассмотрены следующие вопросы: определение требуемой холодильной мощности, определение температуры на поверхности льда, определение глубины промерзания грунта, рекомендуемые конструкции основания ледового поля, рекомендуемые схемы укладки труб.

В справочнике ASHRAE рассмотрены следующие вопросы: определение требуемой холодильной мощности, рекомендуемые конструкции основания ледового поля, рекомендуемые схемы укладки труб.

На сегодняшний день доступна одна методика расчета температуры на поверхности льда – ЛЕНЗНИИЭП. Сложность формул данной методики легко может привести к ошибкам при расчете.

Расчет теплопритоков к ледовому полю по рекомендациям ЛЕНЗНИИЭП и ASHRAE отличается более чем в два раза, что демонстрирует неполноту исследований данного вопроса.

Определение объема буферного газа в подземном хранилище газа

Янчук Л.Ф., Могилат Г.А.,

Государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров в области газоснабжения «Газ-Институт»,
Белорусский национальный технический университет

Газотранспортная система Республики Беларусь, эксплуатируемая ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» включает в себя более 7,9 тыс. км газопроводов, 13 компрессорных станций, 227 газораспределительных станций, 3 подземных хранилища газа (ПХГ): Осиповичское ПХГ, Прибутское ПХГ – в водоносных пластах, Мозырьское ПХГ – в соленосных отложениях.

Общий объем газа в ПХГ делится на две части: активный (рабочий) и буферный (остаточный) газ. Активный газ – объем газа, ежегодно закачиваемый и отбираемый из подземного хранилища.

Буферный газ – объем газа, постоянно находящийся в ПХГ во время его эксплуатации. Он необходим для создания в хранилище определенного давления в конце отбора. Объем буферного газа в ПХГ составляет от 60 до 140 % активного газа.

Точные вычисления объема буферного газа необходимы для нормальной работы ПХГ, особенно при эксплуатации газохранилищ в водоносных пластах.

Ранее считалось, что продвижение воды в процессе циклической эксплуатации ПХГ мало, и для определения объема буферного газа используются зависимости как для условий газового режима. Ученые Института нефти и газа (Газпром) [1] доказали, что эта двухзонная система не учитывает особенность ПХГ в водоносных пластах, которая связана с образованием в них «зоны активной водонасыщенности», которая влияет на процессы обводнения в период отбора газа и вытеснения воды из хранилища в период закачки газа.

Необходимо принимать трехзонную схему хранилища вместо двухзонной. При трехзонной расчетной схеме к буферному относится газ, находящийся на конец отбора, как в необводненной, так и в обводненной зонах (включая растворенный в пластовой воде).

Учет особенностей ПХГ при трехзонной схеме хранилища в водоносных пластах позволяет более точно рассчитывать объем буферного газа при проектировании.

Литература:

1. Брагинский, О.Б. Нефтегазовый комплекс мира / О.Б. Брагинский // М.: РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, 2006.

Энергоэффективные технологии

УДК 538.4

Магнитная сепарация микрокапель магнитожидкостной эмульсии под воздействием локально неоднородного магнитного поля

Баштовой В.Г.¹, Моцар А.А.¹, Кужир П.П.², Рекс А.Г.¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²Университет Ниццы-София Антиполис, г. Ницца, Франция

Представлены результаты исследований магнитной сепарации микрокапель магнитожидкостной эмульсии под воздействием локально неоднородного магнитного поля. Данная задача имеет интерес с точки зрения использования магнитожидкостных эмульсий для очистки водных сред от загрязнений.

В исследованиях локальная неоднородность магнитного поля создавалась помещенным во внешнее однородное магнитное поле катушек Гельмгольца намагничивающимся цилиндрическим стержнем длиной 21 мм и диаметром 1,2мм.

Магнитожидкостные эмульсии представляли собой смесь микрокапель магнитной жидкости на основе трансформаторного масла ММТ-23 (2%) в воде с добавкой поверхностно-активного вещества – додециламина (2%). Размеры микрокапель образцов эмульсии находились в диапазоне 1-10 мкм. Наблюдение за процессами переконцентрации капель с течением времени производилось с помощью фоторегистрации с последующей обработкой на компьютере.

Исследования проведены в горизонтальном магнитном поле для двух направлений по отношению к положению горизонтально расположенного стержня – продольном и поперечном. Величина поля варьировалась в диапазоне от 0 до 11 кА/м.

Намагничивающийся стержень приводит к искажению однородного магнитного поля и образованию его локальных неоднородностей. Под действием локально неоднородного магнитного поля начинает происходить перемещение капель магнитной жидкости в области с максимальным значением напряженности магнитного поля.

В результате с течением времени вокруг торцевых областей стержня создаются области с плотной упаковкой микрокапель и в окрестности стержня – области, очищенные от капель.

Установлены зависимости от времени воздействия внешнего магнитного поля геометрических характеристик областей с плотной упаковкой микрокапель и очищенных областей эмульсий для различных направлений магнитного поля.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Спекание порошков

Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Процесс спекания приводит к тому, что засыпка из порошка как тело, обладающее избыточной свободной энергией, переходит в более стабильное тело большей плотности. Заготовки из порошков спекаются при температур $0,5-0,95$ Тпл. Разность свободных энергий первоначального и конечного состояний является причиной, вызывающей этот самопроизвольно протекающий процесс. Процесс спекания можно рассматривать состоящим из двух последовательно осуществляющихся этапов: образования и роста межчастичных контактов, что происходит на начальной стадии, и повышения плотности спекаемого тела из-за уменьшения числа и объёма пор, происходящее на конечной стадии.

В проводимых расчётах кинетики взаимного припекания тел правильной формы предполагается, что форма этих тел (сфера) остаётся неизменной, при этом истинная форма поверхности контактного перешейка заменяется некоторой сглаженной, кривизна которой заведомо больше кривизны истинной поверхности. Термодинамическая целесообразность переноса вещества в область контактного перешейка обусловлена тем, что перемещение поверхности перешейка сопровождается уменьшением общей поверхности, а значит, уменьшением поверхностной энергии системы.

Рассмотрим случай, когда припекание сопровождается сближением центров. Полагаем, что на протяжении процесса припекания частицы вещества сохраняют форму сферы. Для двух соприкасающихся одинаковых сфер справедливы следующие соотношения

$$a = 0,876 \left(\frac{FR}{E} \right)^{1/3}, \quad h = 1,536 \left(\frac{F^2}{RE^2} \right)^{1/3}, \quad q_0 = 0,622 \left(\frac{FE^2}{R^2} \right)^{1/3},$$

где a – радиус поверхности контакта, h – сближение сфер, q_0 – давление в центре поверхности контакта, R – радиус сфер, F – сжимающая сила, E – модуль упругости.

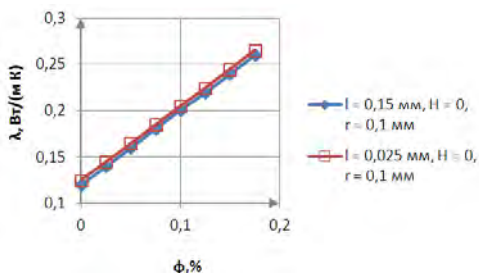
Площадь свободной поверхности спекающихся частиц будет уменьшаться и в результате вместо двух сфер получим два одинаковых шаровых сегмента с высотой, равной h . С ростом площади контакта происходит сближение центров контактирующих сфер. Приведенные выражения позволят проводить численную оценку интересующих нас величин.

Исследование изменения коэффициента теплопроводности в магнитной жидкости с добавками углеродных наночастиц

Лабкович О.Н., Погирницкая С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что углеродные наночастицы, в частности, однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) имеют коэффициент теплопроводности на порядок превосходящий теплопроводность меди – $\lambda_{\text{ОУНТ}} \approx 6600$ Вт/(мК) при комнатной температуре. При изгибе они проявляют эластичность, упругую деформацию. Экспериментально установлено, что ОУНТ в магнитных жидкостях при включении внешнего магнитного поля образуют различного рода структуры (цепочки, конгломераты), ориентированные в направлении поля. Это свойство представляет интерес для интенсификации теплообмена путем введения ОУНТ в магнитную жидкость и возможности управления теплообменом внешним магнитным полем. Теплопроводность магнитной жидкости с добавками ОУНТ в данной работе измерялась стационарным методом. В эксперименте использовалась магнитная жидкость на основе трансформаторного масла и магнетита с намагниченностью насыщения 50 кА/м. В магнитную жидкость добавлялись ОУНТ весовой концентрацией от 0,005 % до 0,2 %, длиной l – 0,025 ÷ 0,15 мм. На рисунке показана зависимость теплопроводности магнитной жидкости от весовой концентрации ОУНТ в отсутствие магнитного поля – H .



Видно, что теплопроводность линейно увеличивается с ростом концентрации ОУНТ и достигает максимального значения при концентрации ОУНТ в эксперименте – 0,15%. Дальнейшее увеличение концентрации ОУНТ приводило к загустеванию магнитной жидкости. Причем длина ОУНТ не оказывала существенного влияния на теплоперенос в слое магнитной жидкости при величине радиального зазора 0,1 мм. Таким образом, экспериментально показана возможность интенсификации теплообмена в слое магнитной жидкости с ОУНТ под воздействием внешнего магнитного поля.

Исследование кинетики термического разложения доломитовМалько М.В.², Василевич С.В.¹, Дегтеров Д.В.², Богач В.Н.²¹Белорусский национальный технический университет²Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
«Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси»

Кинетика термического разложения природных доломитов является предметом исследования специалистов многих стран мира. Примером таких исследований являются работы. Интерес к данному процессу обусловлен тем, что при температуре порядка 1000°K и выше доломиты превращаются в активные катализаторы термического разложения смолы, образующейся в процессе газификации биомассы. В работе выполнено экспериментальное исследование термического разложения образцов природного белорусского доломита. Данные по химическому составу белорусских доломитов приведены в табл. 1. Опыты выполнены в статических условиях при температуре 973, 1073 и 1173°K. Образец природного доломита помещался в специальной кювете в лабораторную печь. После достижения некоторого определенного периода времени кювета извлекалась из печи и взвешивалась на электронных весах.

Табл.1. Состав белорусских доломитов

Соединение	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
% масс.	1,1	0,4	0,5	30,3	20,0	0,4	0,2	0,1

Измерения массы образцов доломита в различные промежутки выдержки при определенной постоянной температуре были использованы для определения степени разложения изучаемого образца доломита, альфа. Значение альфа рассчитывалось по формуле:

$$\alpha_t = \frac{(1 - m_t/m_0)}{\alpha_\infty} \quad (2)$$

Здесь α_t - степень разложения доломита в момент времени t ; m_t – масса образца в момент времени t , г; m_0 - исходная масса образца, г; α_∞ – теоретическая степень разложения образца. Значение величины α_∞ равно 0,47. Это значение рассчитано на основании данных по химическому составу белорусских доломитов.

Значения констант термического разложения доломита, определенные в настоящей работе на основании линейной зависимости $\ln(\alpha)$ от $\ln(t)$ приведены в табл. 2.

Табл. 2. Константы скорости термического разложения доломита

T, °K	973	1073	1173
$k, \text{мин}^{-1}$	$8,498 \cdot 10^{-4}$	$7,187 \cdot 10^{-3}$	$6,209 \cdot 10^{-2}$

Влияния магнитофореза и броуновской диффузии на плавание немагнитного тела в магнитной жидкости

Баштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Климович С.В.¹,
Кужир П.П.², Балабанова О.В.³

¹Белорусский национальный технический университет,

²Университет Ниццы – София Антиполис (Франция),

³ УЗ «10-я городская больница г. Минска»

Магнитная жидкость представляет собой коллоид твердого ферромагнетика, поэтому в неоднородных магнитных полях в ней происходят процессы магнитофореза и броуновской диффузии. Настоящая работа посвящена изучению влияния перераспределения магнитных частиц в неоднородном магнитном поле на условия плавания немагнитного тела в магнитной жидкости. Оценку процесса переконцентрации частиц производим с помощью безразмерного параметра $U = \mu_0 m_m H_0 / kT$, представляющим собой отношение потенциальной энергии частицы с магнитным моментом m_m в магнитном поле H_0 к ее тепловой энергии kT (μ_0 – магнитная проницаемость вакуума). В вертикально неоднородном поле магнита немагнитные тела в магнитной жидкости не достигают дна сосуда и плавают на некоторой высоте относительно дна. Положение дисков в жидкости определяется соотношением силы тяжести $\rho_t g$, силы Архимеда $\rho_{ж} g$ и объемной магнитной силы $\mu_0 M |grad H|$. Поэтому условие взвешенного состояния диска определяется как $(\rho_m - \rho_{м.ж}) = \mu_0 M |grad H|$. С течением времени в неоднородном магнитном поле происходит переконцентрация магнитных частиц – они перемещаются в сторону дна сосуда с жидкостью, где поле больше. В области расположения немагнитного тела концентрация частиц уменьшается, и это приводит к уменьшению намагниченности жидкости. Выталкивающая магнитная сила в данной области уменьшается, и немагнитное тело погружается вниз до тех пор, пока не наступит условие равновесия. Уменьшение выталкивающей магнитной силы приводит к изменению положения немагнитного диска в жидкости во времени. С течением времени диск в жидкости перемещается вниз. Наиболее сильное перемещение наблюдается в начальный момент времени. Затем темп перемещения снижается, через некоторый промежуток времени зависимость перемещения от времени выходит на насыщение, и тело практически не изменяет свое положение.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Перспективы применения фотовольтаических и ветроустановок для работы в составе удаленных зарядных станций

Червинский В.Л.

Белорусский национальный технический университет

С одной стороны, 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.

С другой, – относительно бурный рост производства и использования электромобилей в мире вызван не столько призывами «зеленых» к сохранению природы, сколько экономическими причинами, основной из которых является постоянно растущая цена на нефть и газ и, соответственно, на моторное топливо. Рост парка гибридных автомобилей и электромобилей вызван тем, что стоимость зарядки электромобиля намного ниже, чем бензинового автомобиля.

В связи с этим в республике Беларусь недавно стали появляться первые зарядные станции для электромобилей и гибридных автомобилей. В перспективе такие станции должны появиться повсеместно, как это произошло с автозаправочными станциями.

Возникает вопрос о применении альтернативных источников энергии для использования в составе зарядных станций. Это позволит: во-первых разгрузить распределительные ЛЭП и трансформаторные подстанции, которые обычно питают удаленные зарядные станции, и снизить в них потери, во-вторых, популяризировать саму идею «чистой энергии» и добиться 100 процентной экологичности электромобилей, когда происходит зарядка не от энергии, полученной при сжигании топлива.

Для оптимизации параметров зарядных станций необходимо учитывать большое число случайных параметров, таких как: случайность поступления энергии от альтернативных источников, случайность необходимости зарядки электромобилей.

В качестве дополнительной нагрузки фотовольтаических и ветроустановок должна быть рассмотрена возможность электроснабжения и отопления здания зарядной станции, а также освещения прилегающей к ней территории.

Об экономических особенностях использования солнечной энергии в условиях Республики Беларусь

Милаш Е.А.¹, Милаш А.А.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Белорусский государственный экономический университет

В условиях высокой стоимости и недостаточности ископаемых природных ресурсов становится актуальной проблема применения альтернативных источников энергии, как для обеспечения производственной сферы государства, так и его населения.

Прикладные научные исследования вполне наглядно демонстрируют потенциальную эффективность использования солнечной энергии, достигающей земли в Республике Беларусь. По данным NASA Surface Meteorology and Solar Energy суммарная располагаемая солнечная энергия за год составляет порядка 1000 кВт·ч/м². Этот показатель превышает таковой в Северной Европе и России.

В таблице 1 представлена сравнительная характеристика однотипных фотогальванических панелей от различных производителей, представленных на рынке Республики Беларусь.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика фотогальванических панелей

Характеристики	Производитель		
	EcoENRGy	ALGATEC Cross Linepoly	Solar ENRG
Максимальная мощность, Вт	250	250	250
Эффективность модуля, %	15,3	15,10	15
Стоимость, \$	300	250	250

Соответственно, удельные затраты на установку 1кВт составят от 1000 до 1200 ·\$/кВт. Сравнительно с капитальными затратами по источникам, использующим традиционные виды топлива, данное оборудование оказывается дороже, однако в издержках традиционных источников велик удельный вес топливной составляющей (до 86%). При использовании нетрадиционных источников она отсутствует. Продажа такой энергии в энергетическую сеть будет осуществляться по стоимости 4 266,54 руб./кВт·ч.

Современные конструкции эффективно воспринимают как прямое, так и рассеянное (диффузное) излучение, а увеличивая площадь конструкции можно создавать установки любой мощности.

Предпосылки и преимущества внедрения системы энергетического менеджмента на предприятии

Мороз В. С.

Белорусский национальный технический университет

Система энергетического менеджмента – совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов организации, направленных на формирование энергетической политики, целей в области энергоэффективности, а также процессов и процедур для достижения этих целей.

Рассмотрим предпосылки для внедрения системы энергоменеджмента в Беларуси.

1) Общество. Белорусское общество на данном этапе развития ориентировано на высокий уровень жизни, который подразумевает комфортную и экологически чистую среду обитания.

2) Политика. Энергосбережение является приоритетом государственной политики в решении энергетической проблемы в Республике Беларусь.

3) Экономика. Постепенно происходит увеличение тарифов на услуги естественных монополий. Также наблюдается тенденция к удорожанию энергии в долгосрочной перспективе.

4) Технологии. Для промышленности и инфраструктуры Беларуси характерен большой износ фондов.

Таким образом, в Республике Беларусь наблюдается готовность к внедрению системы энергоменеджмента. Общественная, экономическая, политическая, техническая сферы требуют принятия ключевых решений для преодоления ситуации, препятствующей дальнейшему развитию страны.

Выделим основные преимущества применения системы энергоменеджмента.

1. Возможность сертификации и международного признания результатов.

2. Своевременное проведение наиболее эффективных мероприятий по энергосбережению, которое приведет к соответствующей финансовой отдаче.

**Пассивное использование солнечной энергии зданиями
и сооружениями**

Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Тепловое воздействие солнечных лучей через световые проёмы и на ограждающие конструкции зданий в холодное время года позволяет уменьшить расходы на отопление.

Обращенное на юг окно в сочетании с тепловой массой здания и изолирующими ставнями является потенциально самой простой и в то же время наиболее удобной системой солнечного отопления.

Прямой солнечный обогрев — наиболее простой исторически сложившийся вид солнечного отопления. Он требует ориентации основных помещений на юг. Избытки тепла аккумулируются внутренним термальным массивом: кирпичными или каменными полами, внутренними стенами, каминами, емкостями с водой или другими жидкостями.

Необходимым элементом в солнечных системах этого типа является надежная система теплоизоляции и солнцезащиты помещений. Для этого используются стационарные или подвижные жалюзи, зашторивание, специальные занавеси, свесы кровель и прочие солнцезащитные системы.

Наиболее известный несколько усложненный вариант — так называемая стена Тромба представляет собой бетонную, кирпичную или каменную стену, размещаемую на южном фасаде и окрашенную в темный цвет. На небольшом расстоянии от стены выполняется стеклянная облицовка. Теплоносителем является воздух, нагреваемый в прослойке между стеной и облицовкой. Он нагревает стену, которая постепенно излучает полученное тепло в помещение. Таким образом, в этой конструкции совмещаются функции коллектора и аккумулятора.

В зависимости от количества солнечного тепла, поступающего в здание и накопленного материалами, уровня теплопотерь здания, требуемого уровня температуры в помещении, температура наружного воздуха, в здании определенное время будут сохраняться комфортные условия без дополнительных затрат тепла.

Многофункциональные системы затенения

Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Инсоляция – это совокупность светового, ультрафиолетового и теплового действия солнца. Ее влияние может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от интенсивности, продолжительности и времени действия солнца.

Отрицательное действие инсоляции проявляется в перегреве, блескости и разрушающем действии.

Для снижения отрицательного действия инсоляции необходима солнцезащита. Важнейшие функции солнцезащитных устройств: защита помещений от перегрева летом, снижение яркости световых проёмов и устранение прямой и отражённой блескости, изменение распределения световых потоков, проникающих в помещение.

При невозможности повлиять на архитектурное решение и при высокой стоимости стекол с покрытиями, системы затенения часто являются единственным доступным способом контроля инсоляции.

Наиболее простые и в то же время эффективные варианты – жалюзи и шторы. Среди привычных нам решений есть устройства, предоставляющие большие возможности для регулирования поступающего света и предоставляющие больше комфорта.

Одно из решений – перфорированные жалюзи. Благодаря тому, что в используемой ленте из которой они изготовлены, имеются маленькие отверстия, в помещении сохраняется комфортная освещенность при почти полном отсутствии прямого излучения, предотвращается перегрев и достигается эффект односторонней видимости.

Еще один удобный и не новый, но нечасто встречаемый вариант – рольшторы «зебра»: полосатое полотно ткани, сложенное в два слоя. При поднимании и опускании таких рольштор прозрачная и непрозрачная полосы одного слоя ткани накладываются на полосы другого. Прозрачные полосы совпадают друг с другом – шторы свободно пропускают солнечный свет, накладываются прозрачная и непрозрачная полосы – почти не пропускают.

**Энергоэффективная система охлаждения продукции
на филиале ОАО «Гроднохлебпром» «Волковыский хлебозавод»**

Ивашенко Е.Ю., Бубен Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования данной работы является производственное предприятие – филиал «Волковыский хлебозавод», а целью – повышение его энергетической эффективности.

Выпекающие печи хлебозаводов выбрасывают в окружающую среду отработанные газы, в состав которых входят вредные вещества – такие, как окись углерода, угарный газ, оксид азота, диоксид азота. Температура сбросного тепла может достигать 350°C. Утилизация теплоты этих газов может позволить снизить в среднем на 3 кг у.т. удельный расход топлива на выпечку тонны продукции, что составляет до 7% удельного топливопотребления печей.

В то же время, на завершающем этапе производства требуется охлаждение хлебобулочных изделий для поддержания товарного вида продукции. Тепловой потенциал ВЭР в виде теплоты уходящих газов может быть использован для производства холода, с помощью таких аппаратов, как рекуперативный теплообменник и теплоиспользующая холодильная машина (ТХМ). Рекуператор используется для утилизации теплоты сбросных газов и передаче ее воде. Тепло от этой воды можно преобразовать в холод с помощью ТХМ. Разновидностей таких установок является адсорбционная холодильная машина (АДХМ). В таких устройствах основным процессом является адсорбция, т.е. поглощение пара твердым адсорбентом. Рабочим веществом адсорбционных машин является пара «агент-адсорбент». В качестве агента могут использоваться все известные чистые рабочие. В качестве адсорбента – вещества (одно- и многокомпонентные), находящиеся в твердом состоянии, которые способны поглощать и выделять агенты.

Использование АДХМ позволяет получить холодную воду с температурой 12...16°C. Эта температура является оптимальной для охлаждения выпекаемого хлеба на конвейере.

Данный проект позволит достичь снижения энергопотребление конвейера охладителя, и, соответственно, привести к более рациональному потреблению топливно-энергетических ресурсов и улучшению материального положение предприятия.

УДК 621.43

Термодинамический анализ процесса совместной конверсии угля и лигнина в схеме с котлом КС и шнековым реактором

Пальченко Г.И., Хутская Н.Г., Космачёва Э.М., Лейчёнок Н.С.
Белорусский национальный технический университет

Химическая эксергия лигнина определена с учетом отсутствия в составе биомассы серы по формуле

$$e_{б.хим} = \left(Q_n^p + 2442 \frac{W^p}{100} \right) \frac{1,0412 + 0,2160 \frac{H}{C} - 0,2499 \frac{O}{C} \left(1 + 0,7884 \frac{H}{C} \right) + 0,0450 \frac{N}{C}}{1 - 0,3035 \frac{O}{C}}$$

Поскольку в рассматриваемой системе присутствуют многокомпонентные вещества (сингаз, дымовые газы, воздух), потоки их эксергии определялись по общей формуле

$$E = \sum G_i e_i - E_{ном}^{сМ}$$

Оценка эффективности системы с включенным в нее пиролизом лигнина, осуществлена по эксергетическому КПД

$$\eta_e = \frac{E_{пол}}{\sum E'}$$

Полезным эффектом рассматриваемой системы является выработанная установкой электрическая энергия, отпущенная потребителям эксергия с сетевой водой, при этом эксергия обратной сетевой воды принята как транзитный поток эксергии, эксергия биоугля и сингаза, отпускаемая к внешнему потребителю.

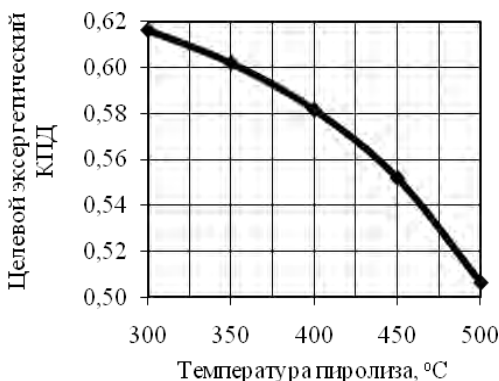


Рисунок 1 Зависимость эксергетического КПД мини-ТЭЦ от температуры в камере пиролиза

Информационные системы и технологии

Математические модели систем управления беспилотных летательных аппаратов как сложных динамических систем

Абуфанас А.С., Бенкафо А.С., Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Уравнения систем управления беспилотных летательных аппаратов (СУ БЛА) представляют собой совокупность топологических уравнений системы и компонентных уравнений подсистем. Топологические уравнения, характеризующие взаимосвязи и взаимное влияние подсистем, составляются на основе теории множеств и теории графов. Компонентные, описывающие динамику стохастических процессов происходящих в системе, построены на основе использования теории динамических систем случайно изменяющейся структуры и представляют собой дифференциальные уравнения разрывного типа.

Так как СУ БЛА является составной частью системы наведения, то для анализа и синтеза системы управления дополнительно используется совокупность стохастических дифференциальных уравнений, представленных в форме Ланжевена, и включающих: кинематические уравнения траектории полёта БЛА; динамические уравнения БЛА с учётом действующих на него случайных сил и моментов; дополнительные соотношения, описывающие влияние внешних факторов (гравитационных, геомагнитных и т.п.).

На основе данных уравнений формируется имитационная модель исследования (уравнения опорной траектории) и линеаризованная система уравнений для аналитического синтеза СУ БЛА и составления уравнений для вероятностных моментов (математических ожиданий и корреляционных моментов), используемых для корреляционного анализа процесса наведения (управления) БЛА. Совместное решение данных систем уравнений позволяет решать задачи исследования устойчивости, точности определения эффективности применения БЛА в различных условиях.

Данный подход позволяет учесть как динамические, так и топологические свойства исследуемой системы управления при случайном скачкообразном характере внутренних и внешних воздействий на отдельные подсистемы и систему в целом. Сделанные при этом допущения с инженерной точки зрения отражают характер реальных физических процессов, протекающих в системах, позволяют исследовать различные свойства системы.

Критерии оптимизации систем управления беспилотных летательных аппаратов

Абуфанас А.С.

Белорусский национальный технический университет

Задачи оптимизации систем управления беспилотных летательных аппаратов (СУ БЛА) необходимо решать в два этапа: аналитический синтез управлений для упрощённой математической модели – на первом этапе и решение задачи синтеза регулятора для полной математической модели СУ БЛА – на втором этапе.

Для математических моделей процесса наведения БЛА, представленных в виде векторно-матричных уравнений в форме Коши, критерии оптимизации, определяющие цель управления и ограничения, представляются функционалами, зависящими от траектории движения БЛА, его аэродинамических и энерго-баллистических характеристик и управляющих воздействий.

Задачи, выполняемые БЛА, в зависимости от заданной траектории полета различаются следующим образом: полёт по заданному маршруту при минимуме затрат на управление; выход БЛА в заданную точку пространства; обеспечение в случае необходимости энергичного маневра БЛА.

Критерии оптимизации для этих задач могут быть формализованы в виде задачи Больца. При этом предлагается использовать для разработанной упрощённой математической модели СУ БЛА функционал в форме Легова-Калмана, что позволяет решить практически все приведённые выше задачи оптимизации.

$$J = \frac{1}{2} x^T(t_k) R x(t_k) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_k} [x^T Q(t) x(t) + U^T(t) \Gamma(t) u(t)] dt$$

При этом терминальный член функционала определяет конечную цель полёта БЛА (ошибку наведения), интегральный член – текущие потери на управление (маневр, затраты топлива). При нулевом терминальном члене и единичном подинтегральном выражении задача оптимизации сводится к задаче максимального быстродействия (маневр БЛА).

Входящие в функционал качества коэффициенты, определяющие относительный вклад каждого оптимизируемого параметра, выбираются исходя из их максимально допустимых значений. Это обеспечивает приведение к одной размерности различных по физической природе входящих в функционал величин, а также учитывает ограничения, накладываемые на оптимизируемые параметры.

**Исследование статистической динамики системы управления
беспилотного летательного аппарата**

Бенкафо А.С.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Проведено исследование динамики полёта беспилотного летательного аппарата (БЛА) в различных условиях применения при воздействии случайных ошибок и возмущений на основе использования математической модели процесса наведения. Рассмотрено влияние различных факторов на точность наведения БЛА. Установлено, что начальные ошибки пуска, включающие ошибки условий старта, полностью компенсируются системой управления после вывода БЛА в зону устойчивой связи с пунктом управления. Флуктуации вектора тяги двигателя БЛА, приводящие к возникновению случайных сил и моментов, действующих на БЛА, компенсируются системой управления в процессе полёта.

Случайные возмущения со стороны атмосферы включают в себя случайный ветер и турбулентность. Турбулентность приводит к незначительным колебаниям БЛА относительно центра масс, что снижает точность мониторинга земной поверхности аппаратурой, установленной на борту БЛА. Действие случайного ветра может привести к отклонению реальной траектории полёта от программной до нескольких сотен метров при полёте на большую дальность. Это возможно при автономном полете БЛА и отсутствии коррекции траектории БЛА с помощью спутниковых систем навигации или по земным ориентирам.

Основное влияние на точность наведения БЛА могут оказать ошибки, связанные с передачей информации с пункта управления на борт БЛА и обусловленные человеческим фактором. Причинами этих ошибок могут являться недостаточная квалификация операторов, управляющих БЛА в режиме ручного телеуправления, запаздывание оператора при принятии решений в условиях быстро изменяющейся обстановки наведения, отказы аппаратуры управления при небрежной эксплуатации. Ошибки современных навигационных датчиков и бортовых вычислительных систем, как показывают расчёты, незначительны и не оказывают существенного влияния на динамику наведения БЛА.

Результаты исследования устойчивости наведения показали, что для существующих и перспективных аэродинамических схем и систем управления данная задача может быть успешно решена на этапе проектирования БЛА учётом всех возможных диапазонов его применения.

Разработка сайтов для объектов агротуризма

Пентегов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из направлений проекта USAID «Местное предпринимательство и экономическое развитие» является поддержка сельского туризма Республики Беларусь. Актуализация агротуризма предполагает наличие широкой информационной поддержки. Важным аспектом информационной поддержки является представление объектов агротуризма в сети Интернет.

В результате анализа белорусских и российских сайтов по сельскому туризму был выявлен ряд общих закономерностей в организации структуры и дизайне сайтов, что позволило сформировать общую концепцию разработки сайтов в области агротуризма. Сайты подобной тематики представляют собой либо сайт-визитку (3-5 Web-страниц), либо простой интерактивный информационный сайт (6-20 Web-страниц).

Базовый функционал сайтов агротуризма включают в себя следующие Web-страницы: «Главная», «Об усадьбе», «Местоположение», «Фотогалерея», «Новости», «Гостевая книга», «Контакты», «Услуги», «Заявка», «Сувенирная лавка». Страницы «Новости» и «Фотогалерея», предполагают обновление информации один-два раза в месяц, остальные страницы содержат условно-постоянную информацию. Интерактивными являются страницы «Гостевая книга», «Заявка», и «Контакты». Сайты агротуризма обычно представляют собой двухуровневую структуру, что обеспечивается с помощью главного горизонтального меню, имеющегося на всех страницах. Кроме того, для страниц с большим объёмом информации, например, таких как «Об усадьбе» или «Сувенирная лавка», возможно использование дополнительного вертикального меню, которое обеспечивает переход на третий уровень.

Расширенный функционал может содержать дополнительные страницы, отражающие характерную тематику агроусадьбы. Для успешного Web-программирования сайта необходимо разработать макет дизайна проектов AdobePhotoshop. Важной задачей является оптимизацию (SEO) и продвижение сайтов агротуризма в поисковых системах для получения устойчивого коммерческого успеха.

Предложенная концепция может быть положена в основу разработки системы управления контентом (SMC) для объектов агротуризма в Республике Беларусь.

Автоматизация экономической оценки природных ресурсов

Катунина С.В., Мармыш А.О.

Гродненский государственный аграрный университет

При строительстве объектов в Республике Беларусь и за рубежом возникают вопросы оценки земли и ее недр и учета этой оценки при определении доли вклада отдельных стран в создание объекта. Несомненно, что оценка природных ресурсов имеет тесную взаимосвязь с расчетом абсолютной ренты — части прибавочной стоимости, которую должен получать владелец земли и ее недр.

Включение в расчет абсолютной ренты — это своего рода учет народнохозяйственных затрат и потерь из-за отвлечения средств.

Расчет абсолютной ренты, оценки земли и ее недр может быть выполнен путем определения прибыли от производства сельхозпродукции или добычи полезных ископаемых и их реализации на внешнем рынке по мировым ценам. Превышение этой прибыли над средней нормой прибыли на вложенные в производство капитальные средства составит сумму абсолютной ренты:

$$\text{Абс. рента} = V_3 k_v - C_{\text{сб}} - p_n K, \quad (1)$$

где V_3 — валютная выручка от экспорта продукции; k_v — коэффициент покупательной ценности валюты; $C_{\text{сб}}$ — себестоимость производства или добычи; $p_n K$ — средняя норма прибыли.

Очевидно, что сумма абсолютной ренты соответствует величине абсолютного эффекта от производства и экспорта продукции. Суммирование годовых величин эффектов за ряд лет возможной эксплуатации земли или использования ее недр с приведением суммы эффектов к текущему моменту времени позволяет получить оценку земли и ее недр:

$$\text{Оценка} = \sum_t (V_3 k_v - C_{\text{сб}} - p_n K)_t / (1 + p_n)^t, \quad (2)$$

где t — индекс года эксплуатации.

Решение этих задач актуально как для координации деятельности предприятий внутри страны для улучшения землепользования и охраны природы, так и в сфере внешнеэкономического сотрудничества, осуществляемого на принципах равноправия и взаимовыгодности при эффективном использовании современных аналитических методов и информационных технологий.

**Разработка информационной системы для семейного врача
в рамках парадигмы «интернет вещей»**

Ситникова О.А., Почебут М.В.

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

На современном этапе развития аппаратной базы для медицинской электроники четко прослеживаются тенденции характерные для парадигмы «интернет вещей» (Internet of Things, IoT).

Разрабатываемая система для семейного врача предусматривает несколько режимов работы, один из которых предполагает наличие программно-аппаратного комплекса (ПАК) первичной диагностики, оснащенного датчиками медицинского назначения. В задачи комплекса входит: сбор широкого спектра диагностической информации, первичная обработка, передача данных по линии связи, взаимодействие с центральным хранилищем или со smart-устройством. В парадигме IoT предполагается, что системы оснащаются встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой без частичного или полного участия человека.

Прототип системы предполагает, что пациент проводит снятие того или иного параметра, ПАК производит обработку и отправку сведений в центральное хранилище данных или смартфон. Процесс взаимодействия между устройствами программируется таким образом, чтобы исключить участие человека, а только организовать соответствующее оповещение пациента и врача о текущем состоянии обследуемого. Взаимодействие по линии ПАК – хранилище – устройство также возможно организовать без участия человека, особенно для некритичных ситуаций, которые определяет сам семейный врач.

ПАК может быть оснащен также датчиками, измеряющими параметры помещения, в котором постоянно находится пациент. Наличие указанной информации при организации соответствующего взаимодействия с информационной системой семейного врача позволит узкоспециализированным пациентам поддерживать соответствующий режим. Данное взаимодействие лежит исключительно в плоскости IoT, так как ведущие мировые производители приборов и приложений медицинского назначения все больше внимания уделяют развитие подобного рода систем.

В целом система также подразумевает режим работы без применения ПАК. В работе приводится прототип архитектуры и алгоритмы работы в разных режимах.

Использование нейронных сетей в задаче об идентификации повреждений

Красновская С.В., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

Нейронная сеть представляет собой математическую модель, позволяющую выявлять взаимосвязи между входными и выходными параметрами и выполнять обобщения. Основным преимуществом нейронной сети перед традиционными алгоритмами является возможность обучения, в ходе которой находятся зависимости между параметрами.

Нейронная сеть может использоваться для решения задачи восстановления некоторой неизвестной зависимости по имеющимся экспериментальным данным.

Так нейронные сети используются для решения задачи об идентификации повреждений на примере рамы компрессорно-конденсаторного агрегата. На раме, несущем и опорном элементе конструкции, монтируются составляющие компоненты агрегата, такие как электродвигатель, компрессор, блок управления, вспомогательные приборы автоматики.

Размещение и крепление элементов влияют на распределение напряжений и деформаций в раме. Каждому заданному набору начальных условий крепления, размещения, прикладываемых усилий будут соответствовать определенные выходные данные: величина максимального напряжения, координаты узла с максимальным напряжением, величина наибольшей деформации в раме, координаты узла с наибольшей деформацией.

Варьируя входными параметрами, насчитывается множество соответствующих выходных данных. На базе полученных решений производится обучение нейронной сети.

Для решения задачи выбирается общая структура сети, после чего экспериментально подбираются параметры сети, например, как число слоев в персептроне, число блоков. Однако определить предельную величину погрешности аппроксимации не представляется возможным, особенно для входных значений, выходящих за пределы диапазона обучения нейронной сети.

На основе использования данной модели сети можно предсказать поведение конструкции в ходе эксплуатации с учетом погрешностей крепления, идентифицировать места возможных повреждений при заданных эксплуатационных нагрузках без необходимости пересчета и проверки всей модели конструкции.

Оценка эффективности распределения ресурсов

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим задачу оценки эффективности распределения ресурсов на примере системы обслуживания. Чаще всего ресурсы обслуживания ограничены, поэтому известный интерес представляет поиск эффективного управления этими ресурсами.

Пусть имеется a однородных заявок на обслуживание (неисправных элементов). Будем полагать, что сама система обслуживания располагает b каналами (линиями) обслуживания. При этом каждый из каналов способен обслужить любую заявку и в результате этого обслуживания неисправность устраняется с вероятностью p . Тогда эффективность обслуживания можно оценить математическим ожиданием числа устраненных неисправностей.

Рассмотрим две модели управления процессом обслуживания. Первая модель соответствует отсутствию управления, при этом каждый из каналов обслуживания произвольно выбирает любую из заявок и приступает к её обслуживанию. Вторая модель характеризует управление, при котором каналы обслуживания с максимально возможной степенью равномерности распределяются между всеми заявками. Для описанных моделей управления процессом обслуживания можно получить аналитические выражения, которые позволяют определить математические ожидания числа устраненных неисправностей. Результаты численного эксперимента представлены на рисунке 1, где по оси абсцисс отложено отношение $x=b/a$, а вдоль оси ординат отображаются значения Δ – выигрыш (в процентах) в эффективности обслуживания за счет управления каналами обслуживания.

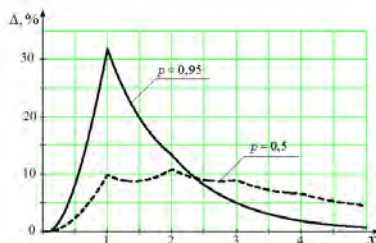


Рисунок 1. Зависимость выигрыша в эффективности обслуживания

Анализ полученных результатов показывает, что в зависимости от значения вероятности p максимальный выигрыш в эффективности обслуживания достигается при различных отношениях числа каналов обслуживания к числу выявленных заявок.

Оптимизационная модель крышки люка

Максименко Г.О., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе была построена оптимизационная модель крышки люка. Произведён статический, модальный анализы, а так же оптимизация данной конструкции.

Для проведения расчетов использовалась программа Ansys Workbench 2014. Геометрическая модель и результаты моделирования при статических нагрузках представлены на следующих рисунках.

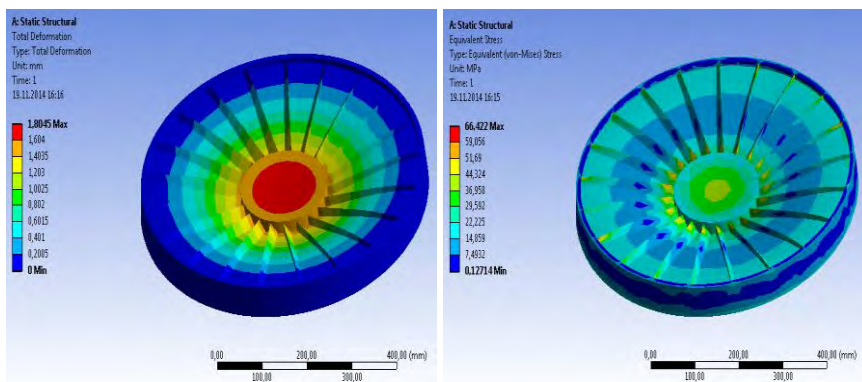


Рисунок 1. Общие перемещения (слева), напряжения по Мизесу (справа)

Основные характеристики материала: материал изделия Армамид ПА СВ 50-1-901, прочность при разрыве 165 МПа, прочность при сжатии 176 МПа (продольно), 125 МПа (поперечно), модуль упругости 13400 МПа, коэффициент Пуассона 0,4. Для ужесточения условий компьютерного моделирования, значение прочности при сжатии принято наименьшим, то есть 125 МПа.

Как показал статический анализ, опасными точками данной конструкции являются места центральной части крышки люка.

Задача оптимизации ставилась следующим образом. В качестве критерия была выбрана масса крышки. Варьируемыми параметрами являлись количество ребер, их ширина и высота. Функциональные ограничения накладывались на максимальное напряжение в материале конструкции.

После оптимизации высота и ширина ребер уменьшилась с 20 мм до 18,006 мм; масса конструкции уменьшилась на 1%. При этом предел текучести не был превышен.

Методы и технологии информационного управления и поддержки принятия решений в области рационального природопользования

Рыбак В.А.

Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов

Для долгосрочного и стабильного роста благосостояния Республики Беларусь актуальным является вопрос обеспечения рационального использования природных ресурсов. Последнее возможно только с использованием современных информационных технологий, которые позволяют автоматизировать процессы сбора, хранения, обработки и отображения предметной информации.

В рамках данной работы были разработаны и внедрены: автоматизированная информационная система (АИС) "Кадастры" и АИС "Экспертиза", методики комплексной и интегральной оценки влияния антропогенного воздействия на природную среду, новые методические подходы к оценке эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий, технология анализа и оптимизации параметров рационального природопользования инновационных проектов, алгоритмы и технологии интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений и др.

Так, например, научно-методический подход к информационному управлению качеством окружающей среды (ОС) урбанизированных территорий с использованием генетических алгоритмов заключается в поиске наиболее оптимальных природоохранных решений на основании показателей качества ОС по семи предложенным в работе компонентам (атмосферный воздух, почвенный покров, водные ресурсы, зелёные насаждения, уровень шума и вибраций, радиационное загрязнение, объёмы накопления отходов) и стоимости их приращения. При этом под оптимизацией качества ОС подразумевается достижение желаемого компромисса между объёмом средств, выделяемых на природоохранные мероприятия, и уровнем загрязнения природных компонент.

Успешность применения ГА прямо пропорциональна числу параметров и их значений, и в наших исследованиях достигала величины 19 (раз) при погрешности 1,0 % и размере начальной популяции в 500 хромосом.

Разработанный новый метод прогнозирования эколого-экономических параметров позволяет за счёт использования теории нечётких множеств учесть фактор неопределённости и использовать экспертные оценки для получения адекватных экстраполяционных моделей параметров окружающей среды.

Использование расширенного фильтра Калмана для оценки положения беспилотного летательного аппарата

Рак С.А.

Физико-технический Институт НАН Беларуси

Существенным ограничением использования спутниковых навигационных систем (СНС), для определения пространственного положения беспилотного летательного аппарата (БЛА), являются большие временные задержки между сигналами (от 1 с до 0.1 с). Для устранения данного ограничения, с целью обеспечения оптимального функционирования системы управления БЛА и обеспечения минимальной ошибки отклонения от заданной пространственно-временной траектории, представлен простой метод объединения данных СНС и внутренней инерциальной навигационной системы БЛА. Подобное решение также позволяет получить оценку смещения нулевого значения для акселерометров, а также оценку положения при короткой потере сигнала от СНС. Традиционно, в подобных методах, используется расширенный фильтр Калмана:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{x} = f(\mathbf{x}, \dots) + \mathbf{w}(t), \mathbf{z} = h(\mathbf{x}, \dots) + \mathbf{r}(t), \quad (1)$$

где \mathbf{X} — вектор состояний системы, f — модель динамики системы, \mathbf{w} — матрица возмущений, \mathbf{z} — вектор измерений, h — модель измерений системы, \mathbf{r} — матрица ошибок измерений.

Определим вектор состояний системы следующим образом:

$$\mathbf{x} = [\gamma \quad \theta \quad \psi \quad P_n \quad P_e \quad h_{MSL} \quad V_n \quad V_e \quad V_d \quad \hat{b}_{\omega_x} \quad \hat{b}_{\omega_y} \quad \hat{b}_{\omega_z} \quad \hat{b}_{a_x} \quad \hat{b}_{a_y} \quad \hat{b}_{a_z}]^T, \quad (2)$$

где γ, θ, ψ — угловое положение БЛА, P_n, P_e, h_{MSL} — оценки пространственного положения в прямоугольной системе координат, V_n, V_e, V_d — линейные скорости БЛА в прямоугольной системе координат, $\hat{b}_{\omega}, \hat{b}_a$ — оценки смещения нулевого значения гироскопа и акселерометра соответственно

Тогда вектор измерений:

$$\mathbf{z} = [\psi \quad P_n \quad P_e \quad h_{MSL} \quad V_n \quad V_e \quad V_d]^T, \quad (3)$$

В случае, когда необходимо получить оценку положения при отсутствии сигналов СНС, все элементы вектора измерений и матрицы ошибок измерений равняются нулю. Метод был реализован и показал устойчивые результаты при работе с датчиками и СНС GPS/ГЛОНАСС.

Тестирование и отладка программного обеспечения пилотажно-навигационного комплекса беспилотного летательного аппарата

Наумёнок А.Л., Пручковский С.В., Скрицкий Ю.П.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Главной проблемой при разработке пилотажно-навигационного комплекса (ПНК) системы управления беспилотным летательным аппаратом (БЛА) является отсутствие комплексной проверки работоспособности беспилотного авиационного комплекса (БАК) в составе бортовой аппаратуры ПНК, наземной аппаратуры наземного пункта управления (НПУ) как единой динамической системы.

Для решения этой проблемы необходимо обеспечить корректное тестирование и отладку программного обеспечения (ПО) всего БАК. Особенно сложно технически реализовать тестирование и отладку ПО системы автоматического управления (САУ), бесплатформенной инерционной навигационной системы (БИНС), спутниковой радионавигационной системы (СРНС). Поэтому при первоначальном тестировании, проверке функционирования и корректности работы алгоритмов разработанного ПНК удобно использовать ПО для моделирования полета БЛА в условиях упрощенной модели атмосферы, гравитационного и магнитного полей Земли. Одной из таких программ является X-Plane 10.

На первом этапе создается компьютерная 3-D модель БЛА для X-Plane, которая учитывает основные характеристики планера, силовой установки, в том числе профиль крыла, геометрические размеры, масса, центровка и другие параметры БЛА.

На втором этапе выполняется разработка программной реализации НПУ и ПНК. Наличие интегрированных в среду ПО X-Plane 10 модели БЛА и программ, эмулирующих НПУ и ПНК на одной ПЭВМ, позволяет выполнять начальную отладку и тестирование разработанного ПО без реальных полетов.

На третьем этапе (полунатурные испытания) к ПЭВМ с ПО X-Plane 10 и НПУ возможно подключить как весь физический ПНК, так и только его САУ с исполнительными устройствами (сервомашины, регулятор оборотов и т. п.).

Связь ПНК с ПЭВМ реализуется через беспроводной модем. На этом этапе производится общая проверка работоспособности ПНК, проверка и отладка ПНК в различных режимах работы, а при моделировании полета подбираются передаточные числа и коэффициенты ПИД-регуляторов САУ для конкретного изделия БЛА.

Автоматизация процессов организации и управления учебным процессом

Доминов Н.Р., Бояршинова О.А.

Белорусский национальный технический университет

Образование является неотъемлемой частью человеческого общества. Уровень образования во многом зависит от методик и технологий образовательного процесса. В связи с этим усовершенствуются методики преподавания учебного материала, автоматизируются процессы организации учебного процесса с целью улучшения качества полученных знаний и повышения уровня квалификации выпускаемых кадров.

Для этой цели удобным является использование систем управления обучением (Learning Management System), особенно если речь идет о дистанционной форме обучения, которая решает территориальные проблемы, позволяя студентам получать высшее образование в предпочтительном университете по выбранной специальности не покидая постоянного места жительства.

Система управления обучением обеспечит студентам и преподавателям возможность работы с электронными учебными материалами без временных и географических ограничений, так как программное обеспечение запускается на сервере и находится в свободном доступе через интернет. Доступ к приложению через интернет посредством браузера обеспечивает системе кроссплатформенность, что является одной из главных задач при разработке подобной системы.

Для написания программного обеспечения выбран язык Java в силу того, что он обеспечивает кроссплатформенность, надежность и безопасность написанной на нем программы. Применение платформы разработки интерфейса пользователя для веб-приложений JavaServerFaces значительно упрощает процесс создания и поддержки приложения.

Разрабатываемая системы является многомодульной, что реализует возможность удобной работы в ней широкого круга потребителей: методист, преподаватель, студент, администратор. В частности, разработан модуль, в котором можно разместить методические пособия и учебный материал. Данный модуль реализован в виде электронной-библиотеки с возможностью онлайн-просмотра.

Администрирование модуля методических пособий и учебного материала осуществляется через интуитивно понятный интерфейс. Реализация такого интерфейса позволяет производить наполнение системы учебным контентом без привлечения дополнительного специально обученного персонала.

Кроссплатформенное мобильное приложение для обработки изображений

Дорофеев Н.В., Бояршинова О.А.

Белорусский национальный технический университет

Переход к информационному обществу требует от рынка мобильных приложений программного обеспечения решения принципиально новой задачи подготовки пользователей, которые будут способны не только воспринимать, хранить и воспроизводить информацию, но и управлять потоками информационных данных, эффективно и качественно 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 технологий мобильных приложений для обработки изображений и другой графической информации. Применение современных средств электронно-вычислительной техники и информационных технологий на мобильном рынке информационных технологий позволяет эффективно использовать необходимое программное обеспечение, соблюдать определенную логику представления информации.

Для реализации кроссплатформенности разрабатываемого мобильного приложения выбрана универсальная среда HTML5 PhoneGap Build, так как она обладает следующими преимуществами: полноценным local storage, в котором можно хранить любые данные, в том числе базу данных; PhoneGap, который позволяет полноценно работать с железом мобильного телефона; не требуется адаптация под различные ОС мобильных устройств.

Данная программа предлагает пользователям в сжатые сроки возможность обработки графических изображений на портативных устройствах ведущих мобильных платформ, обеспечивая максимальное качество обработки, не прибегая к стандартной компьютерной обработке, а также возможность дальнейшей публикации отредактированных изображений в социальных сетях.

Исследования рынка мобильных приложений подтверждают необходимость внедрения универсального приложения, которое будет актуальным на всех мобильных платформах, используя как стандартный пакет шаблонов и графический редактор, так и программную новизну, которая заключается в работе с двумя окнами одновременно, что актуально с появлением новых широкоформатных устройств.

Использование графических ускорителей в трехмерном моделировании

Павловский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Программные средства создания и редактирования трехмерной графики имеют сейчас большую популярность в связи с широким распространением компьютерной графики во многих сферах производства мультимедиа. Однако, в связи с постоянным увеличением требований к качеству компьютерной графики, растет и без того немалая потребность в больших вычислительных ресурсах. Для удовлетворения этой потребности необходимо использовать все имеющиеся возможности повышения вычислительной мощности персональных компьютеров и программ трехмерной графики. Одним из вариантов увеличения вычислительной мощности таких программных продуктов является задействование в расчетах не только центральных процессоров, но и графических ускорителей (видеокарт).

Важным элементом решения данной задачи является разработка программного средства, использующего видеокарту для произведения расчетов, требующих большой вычислительной мощности. В частности, одним из таких расчетов является рендеринг трехмерной сцены методом трассировки лучей. Разрабатываемое программное средство будет иметь минимальный набор функциональных возможностей позволяющих создавать трехмерные сцены любой сложности.

Для обеспечения оптимального использования ресурсов видеокарт в расчетах общего назначения необходимо преобразовать решаемую задачу таким образом, чтобы была возможность производить вычисления одновременно в нескольких потоках выполнения так как видеокарты спроектированы как раз для решения подобного рода задач. Задача рендеринга трехмерной сцены методом трассировки лучей идеально подходит для распараллеливания.

Трассировка лучей – технология построения изображения трёхмерных моделей в компьютерных программах, при которых отслеживается обратная траектория распространения луча (от экрана к источнику). Она характеризуется высокой алгоритмической распараллеливаемостью вычислений — можно параллельно и независимо трассировать два и более лучей, разделять участки (зоны экрана) для трассирования на разных узлах кластера и так далее. Проблемным является тот факт, что архитектура видеокарт уникальна, так как они должны выполнять специфические математические расчеты.

**Оптимизация и отслеживание транспортных потоков
оптово-логистического центра**

Панчковский Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Возрастание роли логистики в современный период обусловлено прежде всего экономическими причинами. Информационные технологии наиболее тесно связывают рынок и логистику, поскольку ее предметом, средством и составляющей логистических процессов являются информационные потоки. Логистика как система, ее субъекты и объекты управления развиваются на основе современных технических достижений в транспортно-складском хозяйстве и компьютеризации управления.

В эпоху развития мобильных технологий актуально предусматривать разработку кроссплатформенных систем, предоставляющих доступ как с персонального компьютера, так и с мобильного устройства. Развитие мобильного направления является одним из ключевых в условиях конкуренции в современной Беларуси. Все это требует создание системы отвечающей современным требованиям логистической компании, так как от эффективности функционирования всех звеньев логистической системы и достигаемой при этом экономии ресурсов зависит в целом успех экономической реформы, развитие рыночных отношений.

Разработанное приложение позволяет заменить устаревшие системы обмена, хранения и контроля данных, а также предоставляющее пользователю расширенные функции, улучшающие скорость и контроль в процессе формирования и отправки грузов. Приложение обладает функциями прогнозирования времени доставки груза, а также покажет рекомендуемый маршрут следования автотранспорта. Простота в использовании позволит более оперативно получать информацию и текущем состоянии цепочки «заказ-погрузка-отправка». Также существует возможность загрузки данных из наиболее популярной в странах СНГ – «1С: Предприятие», что позволит убрать дублирование деятельности по внесению заказов в логистическое программное обеспечение. На основе статистики, получаемой в процессе работы с приложением можно сделать выводы и в дальнейшем принять меры для улучшения эффективности деятельности каждого сотрудника.

Актуальность внедрения логистического приложения связана с интенсификацией и расширением в Беларуси товарно-денежных отношений, с увеличением хозяйственных связей между предприятиями, с развитием производственной инфраструктуры и расширением хозяйственной самостоятельности предприятий и организаций.

Исследование компиляторов и статический анализ кода

Михаленя А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Статический анализ кода – анализ программного обеспечения, производимый (в отличие от динамического анализа) без реального выполнения исследуемых программ. В большинстве случаев анализ производится над какой-либо версией исходного кода, хотя иногда анализу подвергается какой-нибудь вид объектного кода, например Р-код или код на MSIL. Термин обычно применяют к анализу, производимому специальным программным обеспечением (ПО). В зависимости от используемого инструмента глубина анализа может варьироваться от определения поведения отдельных операторов до анализа, включающего весь имеющийся исходный код.

Способы использования полученной в ходе анализа информации также различны – от выявления мест, возможно содержащих ошибки, до формальных методов, позволяющих математически доказать какие-либо свойства программы (например, соответствие поведения спецификации). Некоторые люди считают программные метрики и обратное проектирование формами статического анализа. Получение метрик и статический анализ часто совмещаются, особенно при создании встраиваемых систем. В последнее время статический анализ все больше используется в верификации свойств ПО, используемого в компьютерных системах высокой надежности, особенно критичных для жизни.

Следует отметить, что анализ кода – это возможность программы прочитать код анализируемой программы в какой-либо форме, «понять» его и выдать какую-то информацию. Соответственно, практически все анализаторы кода можно представить себе как поиск в определенном представлении программы (возможно с преобразованиями) определенных паттернов и дальнейший подробный анализ найденных участков.

Большинство компиляторов (например, GNU C Compiler) выводят на экран «предупреждения» (warnings) – сообщения о том, что код, будучи синтаксически правильным, скорее всего, содержит ошибку. Например:

```
int x;  
int y=x+2; // Переменная x не инициализирована.
```

Это простейший статический анализ. У компилятора есть много других немаловажных характеристик – в первую очередь скорость работы и качество машинного кода, поэтому компиляторы проверяют код лишь на очевидные ошибки. Статические анализаторы предназначены для более детального исследования кода.

Математическое моделирование алгоритмов работы антиблокировочных тормозных систем

Мазаник К.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается исследование динамики движения мобильных машин. В частности, разработана математическая модель для изучения динамики торможения двухосной мобильной машины, где отличительной чертой является наличие тягового электродвигателя (в частности, троллейбусы АКСМ-201 и АКСМ-321, произведенные в Республике Беларусь). Причем тяговый электродвигатель имеет неразрывную связь с ведущими колесами. Такие мобильные машины, в отличие от других транспортных средств, имеют основную и вспомогательную тормозную систему, где последняя реализуется переключением тягового электродвигателя в генераторный режим.

Согласно последним действующим стандартам, большинство транспортных средств, а особенно предназначенные для перевозки людей, должны быть оборудованы антиблокировочной системой (АБС). В большинстве случаев, для автобусов и троллейбусов с пневматическим приводом тормозной системы, это реализуется с помощью установки специальных устройств – модуляторов. При неработающей АБС модуляторы также не функционируют и в целом практически не влияют на характеристики привода. Во время работы АБС управляется отдельным или интегрированным электронным блоком управления. Каждый модулятор, установленный перед тормозной камерой, управляется по определенному закону в зависимости от скорости движения, дорожных условий и других факторов.

В результате проведенной работы разработанная ранее математическая модель, состоящая из дифференциальных уравнений, была дополнена системой уравнений и условий, которые описывают поведение АБС. В частности, реализован двухфазный цикл работы (нарастание и сброс давления в тормозной камере) и трехфазный цикл (нарастание, выдержка и сброс давления). Смоделирован алгоритм работы четырех модуляторов, по одному для каждого колеса, с различными алгоритмами – по низкому и высокому коэффициентам сцепления, а также с индивидуальным управлением каждого колеса при торможении. Ведется работа над моделированием сложного алгоритма работы АБС.

Полученные результаты расчетов были сравнены с имеющимися экспериментальными данными. Качественная картина процесса полностью подтвердилась.

Синтез контура наведения телеуправляемого беспилотного летательного аппарата по критерию Летова-Калмана

Еромин А.М., Шабан С.А., Бабченко А.А.
Военная академия Республики Беларусь

Рассматривается синтез контура наведения телеуправляемого беспилотного летательного аппарата (БЛА) с заданными динамическими свойствами измерительного устройства, которые учитываются при синтезе как неизменная часть системы. Оптимальное управление синтезируется путем минимизации квадратичного функционала Летова-Калмана:

$$I = \frac{1}{2}(\varepsilon_u(t_2) - \varepsilon_p(t_2))^2 r_p^2(t_2) + \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (a_1(\varepsilon_u(t) - \varepsilon_p(t))^2 + a_2(\dot{\varepsilon}_u(t) - \dot{\varepsilon}_p(t))^2 + kW_p^2(t)) dt,$$

где терминальный член представляет собой квадрат ошибки наведения в конечный момент наведения t_2 , квадратичные члены под интегралом с коэффициентами штрафа a_1, a_2 определяют качество регулирования в контуре наведения, квадратичный член от управления W_p характеризует суммарные энергетические затраты на управление с коэффициентом штрафа k .

Выбор коэффициентов штрафа функционала качества осуществляется эмпирическим способом. Считается, что максимально допустимые отклонения фазовых координат в любой момент времени вносят в функционал качества одинаковый вклад и приблизительно равняются вкладу максимально допустимого отклонения сигнала управления.

Данный способ позволяет найти аналитические зависимости между коэффициентами оптимального управления, а, следовательно, динамическими свойствами контура управления (запасами устойчивости, колебательностью, временем переходного процесса и т.д.) и коэффициентами штрафа функционала качества I .

В результате получено оптимальное управление

$$W_p = s_{21}(\varepsilon_\delta - \varepsilon_\delta) + s_{22}(\dot{\varepsilon}_\delta - \dot{\varepsilon}_\delta) + s_{23}\ddot{\varepsilon}_\delta,$$

где s_{21}, s_{22}, s_{23} коэффициенты оптимального управления.

По результатам синтеза, в среде визуального моделирования MATLAB (SIMULINK), авторами разработана математическая модель наведения БЛА на маневрирующую цель.

Математическая модель позволяет проводить анализ динамических свойств контура телеуправления, нормальных ускорений и ошибок наведения БЛА.

Кудрявцев В.И., Зирко О.Ф.

Белорусский институт системного анализа (БелИСА)

В дискретном производстве предмет обработки в составе очереди таких же других предметов обработки последовательно проходит несколько групп операций на разных стадиях производственного процесса. Для информационной поддержки управления обработкой на таком производстве была разработана модель данных QFS, в которой моделируется формирование производственных данных относительно каждого предмета обработки. Это позволяет формировать прецедент данных для каждой отдельной группы производственных операций относительно различных параметров предшествовавших ей производственных операций. На основании прецедента данных в соответствии с разработанной методикой управления производственной очередью QPC может быть построен комплекс частных прогнозов относительно целевых событий очереди для предметов обработки, находящихся в одной производственной очереди. Комплекс согласуется с планированием управляющих воздействий в отношении этих предметов обработки, имея в виду последствия этих воздействий для обработки всех предметов в этой очереди.

В связи с этим были рассмотрены возможности для формирования новых контуров управления, при которых прецедент данных используется для определения технической и экономической эффективности нового контура в конкретных производственных условиях. Также были исследованы новые возможности для управления интенсивностью использования технологического оборудования посредством автоматического выборочного изменения производственных операций для отдельных предметов обработки очереди. В частности, рассмотрены следующие типы автоматического управления очередью методом последовательной попарной оптимизации обработки:

1. Автоматическое управление очередью с выборочным сокращением обработки отдельных предметов в очереди. При этом преследуется цель максимального увеличения производительности обработки объектов, находящихся в одной очереди, при минимальной потере качества обработки.

2. Автоматическое управление очередью с выборочным увеличением продолжительности отдельных операций для отдельных предметов очереди. При этом преследуется цель повышение качества обработки предметов обработки без снижения общей производительности очереди.

**Система информационной поддержки дискретных производств
товаров и услуг на основе моделей данных**

Кудрявцев В.И., Зирко О.Ф.

Белорусский институт системного анализа (БелИСА)

К дискретным производствам товаров и услуг относятся предприятия, в которых товар или услуга представляет собой отдельный дискретный предмет производства, который претерпевает ряд последовательных дискретных операций обработки на протяжении этапов производства. К таким дискретным предметам производства, называемым также требованиями, может относиться туристическая поездка, банковская транзакция или сборочная единица, постепенно преобразуемая в готовый автомобиль или телевизор. Чем больше масштаб производства, тем большее количество предметов производства находятся в одновременной обработке, образуя очереди и конвейеры, и тем более автоматизированным становится производство. При этом само производство имеет тенденцию к усложнению и многофакторности определяющих его условий.

Предлагается концепция информационной поддержки автоматического управления текущими процессами такого производства, которая заключается в том, что все данные, создаваемые или привносимые извне в такое производство должны образовывать единую логически связанную структуру данных. Это позволяет, во-первых, производить унифицированную обработку этих данных, автоматически корректируя многие текущие связанные производственные процессы и операции относительно находящихся в одновременной обработке требований, а во-вторых, оперативно анализировать многофакторные влияния и изменения условий производства.

С этой целью разработана модель данных QFS, которая одной стороны поддерживает ориентацию на многомерную структуру факта, как это имеет место в системах производственного анализа OLAP, а с другой стороны реализует концептуальную модель системы производственных очередей требований.

Разработаны теоретические основы системы поддержки вычислительных процессов для QFS, которая могла бы обеспечить автоматическое прогнозное управление процессами дискретных производств, а также могла бы быть использована для анализа этих процессов. Исследованы общие принципы моделирования данных для разнородных информационных запросов, принципы межмодельных взаимодействий при обработке данных и бимодельных реализаций реляционной модели данных и QFS.

Организация взаимодействия с экстренными службами на основе GPS и WEB технологий

Серебренников И.Д.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время всё более актуальной становится возможность предоставления доступа к различным сервисам и службам за счет web-сайтов или мобильных приложений. На сегодняшний день мобильные устройства есть почти у всех, и каждый человек предпочитает иметь весь необходимый ему функционал для повседневной жизни в одном устройстве, которое всегда под рукой. В то же время, одними из наиболее важных услуг, предоставляемых населению, являются услуги экстренных служб, таких как скорая помощь, милиция, МЧС. Очень важным аспектом в работе экстренных служб является быстрота работы. Быстрота работы, в свою очередь, зависит от различных факторов.

В связи с этим возникает необходимость в разработке терминальных приложений для работы с экстренными службами. Человеку достаточно нажать одну кнопку, что намного быстрее набора номера, ожидания связи с оператором и сообщения информации о своем месте нахождения. Оператор, в свою очередь, получает максимально точную и структурированную информацию, которую намного проще и быстрее обработать и передать выездной бригаде. Кроме того, значительно облегчается процесс ведения отчетности о вызовах и местах происшествий, появляется возможность подведения точной статистики на основании уже имеющейся информации.

Основным технологическим аспектом приложения и преимуществом перед существующими системами является использование GPS модуля, встроенного в телефон, для определения точных координат пользователя, а так же TCP/IP и HTTP протоколов для передачи информации в диспетчерский центр.

Основная идея выражается в том, что человеку не нужно набирать конкретный номер, дожидаться ответа оператора, передавать ему информацию о своем местонахождении, о которой он, вполне вероятно, может быть не очень осведомлен. Достаточно просто зайти в приложение и нажать нужную кнопку. Но главным компонентом мобильного приложения является взаимодействие с GPS-модулем телефона. Мобильное приложение имеет несколько версий под все популярные платформы, такие как Android, WindowsPhone, iOS. Приложение распространяется бесплатно через предоставляемые официальные магазины приложений каждой из платформ.

Формирование криптографических ключей на базе нескольких алгоритмов без использования односторонних функций

Пивоваров В.Л., Голиков В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Задача конфиденциальной доставки ключевой информации в настоящее время решается методами асимметричной криптографии, в основе которой лежит использование односторонних функций. Широкое применение нашел алгоритм прямого распределения ключей, предложенный Диффи и Хеллманом. Однако, несмотря на внешнее благополучие асимметричной криптографии, развитие математической науки и компьютерной техники вносит существенные коррективы в ее параметры. Представляет интерес поиск других решений, которые в определенных ситуациях могут быть использованы как альтернативные.

И. Кантером и В. Кинцелем был предложен алгоритм формирования криптографических ключей с использованием синхронизируемых искусственных нейронных сетей. Основным недостатком названного метода является большое количество итераций, требуемое для полной синхронизации двух сетей.

Еще одним перспективным методом формирования криптографических ключей является алгоритм, предложенный в работе Ф Абдольванда. Недостатком данного метода является очень большая длина исходной последовательности по отношению к длине получаемого ключа. Так, для получения длины итоговой последовательности 128 бит требуемая длина исходной последовательности превышает 10^6 бит. Также предполагается, что в итоговой последовательности есть возможность определить значения некоторых бит на определенных позициях с вероятностью более 0,5.

Для того чтобы избавиться от недостатков двух описанных выше методов предлагается комбинированное решение, смысл которого заключается в том, что для независимого формирования «сырых» последовательностей у абонентов А и В, содержащих количество несовпадающих битов гарантированно менее 50%, использовать синхронизируемые искусственные нейронные сети.

Предлагаемый алгоритм нуждается в серьезном анализе криптостойкости и может найти применение, например, при формировании криптографического ключа для системы «точка-точка», имеющих аутентифицированный, но незащищенный от прослушивания канал связи или криптостойкой модификации устаревших ключей, распространенных другим способом.

Особенности применения гибридных систем

Imad Zein, Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

По мере непрерывно нарастающего усложнения встраиваемых систем автоматического управления (САУ) становится актуальным взаимодействие между логическими компонентами и непрерывными физическими процессами, описываемыми конкретным видом математических моделей.

Между тем развитие теории автоматического управления традиционно игнорирует предстоящую аппаратную реализацию проектируемой системы, сосредотачивая внимание на получении важных теоретических результатов.

Здесь необходимо подчеркнуть, что в технике САУ, в преобразовательной технике, в электроприводе широко применяются динамические системы, состояние которых описывается переменными, значения которых находятся в определенном диапазоне управления и наблюдения и принимают лишь конечное число значений.

В рамках одной системы (устройства) непрерывная и дискретная части, во взаимодействии представляющие собой единую систему, не могут быть описаны независимо, так как имеет место очевидное взаимодействие между ними.

Развитие теории нелинейного управления привело к пониманию того, что управление переключением в некоторых отношениях существенно более эффективно, чем непрерывное управление. Различные типы переключения традиционно используются в таких методах, как программное управление, скользящие режимы управления и программируемые логические контроллеры. Продолжили этот перечень принципы нечеткого управления (Fuzzy Logic), которое, как правило, основано на переключении различных режимов по правилам “**если** (измерение)...**то** (действие)...”.

Для описания динамических систем, которые имеют как непрерывные, так и дискретные переменные, используется термин “гибридные системы”. Рассмотрение дискретной и непрерывной свойств в одной системе является новым направлением в теории управления. Это связано с широким использованием дискретной логики в промышленных системах автоматизации, особенностями характеристик датчиков (аналоговые, цифровые, дискретные), что делает теорию гибридного управления чрезвычайно актуальной именно с точки зрения практического приложения.

DC-DC power converters modeling: from averaging to hybrid systems

Imad Zein

Belarussian National Technical University

The theory of pulse DC converters for a long time was based on the average values of the variables. Cornerstones of the work in this area are published by R.D.Middlebrook (California Institute of Technology, Pasadena) and Professor B.P. Soustin (Krasnoyarsk Polytechnic Institute), that were caused by quite practical needs provide power spacecraft based on solar energy. Since then, the urgency of the task of converting solar energy into electricity has increased many times and gained worldwide significance both in terms of application and geography spread.

In addition, the DC- DC converters have significantly expanded the range of applications due to the need for energy conversion of fuel cells, mainly due to the massive use of electrified vehicles, including electric vehicles of various classes (hybrid, autonomous), where required frequent exchange of energy in the source drive-to-consumer (electric motor). Application of the theory of averaging with Pulse Width Modulation (PWM) which are more rigorous investigation of the dynamics of DC- DC systems. PWM of the controllers are nonlinear and time-invariant system.

Control system operating in the switching mode in which predetermined structure and dynamic properties respectively, are called hybrid dynamical systems (HDS) that attract attention of many researchers. Continuous operation of HDS are usually described by a system of differential and (or) the difference equations, while the discrete behavior of these systems seems logical expressions or by discrete state machines.

If the whole system is a hybrid dynamic system of its continuous and discrete properties need to integrate at the same time. Therefore HDS have the opportunity to represent many of the systems in a single model without division into separate components, continuous and discrete models.

A large class of power electronics systems can also be classified as HDS, as they demonstrate continuous and discrete behaviors. The continuous nature of the current and voltage signals (for passive components such as inductors, resistors, capacitors) at the same time accompanied by the state of the switching elements (transistors and diodes) that have a status of 0 or 1, which demonstrates their discrete properties.

In hybrid systems, changes of continuous states and changes of discrete states are often connected to each other via inequalities. Fuzzy logic control could be introduced here, since fuzzy systems are typically based on a combination of different operating regimes.

Mash network in an academic campus

Pei Ping, Petrenko Y.N.

Belarussian National Technical University

The wireless network is a large network in an academic campus. The traditional cabling wiring can not be satisfied with new demand networking. So it is necessary to consider the issue to choose a new network scheme for the entire network system for effective security management.

There are some university campus that have installed wireless networking already, however it does not stand for successful using in campus. The main problems are: 1) basically, the coverage from outside is not useful; 2) the signal is not stable, the user always disconnect from Internet; 3) it is difficult to manage the users.

In traditional way to solve these problems is install an access point (AP) at high density. Using Mesh networking to build network could provide high quality coverage in outdoor with indoor.

Mesh network has special topology to suitable for rapid deployment. It has a few of wireless AP to constitute Mesh structure. AP connected with each other by repeater, Fig.1.

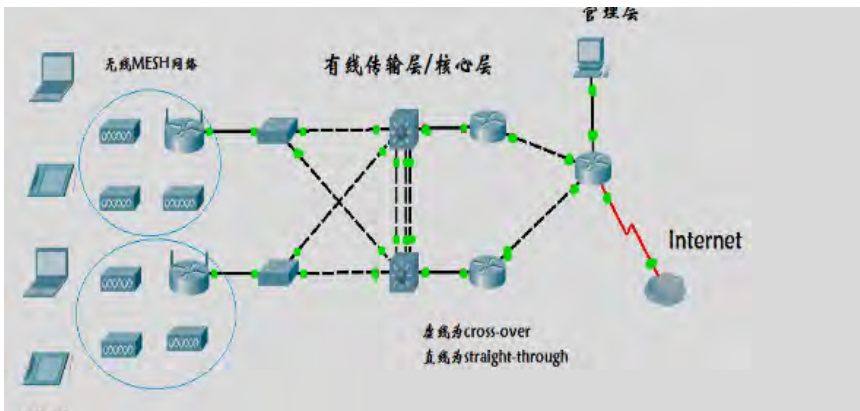


Fig. 1. University campus Mesh network structure.

The benefits in the Mesh network structure are: 1) self-organization; 2) self-healing; 3) multi-hop; 4) point to point topology. Thus, the huge university campus and public area propitious to structure a mesh network in real life.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Программная среда ESMoD для моделирования гибких производственных систем

Здор Г.Н., Новичихина Е.Р., Новичихин Р.В., Дербан А.Н.
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.

Защита информации при использовании облачных платформ

Околов А.Р., Дрозд А.В., Ходько В.В.

Белорусский национальный технический университет

Облачные вычисления – это перенос всех вычислений и хранения всех данных в Интернет и взаимодействие клиентов облака через Web-интерфейс облачных приложений. Такой подход к организации вычислений дает небывалые возможности клиентам, независимо от мощности и класса их компьютеров, и при этом обеспечивает доступ к облаку миллионам пользователей в каждый момент. Однако подобный подход создает и проблемы, связанные с безопасностью пользовательских данных (нет уверенности в сохранении конфиденциальности информации, хранящейся на "чужих" компьютерах).

Надежность хранения данных. Поставщики облачных решений хранят данные на своих сервисах с использованием избыточности, что само по себе гарантирует надежность. Дополнительно к этому на любом из устройств, подключенных к "облаку", хранится еще одна актуальная копия данных.

Безопасность хранения данных в "облаке". Весь трафик между клиентом и "облаком" шифруется (используется, как минимум, протокол SSL, а в некоторых случаях RSA+AES), что очень сильно затрудняет просмотр передаваемой информации посторонними лицами. Поэтому уровень безопасности работы с данными выше, чем, например, при отправке обычным письмом по электронной почте. Некоторые сервисы облачного хранения (SpiderOak, Wuala) предлагают шифрование данных не только при передаче, но и при хранении в "облаке".

Надежным способом защиты информации при размещении в облачном хранилище является применение средств шифрования и для этих целей целесообразно использовать программное обеспечение TrueCrypt, которое является кросс-платформенной программой и поддерживается такими операционными системами как Windows 7/Vista/XP/2000, Linux. Также TrueCrypt поддерживает несколько криптографических алгоритмов блочного шифрования, таких как AES, Twofish, Serpent, позволяет осуществлять каскадное шифрование файлов и предлагает возможность правдоподобного отрицания. Данные алгоритмы являются надежными алгоритмами шифрования – в настоящее время не было обнаружено каких-либо реально реализуемых атак на них. Кроме того, TrueCrypt является свободным программным обеспечением с открытым исходным кодом и может применяться в образовательных учреждениях.

Применение облачных вычислений в системе образования

Околов А.Р., Ходько В.В., Дрозд А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время без использования информационных технологий не может эффективно работать ни одно учреждение образования. Однако, содержание и развитие собственной IT-инфраструктуры обходится очень дорого. Облачные вычисления (*Cloud computing*) являются хорошей альтернативой классической модели обучения. Единственное, что необходимо иметь в этом случае, это доступ к сети Интернет.

В работе рассматриваются преимущества использования облачных вычислений в учебном процессе.

Экономические преимущества. Использование облачных технологий не требует капитальных затрат на создание и обслуживание собственных компьютерных центров, дорогостоящего программного и сервисного обеспечения, текущих затрат на содержание административного и управленческого персонала.

Гибкая масштабируемость (эластичность). Благодаря такой характеристике облачных сервисов, как эластичность, у образовательного учреждения имеется возможность постепенно наращивать объем используемых услуг без значительных предварительных вложений. В периоды пиковых нагрузок (например, во время сессий), не требуется планировать введение дополнительных информационных мощностей (компьютерных аудиторий), поскольку облачные сервисы могут масштабироваться автоматически и практически неограниченно.

Высокая доступность. Облачные сервисы доступны круглые сутки, что очень удобно для преподавателей и студентов, поскольку они могут реализовать возможности по обучению практически в любое время и не зависеть от локальных информационно-образовательных ресурсов учреждения. В результате это приводит к колоссальной экономии времени. Кроме того, постоянная доступность снимает преграды по получению качественного дистанционного образования для различных категорий учащихся. Высокая доступность образовательных ресурсов так же благоприятно влияет и на рейтинг учреждения образования.

Удовлетворение потребностей конечных пользователей. Очень удобно, когда данные доступны из любого места, где есть Интернет и с любого устройства, будь то персональный компьютер, смартфон или планшет. Пользователям не нужно заботиться о резервных копиях, данные безопасно хранятся в "облаке" и надежно защищены.

Метод автоматического управления процессом приготовления шихты с оптимизацией по данным непрерывного эксперимента

Алдакушин А.Г.

Белорусский национальный технический университет

В процессе производства теплоизоляционных плит из минеральной ваты по технологии получения расплава в печи непрерывного действия (вагранке) из многокомпонентной шихты на основе базальтовых каменных пород, известняка и шлака стабильность механических и тепловых характеристик получаемого продукта зависит от сочетания группы параметрических факторов исходных компонентов. При этом состояние и физико-химические параметры поставленного на производство исходного сырья не позволяют обеспечить заданные технологические пропорции смесеприготовления без постоянно вносимых компенсирующих поправок.

Задачей разработанного метода являлось создание алгоритма и комплекса технических средств для автоматического управления процессом приготовления шихты с внесением корректирующих поправок для обеспечения заданных параметров технологического процесса. Решение данной задачи было предложено на основе организации и получения данных непрерывного полного факторного эксперимента (ПФЭ), позволяющих автоматически формировать необходимую корректуру режимов дозирующего технологического оборудования. Описание факторного воздействия было представлено классическим вариантом функции для объекта в ПФЭ. С учетом оценки коэффициентов значимости, наиболее влияющими на результирующие параметры готовой продукции являются гранулометрический состав базальта, гомогенность распределения "базальт-известняк" в рабочей загрузке вагранки и окислительная способность шлака. Принятая функция, описывающая процесс, является полиномом 2-ой степени, учитывающим линейные эффекты, квадратичные эффекты и эффекты парного взаимодействия. Максимальные и минимальные значения технологических параметров задаются технологом-лаборантом по результатам анализов сырья. Шаг варьирования фактически определен отбором проб при контрольно-лабораторных анализах готовой продукции. Выборка текущих параметров осуществляется по данным весоизмерительных и телеметрических данных. Расчет поправок производит ЭВМ пульта оператора линии. Реализация данного метода позволила снизить отклонение по плотности минеральных плит с 6% до 2,5% и среднему диаметру волокна с 4,6% до 1,8% в пределах партии

используемого исходного сырья.

УДК 621.51.(075.8)

Методы оптимизации динамики стабилизирующего регулятора каскадной системы автоматического регулирования с учетом максимальной величины регулирующего воздействия

Кулаков Г.Т.¹, Кулаков А.Т.¹, Кухоренко А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

Каскадная система автоматического регулирования (КСАР) получила широкое распространение в области автоматизации технологических процессов [1]. Предложена методика расчета параметров оптимальной динамической настройки стабилизирующего регулятора КСАР, которая позволяет учитывать максимальную величину регулирующего воздействия при обработке задающего воздействия.

Передаточную функцию опережающего участка объекта регулирования и заданную передаточную функцию внутреннего контура КСАР по задающему воздействию для промежуточной регулируемой величины принимают в виде инерционных звеньев первого порядка с постоянными времени разгона $T_{оп}^*$ и $T_{зд1}$ соответственно. Тогда оптимальным стабилизирующим регулятором является ПИ-регулятор.

При этом передаточная функция внутреннего контура КСАР по регулирующему воздействию x_p при скачкообразном задающем воздействии принимает вид звена быстрого реагирования, постоянная времени числителя передаточной функции, которого равна $T_{оп}^*$, а знаменателя $T_{зд1}$. В результате максимальная величина регулирующего воздействия x_p^{max} в момент времени $t=0$ будет обратно пропорциональна коэффициенту передачи $k_{оп}$ опережающего участка, умноженному на величину отношения $T_{оп}^* / T_{зд1}$. Это позволяет рассчитать параметры оптимальной динамической настройки ПИ-регулятора с учетом допустимой величины регулирующего воздействия.

Литература:

1. Кулаков Г.Т. Методика структурно параметрической оптимизации каскадных систем автоматического регулирования на основе модифицированного упрединателя Смита / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, В.В. Кравченко // Известия ВУЗов и энергетических объединений СНГ: Энергетика. – 2012, №2. – С. 40-45.

**Разработка автоматизированной системы оформления
и сопровождения заявок на ОДО «ЮКОЛА-ИНФО»**

Потапенко В.В., Шардыко П.П.

Белорусский национальный технический университет

Основным видом деятельности ОДО «ЮКОЛА-ИНФО» является разработка программных модулей на основе «1С:Предприятие», внедрение и сопровождение этих модулей.

Данная область связана с большим количеством заявок от клиентов и документов, сопровождающих эти заявки. Автоматизация процессов принятия и сопровождения позволяет значительно снизить финансовые и временные издержки, повысить производительность и эффективность деятельности компании. Автоматизация предполагает составление четкой схемы работы организации и максимально эффективное распределение нагрузки между сотрудниками.

В работе фирмы наиболее часто встречается заявка на внедрение продукта. Процесс внедрения состоит из нескольких этапов: экспресс-обследование; анализ и построение технической архитектуры; поставка и установка программного обеспечения; детальное обследование, адаптация и тестирование; внедрение; сопровождение.

В работе представлены системные требования для установки «1С:Предприятие». Таким образом, прежде чем рекомендовать заказчику покупку той или иной программы системы «1С:Предприятие», необходимо убедиться в соответствии компьютерной системы заказчика целому ряду определенных требований. При этом круг требований расширяется пропорционально усложнению рассматриваемой программы. При проведении анализа технической архитектуры оформляются:

- отчёт по результатам обследования;
- отчёт по результатам проверки;
- предложение по модернизации;
- накладная на передачу оборудования.

Отчёт по результатам обследования представляет собой документ с полным описанием программного и аппаратного обеспечения компании-заказчика, например: системное ПО, кабельная система, активное сетевое оборудование, кабельная система, активное сетевое оборудование и др. Разработан алгоритм процесса принятия и сопровождения заявок, выделены основные этапы внедрения. Для каждого этапа был описан перечень оформляемых документов, представлены электронные формы этих документов.

УДК 681.3

Станция испытания долговечности стиральных машин-автоматов

Роговцов П. И., Лобовкин М.И.

Белорусский национальный технический университет

Цель данной работы – создание станции испытания долговечности работы стиральных машин-автоматов на три испытательных места, фиксирующую параметры энергопотребления стиральной машины, количество оборотов барабана, температуру воды внутри барабана, расход воды и утечку жидкости. Также станция фиксирует давление внутри трубопровода и температуру подводимой воды, температуру воздуха в рабочем помещении.

Актуальность работы заключается в следующем. На этапе разработки и испытаний стиральной машины-автомата необходима фиксация и последующий анализ её рабочих параметров, таких как температура воды внутри барабана, расход воды, параметры энергопотребления, фиксация утечки жидкости. Решение данной задачи необходимо для создания качественной и долговечной стиральной машины. В целях улучшения параметров работы стиральных машин и разработана данная станция.

Станция состоит из электрошкафов испытательных мест 1, 2, 3 с измерителями электропараметров Yokogawa PR300, центрального электрошкафа и рабочего места, оборудованным персональным компьютером. В структуре станции заложена возможность увеличения испытательных мест до 15. Для управления местами 1, 2 и 3 используется промышленный контроллер OMRON CJ1M. Испытательное напряжение мест 1, 2 и 3 формируется стабилизатором LIDER PS10000SQ-E. Промышленный контроллер под управлением программного обеспечения SCADA-программы Siemens WINCC выполняет управляющие воздействия, световую индикацию, а также осуществляет сбор данных с измерительных каналов, контроль значений и передачу данных в персональный компьютер. В памяти контроллера хранятся данные об испытаниях, времени испытаний и информация об испытываемых стиральных машинах. Все данные сохраняются в энергонезависимой памяти.

Во время проведения испытания данные с датчиков по протоколу RS-232 поступают на ПЛК OMRON, а далее через Ethernet-интерфейс поступают в персональный компьютер.

Проанализировав полученные в результате испытаний данные, производитель способен оптимизировать некоторые параметры работы стиральной машины.

Цифровые распределенные весоизмерительные системы

Скачек А.В., Скачек В.А., Алдакушин А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Практическое использование весоизмерительных систем современных электронных весов и дозирующих комплексов во многом определяется показателями надежности, помехозащищенности и ремонтпригодности в условиях эксплуатации конкретного потребителя. Требования соответствия этим критериям приводят к необходимости создания распределенных весоизмерительных систем на базе цифровых тензометрических преобразователей. В этом случае важнейшим фактором обеспечения допустимой погрешности измерений является компенсация влияния температурных изменений среды эксплуатации.

При создании таких распределенных систем необходимо определить область чувствительности измерительного канала температуры и температурной погрешности датчиков, достижимой цифровой обработкой измерительных сигналов. При этом зависимость чувствительности измерительного канала температуры от максимума производной функции влияния температуры на измерительный сигнал тензометрического датчика и зависимость неустранимой температурной погрешности датчика от погрешности измерения температуры чувствительного элемента определяется опытным путем. Отдельно структурно-алгоритмическим способом исследовалась возможность коррекции одной из составляющих температурной погрешности датчика, а именно – температурная погрешность тока питания измерительного тензомоста.

Разработан структурно-алгоритмический способ автоматической коррекции одной из составляющих температурной погрешности датчика – температурной погрешности тока питания тензомоста, – отличающийся использованием цифро-аналоговой обратной связи в структуре цифрового вторичного преобразователя.

По результатам выполненных исследований была разработана проектная методика расчета пределов несключаемой температурной погрешности тензометрических датчиков, достижимой цифровой обработкой измерительных сигналов.

Разработанные методики коррекции нелинейности и температурной погрешности тензометрических датчиков цифровыми вторичными преобразователями были внедрены в производство. В результате проведенных испытаний были получены значения основной погрешности порядка 0,1 % и температурной погрешности порядка

0,002-0,005 %/°C.

УДК 681.3

Радиочастотное измерение расстояния методом *Time of Flight*

Зырянов И. М., Сиротин Ф. Л.

Белорусский национальный технический университет

Метод *Time of Flight* заключается в измерении времени полёта электромагнитной волны от источника к приёмнику и обратно. На основе этого осуществляется расчёт расстояния между двумя точками. В автоматизации этот метод может найти применение для отслеживания местоположения объектов на производстве путём *радиометок*.

Time of Flight применяют внутри помещений с большим количеством радиометок (оборудования), т. к. другие методы имеют меньшую точность и интерферируют с другими *радиометками*. Однако, с ростом точности растут и препятствия в реализации:

- устройство должно работать на достаточно высокой стабильной частоте: для точности измерения в 1 метр частота *работы* должна быть 300 МГц;

- необходима точная синхронизация времени: расхождение начального отсчёта времени источника и приёмника значительно скажется на результате измерения;

- мельчайшие шумы будут сказываться на результате, уменьшая точность измерения;

- необходимо учитывать всевозможные задержки оборудования, а также возможные отклонения генераторов тактовой частоты друг от друга, т. к. *Time of Flight* очень чувствителен к погрешностям: маленькие отклонения времени дают большие отклонения расстояния;

- необходимо разработать быстрый и стабильный протокол общения передатчика и приёмника друг с другом.

Для устранения ошибки рассинхронизации “часов” приёмника и источника применяют метод *TTWT (Two-way time transfer)*: и источник, и приёмник участвуют в расчёте времени полёта волны, используя *локальные* часы. Нижняя граница случайной ошибки описывается неравенством *Крамера-Пао*, которое позволяет среднеквадратичную ошибку измерения.

В целом, рассматривается возможность построения *Time of Flight* устройства на микроконтроллерной базе, а также все препятствия на пути реализации такого устройства и погрешности измерений.

Литература:

1. Steven Lanzisera, David Zats: “*Radio Frequency Time-of-Flight*”

УДК 621.316

**Инновационная технология SmartWire Darwin
в науке, образовании и производстве**

Шафалович В.Ю., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет

На глобальном рынке непростая ситуация. Возрастающая сложность задач, рост издержек и высокая конкуренция – всё это требует умелого экономического, технологического и стратегического подхода. Необходимо выявлять скрытые потенциалы и резервы. Сегодня эффективное решение должно обеспечивать сокращение времени запуска и ведения технологического процесса, снижение производственных энергозатрат и, одновременно с этим, повышение производительности всего процесса в целом. Важно рационально использовать время, затрачиваемое на проектирование и введение оборудования в эксплуатацию, исключение каких-либо излишних затрат, которые не вносят прямого вклада в оптимизацию управления. В качестве таких затрат можно выделить сложные процессы, продолжительное время ожидания, перепроизводство, неисправности и неиспользованный потенциал.

Эффективным решением является применение инновационной технологии SmartWire Darwin (SWD), которая позволяет упростить и ускорить процесс создание систем автоматизации, повысить производительность и качество при выполнении монтажных работ, а также значительно сократить период и стоимость пуско-наладочных работ. Исходя из этого, можно предположить, что технология SWD в будущем станет новым стандартом в промышленной автоматизации.

В связи с тем, что для реализации технологии SWD применяется мощный программно-технический комплекс, основным недостатком сдерживающим ее внедрение, является отсутствие персонала, обладающего достаточными знаниями и навыками, позволяющими рационально использовать инновационную технологию.

Для восполнения этого недостатка разработан лабораторный стенд, который, используя технологию SWD, позволяет получить практические навыки в освоении автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности. В настоящее время ведется разработка методических материалов, которые позволят изучить инновационную технологию SWD, принципы ее построения, применяемое оборудование и программное обеспечение.

УДК 681.3

**Автоматизированная система управления очистки воды
на станции обезжелезивания**

Джумагалиев Д. С., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет

АСУ ТП водоснабжения и водоотведения – человеко-машинная система на основе комплекса средств промышленной автоматизации и телекоммуникаций, обеспечивающая комплексное автоматическое и автоматизированное управление технологическими процессами с возможностью диспетчерского управления с удалённого диспетчерского пункта. АСУ ТП очистки воды на станции обезжелезивания создается в целях: автоматического и диспетчерского управления технологическими процессами водоснабжения и водоотведения в соответствии с заданным оптимальным режимом, обеспечивающим бесперебойное снабжение водой заданного качества при минимальных энергетических и эксплуатационных затратах, наименьших потерях воды; автоматического мониторинга заданных параметров; управления качеством, оптимизации, планированием и прогнозированием технологических процессов; управления техобслуживанием технологического оборудования; сбора и хранением данных, требуемых для анализа. АСУ ТП состоит из следующих технологических объектов и соответствующих им процессов: первый подъём, фильтрация и хлорирование воды, станция оборота промывной воды, второй подъём. Первый подъём представляет собой насосные станции и предназначен для подачи воды из водоисточников на станцию обезжелезивания, в резервуары или непосредственно в сеть. Со станций первого подъема по водоводу поднятая вода поступает на сооружения очистки воды для доведения качества воды до требований, предъявляемыми к ней нормами СНИП. Каждый фильтр оснащен задвижками с гидроприводом. Промывка каждого фильтра осуществляется через заданное регламентом время водой из водонапорной башни. Станция оборота промывной воды предназначена для отстаивания воды после промывки фильтров. Станция хлорирования предназначена для обеззараживания очищенной воды хозяйственно-питьевого назначения раствором оксидантов. Станция второго подъема (так же называемая станцией повышения давления) является системой, включающей в себя несколько сообщающихся упредительно – накопительных резервуаров и повышающие насосы. Основное назначение станции второго подъема – забор воды из резервуаров чистой воды водозабора и подача ее по водоводам к снабжаемому объекту.

УДК 621.316.

Качество электроэнергии и устройства для его контроля

Самбук Е.С., Гутич И.И.

Белорусский национальный политехнический институт

Качество электрической энергии (ЭЭ) можно определить как совокупность ее характеристик, при которых потребители могут нормально работать и выполнять заложенные в них функции.

Определение показателей качества электрической энергии – сложная задача. Это связано с тем, что большинство процессов, протекающих в электрических сетях – быстротекущие, все нормируемые показатели не могут быть измерены напрямую – их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам. Поэтому для определения показателей качества ЭЭ нужно выполнить большой объем измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений.

Для контроля качества электрической энергии нужно применять только те приборы, что внесены в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь.

Например, устройство контроля параметров качества ЭЭ УК1. Оно представляет собой высокоточный измерительный прибор, построенный на основе современных цифровых технологий. Данный прибор выполняет следующие функции:

- измеряет всю гамму параметров качества ЭЭ в точном соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97;
- вычисляет и хранит значения параметров качества ЭЭ, что позволяет детально проследить за состоянием контролируемой электросети за весь интервал измерений;
- автономно накапливает информацию о результатах измерений более четырех месяцев, которая хранится неограниченное время;
- производит статистическую обработку накопленных данных и сравнение результатов с установленными нормами качества ЭЭ;
- имеет дружелюбный пользовательский интерфейс с графическим ЖК-дисплеем и клавиатурой, который позволяет управлять прибором с помощью развитой системы меню;
- имеет два интерфейса связи для работы совместно с ПК;
- обеспечивает возможность оперативного просмотра и передачи на ПЭВМ текущих показаний, а также всей накопленной в устройстве информации за период вплоть до настоящего момента.

Подавление помех, генерируемых преобразователями частоты

Лившиц Ю.Е., Немец И.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Преобразователи частоты (ПЧ) благодаря своим преимуществам широко применяются в системах автоматизации. Однако они обладают и отрицательной особенностью – генерируют интенсивные электромагнитные помехи. Основным источником электромагнитных помех являются быстро переключающиеся транзисторы, создающие большие скачки напряжения в блоке питания привода. Частоты наведенных помех лежат в диапазоне от 150 кГц до 30 МГц, а паразитное электромагнитное излучение имеет частоту от 30 МГц до 1 ГГц. Радиочастотные помехи представляют собой аналогичное возмущение, влияющее на средства связи. При разработке и установке приводов следует сводить к минимуму электромагнитные помехи и ограничить их влияние на расположенное вблизи оборудование и каналы связи. Следует сводить к минимуму электромагнитные помехи и ограничить их влияние на расположенное вблизи оборудование и каналы связи. Для этого необходимо осуществление следующих мероприятий:

1. Раздельная прокладка силовых кабелей (входных и выходных) и других цепей (сигналов управления, сигналов с датчиков);

2. Установка фильтра помех: моторный дроссель, синус-фильтр, LC-фильтр на входе, а также защита цепей, в которые проникают наводки фильтрами с частотой среза выше пропускной способности цепей устройств;

3. Электрическое заземление преобразователя частоты и экранирование (установка металлических разделителей) между преобразователем частоты и периферийным оборудованием. Применение экранированных кабелей для силовых цепей или прокладка кабеля в металлической трубе;

4. Применение ферритовых колец с сигнальными кабелями;

5. Снижение несущей частоты ШИМ-модуляции преобразователя частоты;

6. Организация питания оборудования от источников, не связанных с преобразователем частоты, питание от другого фидера трансформатора, применение разделительного изолирующего трансформатора.

Перечисленные меры позволяют упростить наладку оборудования, исключить сбои в системе управления, снизить уровень радиочастотных помех.

Функция восприятия касания в промышленных роботах Fanuc

Петрова Ю.В., Чухольский Д.С.

Белорусский национальный технический университет

При принятии решения об автоматизации технологической операции сварки на многих предприятиях возникает общее затруднение – робот в простейшем исполнении предназначен для работы в детерминированном пространстве и отклонения в нем могут привести к нарушению технологического процесса, которое, в свою очередь, приводит к браку продукции. При этом системы очувствления робота значительно удорожают его, но еще большую стоимость имеет модернизация заготовительного цеха для обеспечения необходимой повторяемости деталей. В этих условиях создается потребность в обеспечении робота возможностью обнаруживать и компенсировать отклонения в свариваемых заготовках без значительного увеличения стоимости комплекса. Компанией Fanuc предложен способ решения данной проблемы. Он заключается в наделении робота возможностью проводить ощупывание детали без установки на него дополнительного оборудования. Эта функция называется Touch Sense. Она позволяет проводить ощупывание через сварочную проволоку используя стандартное сварочное оборудование. При этом на проволоку подается напряжение. При приближении проволоки к детали между ними возникает дуга, которую воспринимает стандартная функция обнаружения дуги. При включении сигнала обнаружения дуги робот запоминает положение проволоки и высчитывает положение одной из плоскостей.

Функция Touch Sense может осуществлять шесть различных видов поиска: одномерный, двумерный, трехмерный, одномерный с вращением, двумерный с вращением, трехмерный с вращением. В зависимости от вида поиска он может осуществляться по одной из четырех схем: простой поиск, поиск по углам/нахлесту, поиск по V-образной канавке или поиск по наружному/внутреннему диаметру. При этом в зависимости от типа и сложности поиска роботу необходимо записать от одной до семи точек. При этом необходимо записать от одной до семи точек.

Данная функция активно применяется на робототехнических комплексах с использованием промышленного робота Fanuc. В частности, она используется на РТК дуговой сварки печей и топков на ОАО «Мозырьсельмаш». Применение данной функции избавило от необходимости в модернизации заготовительного цеха и позволило без

существенных затрат повысить качество выпускаемой продукции, а также уменьшить количество брака.

УДК 621.34

Определение параметров модулированного напряжения для выполнения предварительной параметрической идентификации асинхронного двигателя

Однолько Д.С.

Белорусский национальный технический университет

При выполнении предварительной параметрической идентификации асинхронного двигателя (АД) в частотно-регулируемом электроприводе (ЭП) целесообразным является использование режима намагничивания АД при неподвижном роторе. Для обеспечения такого режима средствами частотно-регулируемого ЭП необходимо задать параметры модулируемого напряжения. Компоненты сигнала задания $u_{\alpha,z}$, $u_{\beta,z}$, поступающие на блок векторной ШИМ (систему управления ключами АИН) и обеспечивающие управление силовыми ключами АИН имеют следующий характер: компонента $u_{\alpha,z}$ представляет собой значение, фиксированное на протяжении всего намагничивания АД; компонента $u_{\beta,z}$ имеет нулевое значение.

При таком задании возбуждается только одна фаза α эквивалентной двухфазной машины, что обеспечивает намагничивание АД знакопостоянным током при неподвижном роторе.

Если величина $I_{\mu,z}$ тока намагничивания АД известна, то требуемое значение $u_{\alpha,z}$ предлагается определять по выражению

$$u_{\alpha,z} = k_z I_{\mu,z} R_{s,kat},$$

где k_z – коэффициент, выбираемый из диапазона $0,8 \div 1,0$ и обеспечивающий снижение вероятности насыщения главной магнитной цепи АД; $R_{s,kat}$ – значение активного сопротивления, рассчитанное на основании технических характеристик АД.

Частоту ШИМ рекомендуется выбирать с учетом необходимости:

- обеспечить максимально возможную продолжительность включения базовых векторов на периодах ШИМ, что позволит выполнять больше измерений тока статора на интервалах проводящего и непроводящего состояний АИН;

- не допустить насыщения главной магнитной цепи АД, для чего предлагается ограничить амплитуду пульсации тока статора $\Delta I_{s\alpha}$ на первом периоде ШИМ на уровне $0,5 \div 0,7 I_{\mu,z}$.

Следовательно, выбор наилучшей частоты ШИМ зависит от параметров двигателя и будет различным для разных двигателей.

УДК 504.56

Разработка автоматизированной системы пожарной сигнализации спортивно-оздоровительного комплекса

Тарлюк Е.Н., Шардыко П.П.

Белорусский национальный технический университет

Под системой пожарной сигнализации понимают совокупность технических средств, предназначенных для обнаружения факторов пожара, формирования, сбора, обработки, регистрации и передачи в заданном виде сигналов о пожаре.

Проектирование системы пожарной сигнализации четко индивидуально привязывается к конкретному объекту. Категорирование помещений и выбор типа системы пожарной сигнализации зависит от функциональной пожарной опасности защищаемого здания. Последующий выбор типов пожарных извещателей, в свою очередь, зависит от типа системы пожарной сигнализации.

Адресная системы пожарной сигнализации «Бирюза», размещенная на объекте, обладает рядом преимуществ. Она непрерывно фиксирует малейшие изменения контролируемых ее извещателями параметров. Это обеспечивает возможность регистрации факта возникновения пожара на самой начальной его стадии. Интеллектуальность системы заключена в ее способности обрабатывать и анализировать по заданному заранее алгоритму данные, получаемые от извещателей. Анализ проводится по каждой зоне с учетом ее особенностей.

Для разработки автоматизированной пожарной сигнализации спортивно-оздоровительного комплекса были проанализированы категории помещений, произведен выбор типа системы пожарной сигнализации и пожарных извещателей, выбор адресной системы пожарной сигнализации, изучение и размещение ее оборудования, а также была разработана структурная схема системы пожарной сигнализации защищаемого объекта.

Установка системы пожарной безопасности – осуществление первого шага к достижению защищенности объекта, а также людей находящихся в нем. Данная система представляет собой совокупность приборов, которые устанавливаются с целью заблаговременного извещения о наличии очага возгорания.

Безусловно, самой надежной и эффективной на сегодняшний день является адресно-аналоговая сигнализация. Она способна выявить очаги возгорания на самых ранних стадиях и максимально быстро предупредить о возникновении пожара.

Формирование случайного процесса с заданным спектром мощности при проведении вибрационных испытаний

Лобовкин М.И., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет

При испытании образцов новой техники стоит задача максимального приближения испытаний к эксплуатационным условиям. Это особенно касается механических устройств, бортового оборудования, навесного оборудования сельскохозяйственной техники. Возникает задача воспроизведения случайных процессов с заданными статистическими характеристиками. Получение заданного случайного процесса является непростой задачей, требующей достаточно сложного управления всей системой управления вибрациями. Важным элементом такого управления является формирование случайного процесса с заданными статистическими характеристиками (обычно с заданным спектром мощности).

Для формирования случайного процесса по заданному спектру мощности может быть использована модель Райса - Пирсона

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \cos(k \omega_1 t + \theta_k)$$

где A_k - амплитуда k - ой гармоники, θ_k - фаза, распределенная равномерно на отрезке $[0, 2\pi]$. Из представления процесса $x(t)$ тригонометрической формой ряда Фурье

$$\begin{aligned} x(t) &= A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k \omega_1 t - \theta_k) = \\ &= A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k \omega_1 t + b_k \sin k \omega_1 t) \end{aligned}$$

коэффициенты $A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$, a_k и b_k могут быть получены из спектра мощности $S(\omega)$.

$$a_k = \sqrt{2S(k\Delta\omega)\Delta\omega} \cos \theta_k = A_k \cos \theta_k$$

$$b_k = \sqrt{2S(k\Delta\omega)\Delta\omega} \sin \theta_k = A_k \sin \theta_k$$

Использование быстрого преобразования Фурье резко сокращает время вычислений и делает процесс управления вибрациями возможным в реальном времени.

Применение CALS-технологии в учебном процессе

Здор Г.Н., Якимович А.М., Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р.
Белорусский национальный технический университет

Для подготовки специалистов в области автоматизации большое значение имеет, на наш взгляд, преемственность и интеграция информации и навыков, приобретаемых студентом в процессе всего обучения. То есть сам учебный процесс должен рассматриваться с позиций целостности его жизненного цикла. Идеальная схема при этом выглядит следующим образом. Уже на начальных семестрах студент получает индивидуальное задание на комплексную инженерную разработку. Каждая новая дисциплина, предусматривает практическое решение отдельных задач индивидуального задания студента. Все курсовые работы и проекты выполняются в единой автоматизированной среде поддержки жизненного цикла изделия CALS и сливаются к концу обучения в целостную и завершенную разработку. На кафедре «Робототехнические системы» БНТУ внедряется такой подход. Конечный результат – комплексный курсовой проект автоматизированной производственной системы механообработки на 5 курсе обучения (дисциплина «Проектирование ГПС»). Начало разработки – 2 курс: разработка 3D-модели заданной детали-представителя как части робота и как предмета производства (среда САД, дисциплина «Автоматизированное проектирование»). Следующие этапы используют разработанную 3D-модель. Курс 3: автоматизированный прочностной анализ детали (CAE, «Механика»); автоматизированное проектирование технологического процесса и управляющей программы ЧПУ (CAM, «Технология»). Курс 4: концептуальное проектирование системы (CASE «Системный анализ»); разработка исполнительных, информационных и управляющих устройств («Технологическое оборудование», «Привод», «Сенсорные устройства», «Системы управления», «Программное обеспечение»); компьютерное моделирование и оптимизация производства (M&S, «Моделирование и исследование»). Курс 5: проектирование управляющих программ для MC, PLC и CNC (CAM, компьютерные симуляторы/эмуляторы, станок с CNC и робот, «Программное управление»); разработка централизованной системы управления, контроля и визуализации производства (PDM, SCADA, «АСУ ТП», «Проектирование ГПС»). Эффект преемственности дисциплин усиливается тем, что большая часть программного и аппаратного обеспечения от одного производителя (Mitsubishi).

Тормозные режимы работы вентильно-индукторного двигателя

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время любой технологический процесс в современном автоматизированном производстве невозможно представить без применения регулируемого электропривода, что обусловлено стремлением к максимальному повышению производительности технологического оборудования и качества производимой продукции. При регулировании координат электропривода требуется гибкое сочетание двигательного и тормозного режимов работы электрических машин в составе электроприводов. Основные преимущества привода с вентильно-индукторным двигателем (ВИД), обусловленные простотой конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями, позволяют непрерывно расширять область применения регулируемого электропривода. В то же время ВИД существенно отличаются от традиционных электрических машин, что обусловлено иными физическими явлениями, лежащими в основе создания момента.

Работа ВИД состоит в дискретном переключении фазных обмоток в определенных положениях ротора. Мгновенный суммарный момент определяется суммой мгновенных моментов фаз одновременно находящихся под током, поэтому для ВИД характерны значительные пульсации мгновенного момента. При этом направление действия момента определяется не направлением протекания тока, а относительным положением зубца ротора по отношению к возбужденному зубцу статора. Таким образом, при одном том же значении тока, но разном взаимном положении зубцов статора и ротора электромагнитный момент будет либо движущим, либо тормозным. Стоит отметить, что отсутствие активных материалов на роторе не позволяет обеспечить тормозной режим работы ВИД при вращении ротора под действием внешних сил или сил инерции и отсутствии тока в катушке соответствующего зубца статора. Поэтому переход в генераторный режим начинается с этапа возбуждения фазы путем подачи на нее положительного импульса напряжения в окрестности полного перекрытия взаимодействующих полюсов статора и ротора. Заканчивается этап возбуждения, когда полюс ротора начинает выходить из зоны перекрытия. Этот процесс аналогичен этапу включения фазы в двигательном режиме работы ВИД, но протекает при значительно большем значении индуктивности фазы. На данном этапе происходит

возрастание тока. Рабочий этап для тормозного режима работы ВИД начинается при изменении полярности напряжения на фазе.

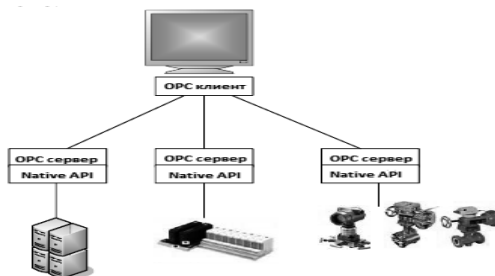
УДК 621.396

Реализация OPC Data Access клиента версии 2.05 в .NET

Садоменко С.Л., Кононенко З.И.

Белорусский национальный технический университет

OPC (OLE for Process Control) – промышленный стандарт, описывающий интерфейс обмена данными между устройствами управления технологическими процессами (см. рисунок).



Клиент реализует спецификацию Data Access версии 2.05, которая предназначена для чтения, записи и мониторинга OPC переменных. Программа может использоваться как инструмент для проверки связи с оборудованием, как система визуализации технологических процессов при помощи технологии WPF (Windows Presentation Foundation) и как система сбора данных, использующая технологию ADO (ActiveX Data Objects). Для организации обмена данных OPC клиента с сервером, необходимо создать файл в формате .xlsx, в который по определенным правилам заносятся названия и тип OPC переменных.

После подключения необходимых библиотек к проекту предоставляется набор процедур, функций и интерфейсов, которые позволяют реализовать необходимую функциональность программы. Первым делом производится поиск и вывод в виде списка названий OPC серверов установленных на локальной машине. Данные возможности реализованы по средствам библиотеки OpEnumLib. Далее производится выбор OPC сервера из списка. Теперь используем библиотеку OPC_NET, которая является надстройкой над стандартными библиотеками OpNetApi. Создаем новый объект, который описывает наш клиент. Далее вызываем метод инициализации переменных, которые были предварительно созданы в файле .xlsx. Производим подключение к выбранному OPC серверу, при этом идет проверка статуса подключения.

**Исследование возможностей ПО Simotion Scout
и графического языка DCC для наладки и диагностики
частотно-регулируемых электроприводов**

Васильев Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Инженерное программное обеспечение (ПО) Scout является мощным инструментом программирования контроллеров Simotion, которое обладает сквозной интеграцией во все технологические продукты Siemens. В него входит программный пакет Starter для ввода в эксплуатацию и диагностирования регулируемых электроприводов Siemens на основе преобразователей частоты (ПЧ) серии Sinamics, Micromaster, Combimaster. Starter позволяет вводить данные конфигурации всей системы, создавать и редактировать программы, профили движения, параметры приводов и т.д. Scout также имеет мощную систему тестирования, отладки и диагностики программ, что включает: отображение статуса программы с выводом текущих значений всех переменных, управление переменными при выполнении команд в реальном времени, электронный осциллограф, панель управления осями и приводами и т.д. Навигатор проекта Scout содержит средства разработки и является навигационным центром. Дерево навигатора проекта содержит: все устройства проекта (контроллер, ПЧ, электродвигатель и т.д.), все технологические объекты (оси, профили и т.д.), все пользовательские программы. Опциональный графический языковой пакет DCC (Drive Control Chart) расширяет возможности Simotion Scout и позволяет создавать управляющие программы любой сложности из набора стандартных библиотечных блоков, а также «свободно-программируемых» функциональных блоков под определенные разнообразные технологические задачи. Библиотека стандартных блоков содержит большой выбор управляющих, арифметических и логических блоков, а также блоков различных регуляторов. Встроенная справочная система и диагностические функции позволяют выполнять проверку разработанной программы и идентификацию ошибок. Также стоит отметить, что DCC не имеет ограничений по количеству используемых блоков. Simotion Scout вместе с пакетами Starter и DCC успешно используются для наладки и ввода в эксплуатацию систем автоматизации и частотно-регулируемых электроприводов на основе оборудования фирмы Siemens, применяемого на клетевых подъемных установках (Sinamics SM150) и ленточных конвейерах (Sinamics S120) на рудниках ОАО «Беларуськалий».

О построении структурной схемы и расчете системы векторного управления асинхронным двигателем со стабилизацией потокосцепления ротора

Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет

Из всего разнообразия видов векторного управления (ВУ) более всего применяются: прямое ВУ асинхронным двигателем (АД) с вычислителем потокосцепления и с датчиком скорости или без него. Бездатчиковое косвенное ВУ, несмотря на относительную простоту, по точности регулирования скорости намного уступает прямому ВУ с датчиком скорости. Поэтому в частотно-регулируемых электроприводах (ЭП), где требуется диапазон регулирования скорости больше 50:1, а также высокая точность поддержания скорости, применяется прямое ВУ с датчиком скорости и со стабилизацией потокосцепления ротора. Эта система ВУ АД приемлемо отражена в литературе, но в предлагаемых методиках расчета имеются неточности, связанные с: расчетом коэффициента передачи напряжения в систему управления, учетом вычисляемого вектора потокосцепления ротора для формирования сигнала моментной составляющей вектора тока статора, с построением структурной схемы эквивалентного двухфазного АД при ориентировании оси x вдоль вектора потокосцепления ротора. В докладе рассматривается современный подход введения компенсированных ЭДС вращения (при определении задаваемых намагничивающей и моментной составляющих вектора тока статора) в блок компенсации, где на выходе формируются задающие сигналы напряжения, по которым вычисляется амплитуда задаваемого вектора напряжения. Задаваемая угловая частота первой гармоники выходного напряжения преобразователя частоты (ПЧ) определяется как сумма электрической угловой скорости ротора и электрического падения скорости. Предложена обобщенная структура, состоящая из ПЧ с системой ВУ и структурной схемы эквивалентного двухфазного АД. На вход ПЧ подаются сигналы задания потокосцепления ротора и угловой скорости АД. Между ПЧ и объектом происходит обмен физическими величинами: напряжениями, токами и ЭДС по осям x и y , потокосцеплением ротора, угловой скоростью ротора и угловой частотой первой гармоники напряжения. На основании этой структуры разработана модель и проведено имитационное моделирование ВУ АД мощностью 7,5 кВт, результаты которого подтвердили правильность предлагаемого подхода к исследованию динамики ЭП.

О системах частотного электропривода с векторным управлением

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Векторное управление – это частотное управление, где в качестве управляющих воздействий используются пространственные векторы электромагнитных величин. При векторном управлении возможно независимо изменять магнитный поток и электромагнитный момент двигателя с помощью составляющих вектора тока статора подобно независимому регулированию магнитного потока и момента в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением. Формирование электромагнитного момента АД при векторном управлении осуществляется с помощью векторов тока и потокосцепления. При этом могут использоваться каждый из трех векторов потокосцепления двигателя: или статора, или ротора, или взаимоиндукции.

Различают системы электропривода с прямым и косвенным векторным управлением АД. Главным признаком *прямого векторного управления* является непосредственное измерение или вычисление величин вектора и его положения. При этом вычисление значений вектора потокосцепления и его положения осуществляется по модели магнитного потока, в которой входными величинами служат мгновенные значения напряжений и токов двигателя, измеряемые электрическими датчиками. При *косвенном управлении* используется модель АД, на основе которой выявляются внутренние связи между величинами, которые и применяются затем для управления. Различают также бездатчиковое векторное управление и управление с машинным датчиком скорости. Бездатчиковое векторное управление применяют при небольших диапазонах регулирования скорости (до 100) и требованиях к точности ее поддержания не более $\pm 0,5\%$. Если же скорость вращения АД изменяется в широких пределах (до 10000 и более), имеются требования к высокой точности поддержания скорости вращения (до $\pm 0,2\%$ при частоте менее 1 Гц) или есть необходимость позиционирования вала, а также при необходимости регулирования момента на валу электродвигателя на очень низких частотах, применяют векторное управление с обратной связью по скорости с помощью машинного датчика скорости [1].

Литература:

1 Карлов Б., Есин Е. Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация // Силовая электроника. – 2004, №1. – С. 50-54.

**Анализ функциональных схем электрической части
ветроэлектрических установок**

Санкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

В докладе рассмотрены концепции проектирования электрооборудования современных ветроэлектрических установок (ВЭУ), приведен анализ способов управления и применяемых для этих целей силовых электронных преобразовательных устройств. Выполнен сравнительный анализ оборудования ведущих мировых производителей. Приведены функциональные схемы систем для различных электрических генераторов, механических передач и для различных комбинаций силовых электронных преобразовательных устройств. Определены структуры ВЭУ с преобразовательными устройствами, наиболее полно отвечающими условиям эксплуатации в Беларуси. Применение той или иной типовой схемы ВЭУ обусловлено, в первую очередь, условиями эксплуатации установки. Под условиями эксплуатации подразумевается: географическое расположение установки, наличие либо отсутствие постоянного ветра, энергетические характеристики сети электроснабжения, характер потребителей генерируемой энергии и др. Поскольку упомянутая модель ветроэлектрической установки – с асинхронным генератором с короткозамкнутым ротором, работающего напрямую с сетью, то она наиболее эффективна применительно к морским шлейфовым и прибрежным ВЭУ, а также для установок, расположенных в каньонах и ущельях предгорья, на берегах крупных водоемов. Такие установки работают с постоянными годовыми, постоянными сезонными или постоянными по времени суток ветрами. Обобщая вышеизложенное, можно утверждать, что для условий Республики Беларусь ВЭУ должны работать при переменной скорости ветра, т.е. обладать более широким рабочим диапазоном, поддерживать режим работы с максимальной выходной мощностью. Это возможно только при применении современных силовых электронных преобразовательных устройств. Следует также учитывать, что номинальные скорости ветра для ВЭУ с многополостными синхронными генераторами с постоянными магнитами несколько выше чем для ВЭУ с асинхронными генераторами с фазным ротором. Этот факт может сыграть определяющую роль при выборе ВЭУ для конкретной площадки. Также приведен анализ схемотехнических решений, применяемых ведущими ветроэнергетическими компаниями, такими как: Enercon, Vestas, Siemens, Nordex, Repower, Suzlon, Fuhrlaen-

der и Gamesa.

УДК 62-83

Управление электроприводом с использованием цифрового сигнального процессора

Опейко О.Ф., Олешкевич С.А., Жарко Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

Частотное управление электроприводом является сложной вычислительной задачей. Поэтому для управления электроприводами и силовыми преобразователями электрической энергии разработаны и выпускаются специализированные микроконтроллеры (цифровые сигнальные процессоры). К таким микроконтроллерам предъявляются специфические требования. Это – наличие аналого-цифрового преобразователя для ввода обратных связей по току и другим величинам, наличие устройства захвата для ввода сигналов энкодера, программируемые таймеры и широтно-импульсный модулятор (ШИМ) для прямого цифрового управления силовыми ключами преобразователя электрической энергии.

Известны микроконтроллеры XC166 фирмы Infineon, ADSP-BF фирмы Analog Devices, цифровые сигнальные процессоры фирмы Freescale Semiconductors и многие другие, удовлетворяющие этим требованиям в различной мере. Наибольшие возможности для построения систем управления электроприводами имеются в цифровых сигнальных процессорах TMS320F28xx фирмы Texas Instruments. Микросхемы имеют развитый интерфейс и большое количество внешних выводов (176, из них 88 выводов общего применения для ввода и вывода сигналов системы управления). Микросхема TMS320F28335 имеет сопроцессор FPU для вычислений с плавающей точкой, что позволяет обеспечить точность вычислений, а, следовательно, и качество системы управления. Средства интерфейса допускают разнообразные режимы преобразования входных и выходных сигналов системы управления. Правильный выбор режимов, основанный на знании силовой преобразовательной техники и особенностей процессов электропривода позволяет проектировщику добиться качественной работы устройства управления. Синтез регуляторов и формирование алгоритма управления электропривода следует выполнять с учетом квантования по времени как в цифровом управляющем устройстве, так и в силовом преобразователе. Дискретность системы в наибольшей степени проявляется в контуре регулирования тока. Контур управления потокоцеплением, моментом, скоростью, положением и

технологическими параметрами могут быть синтезированы в предположении непрерывности системы.

УДК 621.314

Уравнение движения частотного электропривода лифта

Ху Пэн, Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Получим расчетное уравнение движения частотного электропривода (ЧЭП) лифта, необходимое для использования при исследовании пуско-тормозных режимов в системе MatLab/Simulink. Для этого реальную схему механической части ЧЭП (рис.1,а) сначала заменим его эквивалентной моделью (рис.1,б) в виде вращающегося маховика с приведенным моментом инерции J_c и угловой скоростью вала ротора двигателя ω_c , к которому приложены момент двигателя M_d и приведенный момент внешних сопротивлений M_c в двигательном и генераторном режимах работы двигателя или момент механического тормоза M_T и M_c в режиме механического торможения.

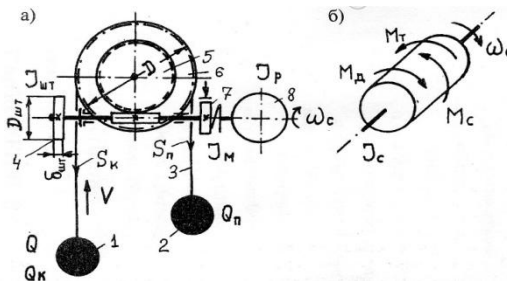


Рис. 1

Приведенный момент инерции эквивалентной модели (без учета масс редуктора и КВШ, которыми [1] в лифтовых лебедках можно пренебречь)

$$J_c = J_p + J_m + J_{шт} + G_n (V^2 / \omega_c^2),$$

где J_p , J_m , $J_{шт}$ – моменты инерции соответственно ротора двигателя 8 (рис.1,а), муфты 7, штурвала ручного привода 4; G_n – приведенная к ободу КВШ неуравновешенная масса поступательно движущихся частей 1 и 2 (груза, кабины и противовеса).

Теперь запишем искомое расчетное уравнение движения ЧЭП лифта при пуске на спуск (подъем):

$$M_d \pm M_c = J_c (d \omega_c / dt),$$

где $M_d = (0,75 \div 0,8) M_k$ – расчетный средний пусковой момент двигателя; M_c – приведенный момент сопротивления при пуске; «+» - при спуске; «-» - при подъеме.

Литература:

1. Лифты / Под редакцией Д.П.Волкова. – М.: АСВ, 1999. – 480 с.

УДК 519-7

Разработка SMS мессенджера для платформы iOS

Бородуля А.В., Лычковский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Существуют ресурсы мобильных операторов, находящиеся в открытом доступе, для отправки бесплатных SMS. Для того, чтобы отправить SMS, необходимо зайти на web-сайт в нужный раздел оператора, заполнить необходимые поля и отправить SMS. Данная процедура занимает порядка 60 сек. При использовании приложения время отправки SMS удалось сократить до 10-15 сек; данное время сравнимо с отправкой обычного SMS, но при использовании приложения пользователь делает это бесплатно.

Для написания приложения была использована интегрированная среда разработки (IDE) – Xcode 6.2, что позволило разработать приложение высокого качества для iPhone/iPad.

В основе работы данного приложения лежит получение данных с сервера мобильного оператора, обработка их. После этого формируется запрос с данными пользователя и отправляется серверу мобильного оператора. Сервер обрабатывает полученные данные и отправляет их на абонентский номер. Схема работы приложения:

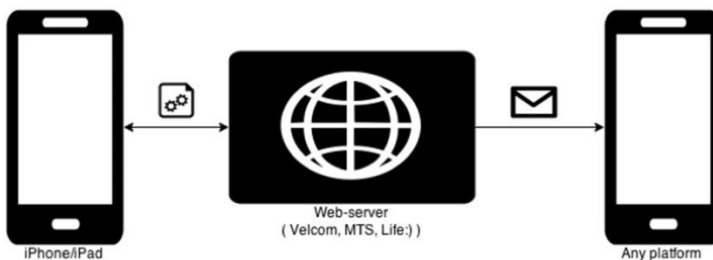


Рисунок 1 – Схема работы приложения.

Данное приложение не имеет аналогов в магазине приложений AppStore. Мессенджер позволяет экономить на SMS-сообщениях до 100%, что позволит привлечь большое количество пользователей. Приложение имеет название “FREE SMS BY”, что делает его легко узнаваемым.

Электрические потери частотного электропривода

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Оценка электрических потерь электропривода производилась на основе Т-образной схемы замещения АД с учетом влияния высших временных гармоник напряжения и тока на работу двигателя.

В использованной схеме замещения использовалось скольжение высших гармоник $S(k)$, которое определяется следующим образом:

для гармоник прямой последовательности

$$S(k) = [(k-1) + S] / k; \quad (1)$$

для гармоник обратной последовательности

$$S(k) = [(k+1) - S] / k, \quad (2)$$

где k – порядковый номер гармоники;

S – скольжение ротора по отношению к основной составляющей вращающегося магнитного поля.

Из (1) следует, что для первой гармоники $S(k) = S$. Из (1) и (2) следует, что для высших гармоник скольжение ротора $S(k)$ близко единице, то есть ротор для высших гармоник находится по отношению к основной составляющей вращающегося поля в заторможенном состоянии.

Получив действующее значение гармоник выходного напряжения НПЧ $U_2(k)$ и величину сопротивления фазы АД для k -й гармоники, определяем действующее значение тока статора для k -й гармоники:

$$I_1(k) = U_2(k) / Z(k). \quad (3)$$

Для определения потерь в меди АД необходимо также определить действующее значение гармоник тока ротора $I_2'(k)$ и гармоник тока намагничивающего контура $I_\mu(k)$. Для этого необходимо определить ЭДС статора $E_1(k)$ для каждой гармонической составляющей на основании векторной диаграммы. Действующее значение гармоник тока ротора:

$$I_2'(k) = |E_1(k)| / \sqrt{\left(\frac{r_2'}{S(k)}\right)^2 + \alpha^2 x_2'^2(k)}. \quad (4)$$

Анализ потерь в меди статора и ротора от высших гармоник тока показывает, что наибольшие потери создают пятые и седьмые гармоники. Например, для $\nu = 2$, $\alpha = 85^\circ$ потери от пятой гармоники тока составляют 8%, а потери от седьмой гармоники – 31% потерь в

меди от первой гармоники для данных ν и α .

УДК.622.3

Многомодульные системы распределенного генерирования энергии

Константинова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Конструкции ветроэлектростанций (ВЭС) постоянно совершенствуются: улучшаются их аэродинамика и электрические параметры, уменьшаются механические потери, решается проблема концентрации ветровой энергии и её упорядоченности. Строительство мощных ВЭС ведется за счет наращивания единичной мощности ветрогенераторов и их количества, что ведет к удешевлению киловатт-часа электроэнергии, но в тоже время выявляет ряд проблем, связанных с габаритными размерами установок. В настоящее время определяются новые тенденции развития систем распределенного генерирования энергии (РГЭ) – создание многомодульных установок, состоящих из единичных генераторов средней и малой мощности. Огромные перспективы открываются у ветрогенераторов мощностью до 3кВт для индивидуального пользования. Такие установки могут генерировать электроэнергию, достаточную для питания нескольких домов в городе или поселке. Модульная система *ветряков* взяла за основу принцип Lego. Каждый *ветрогенератор* может функционировать как по отдельности, так и подключенным к группе ветряков для увеличения производительности. Мини-ветрогенераторы позволяют создать более гибкую конструкцию. Такие проекты основаны на сочетании устойчивых технологий и идее гибкой пространственной организации. Немаловажным преимуществом таких многомодульных систем является возможность их размещения в непосредственной близости от потребителя, что значительно сократит потери при передаче электроэнергии. Анализируя современное состояние ветроэнергетики, можно выделить совершенно новое направление – создание микро-энергетических установок, что способствует более эффективному использованию энергии ветра. Созданные микроветрогенераторы (компанией [Pleiades System Designs](#) для зарядки цифровых приборов; учеными из Университета штата Техас в Арлингтоне с диаметром трехлопастного ротора 1.88 мм и башней высотой 2 мм), разрабатываемые проекты многомодульных микрогенерирующих установок явно определяют микроэнергетику, как весьма перспективное и многообещающее направление развития систем распределенного генерирования энергии, что становится возможным благодаря

современному уровню развития высоких технологий.

УДК 621.333-23.018.53

**Имитационное моделирование тягового электропривода
с пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией
при питании от аккумуляторных батарей**

Воротницкий С.С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время актуальной темой является разработка электромобилей для широкого применения. Вследствие этого, существует много типов конструкции тягового электропривода. Это может быть как один электродвигатель с возобновляемым источником энергии, приводящим транспортное средство в движение через коробку передач и дифференциал, так и безредукторные мотор-колеса. При этом питание электромотора может осуществляться от аккумуляторной батареи, солнечной батареи или топливных элементов.

Для анализа электрических и динамических процессов была разработана имитационная модель асинхронного электродвигателя, питаемого от двух аккумуляторных батарей с разным уровнем заряда, по принципу пространственно-векторной широтно-импульсной модуляцией (ПВ ШИМ). Целью этой методики является аппроксимирование мгновенного вектора опорного напряжения U^* при помощи комбинации состояний соответствующих базовых пространственных векторов.

В представленной выше модели используется трехфазный асинхронный двигатель мощностью 160 кВт, две аккумуляторные батареи с номинальным напряжением 550 В, емкостью 10 Ач и уровнем заряда 99% и 10%. Эта модель позволит нам исследовать вопрос заряда батарей в режиме торможения, используя пространственно-векторную ШИМ. Преобразователь моделируется с помощью блока «Универсальный мост», а двигатель с помощью блока "асинхронная машина". Его индуктивность рассеяния статора L_s увеличена в два раза его реального значения, чтобы имитировать эффект сглаживающего реактора, расположенного между преобразователем и двигателем. Крутящий момент нагрузки на валу машины является постоянным и составляет 80 Нм. Управляющие импульсы на инвертор генерируются блоком «Пространственно-векторный ШИМ-модулятор». Частота ШИМ составляет 2000 Гц, а входной опорный вектор подается в виде амплитуды напряжения U и угла θ . Анализ результатов моделирования подтвердил целесообразность и возможность широкого применения такого типа электропривода в работе электромобиля.

Моделирование работы системы кондиционирования пассажира вагона

Миронович А.В., Примшиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

Система кондиционирования вагона включает в себя, компрессор для производства холода, вентиляторы для отвода наружу нагретого воздуха и нагнетания в вагон охлаждённого, а также множественные воздуховоды для перемещения охлаждённого воздуха внутри вагона. Вентиляторы и компрессор имеют электрические приводы, причём, на привод компрессора приходится основная доля электроэнергии, потребляемой всем электрооборудованием вагона.

Система электроснабжения – автономная, питается от аккумулятора. При движении вагона со скоростью, превышающей 30 км/ч, аккумулятор подзаряжается от подвагонного генератора. Компрессор приводится во вращение трёхфазным асинхронным двигателем. Таким образом, для электроснабжения компрессора требуется многоступенчатое преобразование электрической энергии. Наиболее сложным, с точки зрения электромагнитных процессов, является режим работы, когда производится охлаждение воздуха при быстром движении вагона, когда энергия от генератора расходуется как на подзаряд батареи, так и на питание привода компрессора. Именно этот режим и был смоделирован авторами.

График изменения напряжения на выходе повышающего преобразователя приведен на рис. 1. Данная диаграмма

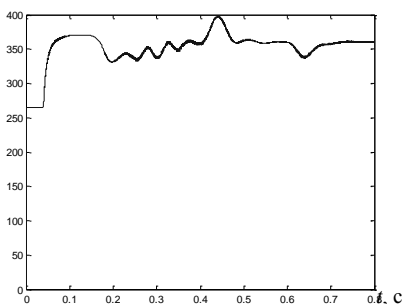


Рис. 1 – Диаграмма напряжения на выходе повышающего преобразователя

получена при моделировании с помощью программы *Matlab* силовой электрической схемы, включающей в себя следующие элементы: генератор – аккумулятор – повышающий преобразователь – инвертор – асинхронный двигатель. Для стабилизации напряжения на выходе повышающего

преобразователя используется отрицательная обратная связь по напряжению. Были смоделированы: включение преобразователя (0,04 с),

разгон двигателя компрессора до номинальной скорости (0,2 – 0,4 с) и ступенчатое приложение нагрузки (0,6 с).

УДК 621.314

Автоматизация проектирования синхронного двигателя с инкорпорированными постоянными магнитами

Нго Фьонг Ле

Белорусский национальный технический университет

Разработано программное обеспечение автоматизации проектирования синхронного двигателя с инкорпорированными магнитами (ПАПД). Программа написана в компьютерном языке C#, что позволяет осуществить высокопроизводительные вычисления и обеспечивает возможность связи с другими программами (FEMM, MATLAB). Схема на рис. 1 показывает функциональную структурную схему ПАПД.

ПАПД имеет следующие функции:

- графический пользовательский интерфейс: окно для ввода параметров размеров ротора, статора, материала, и т.д.; отображение результатов; сохранение результатов.
- аналитический расчет и нахождение оптимальных параметров;
- создание модель анализа конечных элементов, статический магнитный анализ, динамический анализ в FEMM; нахождение оптимальных параметров;
- создание модель двигателя в Matlab-simulink;
- обработка данных (преобразование abc-dq, анализ Фурьера) для отображения результатов на таблице и графике.
- связь с другими программами (FEMM, MATLAB) через ActiveX.

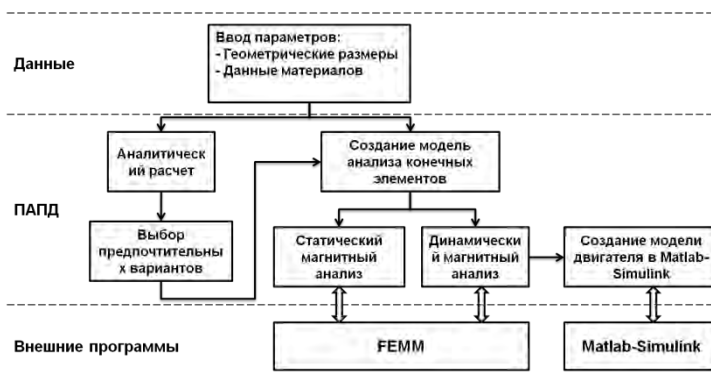


Рис. 1. Функциональная структурная схема ПАПД

УДК 621.314.1

**Имитационное моделирование системы электропривода
технологического процесса производства продуктов
разделения воздуха**

Гульков Г.И., Мигдаленок А.А., Руденя А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для определения и анализа условий возникновения аварийных ситуаций при работе производственной установки необходимо выполнить расчёт динамических режимов её работы. Для этого может использоваться компьютерная имитационная модель, включающая в себя модели всех составных частей производственной установки.

Функциональная схема имитационной модели производственной установки содержит следующие компоненты:

1. Модель системы управления преобразователя частоты (СУ ПЧ),
2. Модель преобразователя частоты (ПЧ),
3. Модель асинхронного двигателя (АД),
4. Модель нагрузки,
5. Модель технологической установки.

Модель системы управления преобразователя частоты будет содержать передаточные функции регуляторов электрических и механических величин АД, а также функциональные зависимости между напряжением управления и импульсами управления преобразователя частоты.

Модель ПЧ описывает процесс формирования напряжения питания асинхронного двигателя с заданной амплитудой и частотой из сетевого напряжения с постоянными параметрами.

Модель питающей сети учитывает возможные отклонения питающего напряжения от номинального значения, а также исчезновение питающего напряжения.

Модель асинхронного двигателя описывает электромеханическое преобразование энергии в АД. Этот процесс описывается с помощью системы дифференциальных уравнений, на основании которых строится структурная схема модели.

Модель нагрузки содержит уравнения, на основании которых определяется момент сопротивления движению производственного механизма в зависимости от скорости.

Модель технологического процесса включает математическое описание, которое связывает скорость двигателя с технологическим параметром – давлением.

Свертка доопределяемой таблицы истинности логической функции

Василевский А.В., Мартинович В.В., Балашков В.И., Лойко И.В.

Белорусский национальный технический университет

В качестве примера рассмотрим синтез мультиплексора на 4 информационных входа: x_2, x_3, x_4, x_5 плюс 2 адресных входа: x_0, x_1 и один выход. Его логическая функция имеет 6 аргументов и, значит, таблица истинности содержит 2^6 строк. Однако её можно очень существенно сократить, используя запись значения аргумента "не влияет" в виде прочерка.

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_0	x_1	x_6	x_7	x_8	x_9	x_6	x_7	x_8	x_9
0	0	-	-	-	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	-	-	1	-	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	-	1	-	-	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	-	-	-	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	-	-	0	-	0	0	0	1	0	0	0	0				
1	0	-	0	-	-	0	0	1	0	0	0	0	0				
1	1	0	-	-	-	0	0	1	1	0	0	0	0				
4	4	1	1	1	1			0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

При минимизации логических функций методом свертки таблицы истинности [1] по очереди временно исключаются аргументы (исключается столбец таблицы истинности), каждая строка из области 1 на выходе (верхние 4 строки) сравнивается с каждой строкой из области 0 на выходе (нижние 4 строки). В случае совпадения остатка строки в этом месте таблицы отмечается значение исключенного аргумента (жирным). Количество совпадений для каждого аргумента отмечено в нижней строке. Вводим подстановки дополнительных переменных: $x_6 = \text{не } x_0 \cdot \text{не } x_1 \cdot x_5$; $x_7 = \text{не } x_0 \cdot x_1 \cdot x_4$; $x_8 = x_0 \cdot \text{не } x_1 \cdot x_3$; $x_9 = x_0 \cdot x_1 \cdot x_2$; показано выше в столбцах $x_6, x_7 \dots$ При этом начальная таблица истинности расширилась до 10 столбцов, однако после этого её удалось снова свернуть до 6 столбцов, удалив столбцы: x_2, x_3, x_4, x_5 , так как для них число совпадений было равно 0. Результат этого показан выше в середине, где промежуточная таблица имеет 6 столбцов и то же число строк. Далее можно удалить столбцы: x_0, x_1 , что приводит к свернутой таблице справа. Остается сделать последнюю подстановку по нижней строке: $Z = x_6 + x_7 + x_8 + x_9$. Таким образом, метод свертки таблицы истинности хорошо работает в случае сокращенного задания таблицы с последующим доопределением.

Литература:

1. Бородуля, А.В. Техническое обеспечение интегрированных САПР: Методическое пособие: в 3 ч. / А.В.Бородуля, А.В.Василевский, В.А.Кочуров . – Минск: БНТУ, 2012. – ч.1.

УДК 621

Адаптация алгоритмов распознавания для согласования различных структур баз данных

Кирцун В.М., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

В процессе использования базы данных теряют синхронизацию с приложениями, для которых они разрабатываются. Приведение базы данных к требуемому состоянию называется актуализацией и может потребовать значительных усилий. В некоторых случаях структура актуальной базы данных может только частично включать таблицы исходной базы данных. Помимо адаптации системы под новую структуру базы возникает проблема согласования структур различных баз. А это подразумевает перенос уже внесенных данных из базы исходной в новую базу данных.

Первым этапом переноса данных является извлечение записей из источника данных, а также подготовка содержащейся в них информации к процессу преобразования. Исходными данными могут являться неструктурированные данные, как в данной работе, извлечение которых возможно с помощью применения методов распознавания образов.

Для системы обработки информации образ – это совокупность данных об объекте или явлении, включающая параметры и связи. Параметры представляют собой количественные характеристики, полученные с помощью измерительных систем или математических моделей. Связи могут описывать как внутреннюю структуру образа, так и особенности его поведения, если мы имеем дело с динамическим объектом или процессом. Для адаптации выбранного алгоритма распознавания необходимо определить, что будет являться образом решаемой задачи. При работе с базой данных образом является запись в таблице базы данных. Его параметрами являются имя атрибута, из которого извлекаются данные, длина значения, количество слов, содержащихся в значении, тип извлекаемого значения. К связям относятся внешние ключи таблицы, которые указывают, как конкретная запись связана с другими записями в других таблицах. Алгоритм распознавания ближайших соседей получает в качестве входных данных вышеперечисленные параметры и связи, на основе которых определяет,

какие параметры и связи будут иметь выходные данные.

УДК 621.391.25

Моделирование болтового крепления деталей компрессорно-конденсаторного агрегата на опорную раму

Красновская С.В., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании и анализе конструкций компрессорно-конденсаторных агрегатов методом конечных элементов предоставляется возможность определить усилия и деформации, возникшие в местах крепления отдельных элементов конструкции.

В среде ANSYS контакт Bonded задается для жестко связанных элементов, например, в месте резьбового соединения между болтом и гайкой. Контакт, допускающий небольшое скольжение, как между головкой болта и поверхностью соединяемой детали, задается типом No Separation. Контакт, допускающий скольжение и отрыв деталей, задается типом Frictionless или Frictional при известном коэффициенте трения поверхностей.

Задать усилие предварительной затяжки к цилиндрической детали можно с помощью силы предварительного натяга от прикладываемой нагрузки Pretension load (force) или предварительного натяга при закручивании гайки на определенное число витков Adjustment (length). Нагрузка предварительного натяжения должна прикладываться к конструкции тела, а не отверстия. Если нагрузка предварительного натяжения прикладывается на поверхность, имеющую контакт Bonded, то возможно искажение в результатах деформации.

Усилие предварительной затяжки определяется требованиями к соединению. Оно обычно принимается в пределах 75-80% от пробной нагрузки. Пробная нагрузка, в соответствии с ГОСТ 1759.4, для крепежных деталей с классом прочности 6.8 и выше составляет 74-79% от минимальной разрушающей нагрузки. Усилие предварительной затяжки не должно приводить к переходу деформации материала крепежной детали из области упругой в область пластическую.

Решение задачи проходит в два этапа:

1) Шаг нагружения 1: прикладывается усилие предварительной затяжки, граничные условия, задаются контакты. Значение усилия задается в единицах силы при выбранной опции Load или единицах длины, соответствующей количеству витков затяжки, при опции Adjustment;

2) Шаг нагружения 2: относительное движение предварительно

затянутой детали фиксируется путем установки опции Lock на данном шаге нагружения, и прикладываются внешние нагрузки.

УДК 621.391.25

Конечно-элементное моделирование вилочного захвата погрузчика

Чекун О.А., Савченко А.В., Напрасников В.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается построение геометрии и анализ напряженно-деформированного состояния вилочного захвата погрузчика.

Для расширения функциональных возможностей погрузочной техники нередко используют вспомогательное навесное оборудование. К числу таких устройств относят и вилочный захват для погрузчика, помогающий в транспортировке не только паллетных грузов, но также многих других разновидностей товаров и сырья.

Для построения модели была использована среда Workbench.

Построение и вычисления производятся для половины конструкции, так как её геометрия и условия нагружения симметричны.

Для получения численного решения выполнено разбиение геометрической модели на пространственные конечные элементы. К вилам приложены рабочие нагрузки, соответствующие реально поднимаемым грузам.

На рисунке 1 изображены модель вилочного захвата (слева), напряжения по Мизесу при приложении тестовой нагрузки (справа).

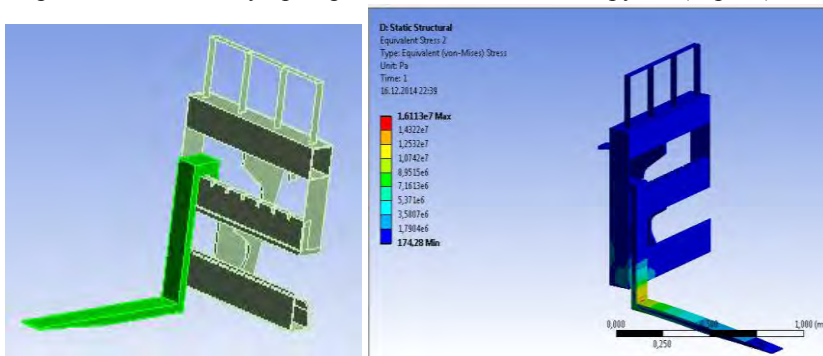


Рисунок 1 – Модель вилочного захвата (слева), напряжения по Мизесу в конструкции (справа).

В результате исследования определены наиболее опасные места в конструкции и построена оптимизационная модель, позволившая

снизить расход материала на 10%.

УДК 621.391.25

Оптимизационная модель устройства подачи теннисных мячей

Обиходов П.А., Боровок О.А., Ермилов В.В., Напрасникова Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе была построена модель рабочего элемента робота (рисунок 1) и проведен анализ напряженно деформированного состояния.

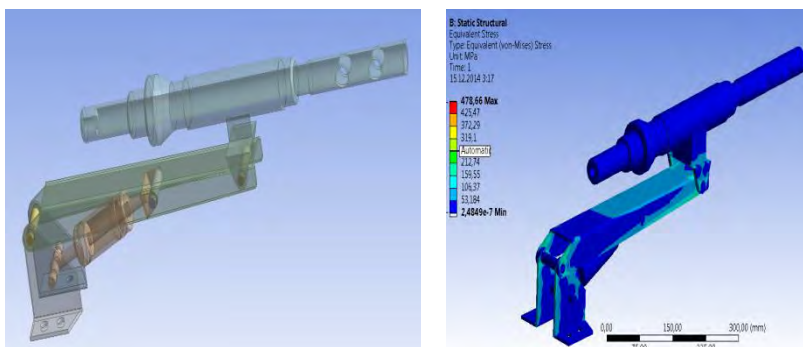


Рисунок 1 – Геометрическая модель конструкции (слева) и распределение эквивалентных напряжений в ней по теории прочности Мизеса (справа)

Для расчета напряжений деформированного расстояния «руки» необходимо выполнить разбиение геометрической модели конечно-элементной сеткой, приложить нагрузку, имитирующую отдачу во время выстрела оружия, установленного на «руке» робота.

На рисунке 1 справа отображено напряженное состояние в материале конструкции при приложении тестовой нагрузки. Поскольку максимальное напряжение не превышает предела прочности, можно построить оптимизацию модели.

Варьируемыми параметрами, для оптимизационной модели принимаем длину ствола и толщину пластины кронштейна под стволом. Критериями оптимальности являются максимальное суммарное перемещение в конструкции и масса конструкции, которые должны быть минимальными. Ограничения накладываем на максимальное эквивалентное напряжение по теории Мизеса, которое не должно превышать предела текучести для материала конструкции с заданным коэффициентом запаса.

В результате оптимизации удалось уменьшить массу конструкции на 4%, а максимальные перемещения на 2%.

УДК 621.391.25

Спектр конечно-элементных моделей элементов конструкций дорожных машин АМКОДОР

Боровик А.А.

Белорусский национальный технический университет

Моделирование является ключевым этапом в проектировании современных конструкций. Основным средством систем моделирования для решения подобного рода задач является метод конечных элементов.

В данной работе рассматриваются модели различных деталей и элементов конструкции дорожных машин АМКОДОР. На рисунке 1 представлены картина напряженно-деформированного состояния различных вариантов проектируемых конструкций: слева – креплений фланцев, справа – моста машины, по результатам которых инженер способен сделать рациональный выбор в пользу одного из них.

Исходными данными для каждой из задач являются общие сведения о конструкции; это – геометрическая форма, размеры, материал изготовления, а также условия эксплуатации и сведения о нагрузках.

Выполнены варианты расчеты для различных деталей и конструкций. Приводятся распределения полей перемещений и напряжений в материале конструкций.

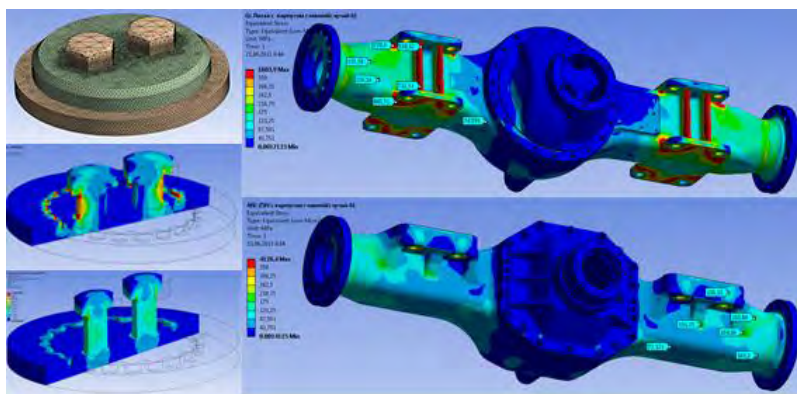


Рисунок 1 – Примеры моделей креплений фланцев и картера моста

На основании проведенных расчетов были выполнены изменения в проектах устройств позволяющие улучшить такие их характеристики, как надежность, устойчивость и срок эксплуатации.

Особенности сдвиговой аппроксимации изображений

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Задача сдвиговой аппроксимации изображений может быть сформулирована в следующей постановке.

Задано распределение интенсивности $K(x, y)$ светового потока, (x, y) – декартовы координаты в картинной плоскости. Это распределение будем также называть *желаемым*.

Требуется представить (*приближенно*) распределение интенсивности $K(x, y)$ в виде линейной суммы сдвигов двумерных гауссовых функций:

$$K(x, y) \approx \sum_{k=0}^S A_k \cdot F(x - \lambda_k, y - \mu_k, \sigma),$$

где A_k – амплитуда двумерной гауссовой функции (амплитуда парциального пучка); $F(x, y, \sigma)$ – двумерная гауссова функция с параметром σ ; λ_k – сдвиг вдоль оси OX ; μ_k – сдвиг вдоль оси OY ; $S + 1$ – количество парциальных пучков, используемых для приближения желаемого распределения интенсивности.

Последовательность решения сформулированной задачи проиллюстрирована схемой, представленной на рисунке.



Рисунок 1 – Схема решения задачи аппроксимации

В докладе обсуждаются особенности формирования набора параметров, обеспечивающих аппроксимацию изображения с требуемым уровнем качества, а также некоторые особенности программной реализации алгоритмов вычисления амплитуд и построения синтезированного изображения; приводятся примеры синтезированных изображений; даны результаты анализа эффективности предлагаемого способа аппроксимации изображений в сравнении с известными.

УДК 621

Получение фотообразцов для автоматизированного анализа пиллингуемости текстильных материалов

Полозков Ю.В., Ковалева И.Л., Марущак А.С., Велесик А.Т.
Белорусский национальный технический университет

Пилли (пиллинг) представляют собой дефекты поверхности текстильных материалов. Для автоматизации процесса оценки пиллингуемости ткани используются различные методы цифровой обработки изображений. Обзор литературных источников показал, что в настоящее время для автоматизированного анализа пиллингуемости применяются, как правило, изображения плоских образцов тканей. В данной работе предлагается исследовать изображения перегибов образцов тканей.

Для получения таких изображений (фотообразцов) спроектировано специальное устройство, компьютерная модель которого представлена на рисунке 1.

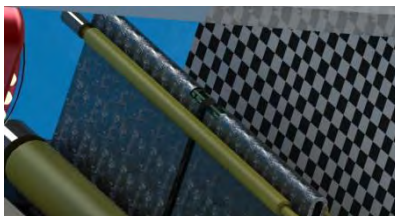


Рисунок 1 – Устройство для получения фотообразцов ткани

Как видно из рисунка 2, пилли на перегибе ткани представляют собой плотные образования, расположенные над линией раздела ткани и фона.

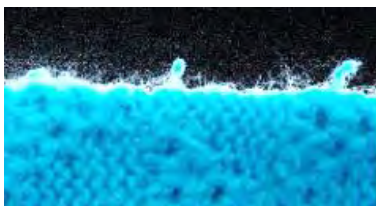


Рисунок 2 – Фотообразец перегиба ткани

Анализ полученного изображения позволяет определить такие основные характеристики пиллей как размер, плотность, а также их среднее количество на единицу длины ткани.

Сегментация пиллей по цвету на изображениях текстильных материалов

Ковалева И.Л., Полозков Ю.В., Наливайко В.Л., Марущак А.С.
Белорусский национальный технический университет

Автоматизированный анализ изображений текстильных материалов является одним из способов обнаружения на них различных поверхностных дефектов, в том числе и пиллей (пиллинг). Качество такого анализа в значительной степени зависит от результатов предварительной обработки изображений.

Для сегментации пиллей предлагается использовать метод «ближайшего соседа». При этом в качестве объектов обучающей выборки применяются изображения эталонных (бездефектных) участков текстильного материала. В качестве информативных признаков берутся значения яркости по R, G, B каналам. Мерой близости служит Евклидово расстояние. Результат работы сегментации приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сегментация пиллей на изображении

Как видно из рисунка 1, большинство пиллей были окрашены в черный цвет, т.е. сегментированы на изображении.

Тестирование работы приложения показало, что качество сегментации в значительной степени зависит от качества исходного изображения и структуры анализируемого материала.

Модуль регулирования цен на товары для интернет-магазина

Галынкин И.М., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

Модульное программирование основано на понятии модуля – логически взаимосвязанной совокупности функциональных элементов, оформленных в виде отдельных программных модулей.

Модуль характеризуют:

1 один вход и один выход – на входе программный модуль получает определенный набор исходных данных, выполняет содержательную обработку и возвращает один набор результатных данных, т.е. реализуется стандартный принцип IPO (Input - Process - Output) – *вход-процесс-выход*;

2 функциональная завершенность – модуль выполняет перечень регламентированных операций для реализации каждой отдельной функции в полном составе, достаточных для завершения начатой обработки;

3 логическая независимость – результат работы программного модуля зависит только от исходных данных, но не зависит от работы других модулей;

4 слабые информационные связи с другими программными модулями – обмен информацией между модулями должен быть по возможности минимизирован;

5 обозримый по размеру и сложности программный элемент.

Таким образом, модули содержат определение доступных для обработки данных, операции обработки данных, схемы взаимосвязи с другими модулями.

Разрабатываемый модуль предназначен для автоматического регулирования цены на товары в интернет-магазине. Его преимуществом является то, что нет необходимости в крупных программных продуктах, которые являются закрытыми и не доступными простому пользователю. Модуль является гибким для большого количества пользователей: будь то рядовой интернет-магазин или магазин предприятия.

В основе принятия решений по регулированию цен на товары лежит нечеткая математика. Эксперт выставляет определенные значения мер истинности для значения спроса. Эти величины являются субъективными и вычисляются в диапазоне от нуля до единицы. Таким образом, получаем нечеткий входной вектор спроса на товар, который при перемножении на матрицу нечеткого отношения «спрос-цена», дает нам нечеткий выходной вектор цены.

УДК 519-7

Разработка динамической библиотеки для тестирования распределенной системы хранения данных

Мороз Д.С., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

Тестирование – это процесс, который заключается в проверке соответствия программного продукта или сайта заявленным характеристикам и требованиям, требованиям эксплуатации в различных окружениях, с различными нагрузками, требованиям по безопасности, требованиям по эргономике и удобству использования.

Современным подходом к тестированию является автоматизированное тестирование. Преимущества автоматизации тестирования: повторяемость, быстрое выполнение, меньшие затраты на поддержку, отчеты, выполнение без вмешательства. Коэффициент окупаемости инвестиций (ROI- Return on Investment) является ключевым фактором при внедрении автоматизации, который доказывает эффективность внедрения ее на проекте.

Разрабатываемая библиотека предназначена для написания автоматических тестов с целью тестирования функциональности, предоставляемой распределённой системой хранения данных. Целевой тестируемый программный продукт предназначен для создания, конфигурации распределённого по физическим машинам NAS-кластера и управления им.

NAS-кластер предоставляет доступ конечному (Windows, Linux) пользователю к кластерной файловой системе. Платформой для продукта выступает дистрибутив Linux – CentOS 6.5. NAS-кластер реализует протоколы сетевого доступа к файловой системе, такие как NFSv3, NFSv4 для Linux клиентов и CIFS для Windows клиентов, поддерживает интеграцию с AD и LDAP, а также реализует иную уникальную функциональность.

Внедрение автоматизации на проекте будет включать в себя:

- выбор технологий и средств автоматизации: Python, GIT, Jenkins и т.д.;
- подготовку всех компонентов системы: организацию окружения для непрерывной интеграции, взаимодействие с системой контроля версий, хранение результатов тестов;
- разработку объектно-ориентированной динамической библиотеки с разделением кода на несколько уровней.

Особенности организации документооборота отдела кадров

Дикушин В.В., Пекарчик С.Е.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрены основные особенности организации документооборота в организации и, в частности, в отделе кадров. В современной организации системы электронного документооборота (СЭД) становятся обязательным элементом ИТ-инфраструктуры.

С их помощью повышают эффективность деятельности коммерческие компании и промышленные предприятия, а в государственных учреждениях на базе технологий электронного документооборота решаются задачи внутреннего управления, межведомственного взаимодействия и взаимодействия с населением.

Система управления кадровым делопроизводством позволяет организации отойти от бумажного документооборота, упорядочить все учетные и расчетные процессы, позволяет хранить все данные в единой базе с возможностью полного анализа и генерации отчетности, позволяет избежать ошибок при проведении расчетов.

Требования к системам документооборота отдела кадров: повышение скорости и эффективности работы отдела кадров, снижение времени на обработку информации и оформление кадровых документов, хранение в базе личных данных о каждом сотруднике, составление разнообразных статистических отчетов.

Проблемы, связанные с переходом на СЭД: выбор самой СЭД, занесение в неё и интеграция данных различных структурных подразделений, придание юридической силы электронно-цифровой подписи для возможности подписания документов подобным образом без создания бумажных аналогов.

Особенности построения оптимизационной модели пальца робота в среде ANSYS

Лукашов С.И., Богачук А.М.

Белорусский национальный технический университет

В последние десятилетия прошлого века возникли новые мехатронные системы – манипуляторы. Манипулятором называют пространственный механизм, обычно с открытой кинематической цепью и одноподвижными кинематическими парами, предназначенный для выполнения функций руки человека в составе промышленного робота.

Целью данной работы является выбор рациональных геометрических параметров манипулятора – пневматического пальца, а также наиболее подходящего материала модели, для достижения максимального значения силы удержания детали.

В процессе работы была построена параметрическая геометрическая модель, выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния манипулятора, заданы граничные условия и должным образом настроена зона контакта пальца с деталью, а также проведена оптимизация на основе модели по следующим критериям: интегральное усилие в зоне контакта следует максимизировать, максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу в пальце следует минимизировать.

На рисунке 1 слева представлено деформированное состояние пальца для исходного варианта, справа – то же для оптимального варианта. Напряжения, возникающие внутри пальца, не превышают допустимые на всем диапазоне рабочего давления пальца.

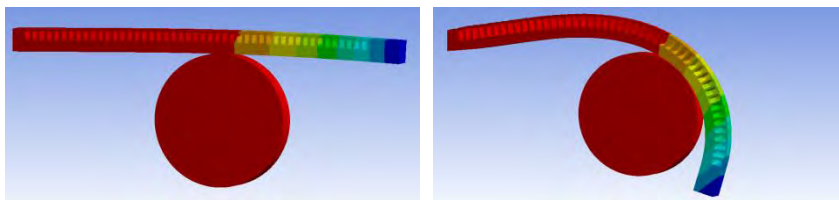


Рисунок 1 – Исходное недеформированное состояние пальца (слева) и палец после приложения давления (справа)

Рассматривая результаты оптимизации, можно сделать вывод о том, что путем незначительных изменений геометрических параметров манипулятора можно добиться более чем двукратного увеличения силы удержания детали, без нарушения целостности рабочего органа манипулятора.

Технологии перехода на IPv6

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в сети Интернет используются как протокол IPv6, так и протокол IPv4. Часть Интернета, построенная на IPv6, состоит из каналов IPv6 и туннелированных каналов через Интернет IPv4.

Поскольку в IPv6 используется новый формат заголовков, IPv4-маршрутизаторы не могут обрабатывать пакеты IPv6. Поэтому организации должны обновить свои маршрутизаторы, переходя на структуру IPv6. Протоколы канального уровня при этом не изменяются, так что коммутаторы и концентраторы второго уровня обновлять не нужно, и компьютеры в локальной сети могут обмениваться данными с помощью установленного сетевого оборудования.

В инфраструктуре маршрутизации, поддерживающей лишь протокол IPv4, для использования IPv6, применяются следующие технологии перехода: использование двойных стеков протоколов и туннелирование.

Основной технологией перехода на IPv6 является архитектура стека TCP/IP нового поколения – Next Generation TCP/IP. Фактически это использование двойных стеков протоколов на конечных узлах сети. Благодаря этой архитектуре компьютеры могут использовать IPv6 для осуществления коммуникаций с клиентами, серверами и сетевыми инфраструктурами, поддерживающими IPv6, и IPv4 для обмена данными с компьютерами, поддерживающими только протокол IPv4.

Протокол туннелирования ISATAP (Intra-site Automatic Tunnel Addressing Protocol) позволяет сети IPv6 осуществлять коммуникации с сетью IPv4 через маршрутизатор ISATAP. При этом узлы IPv4 и IPv6 обмениваются данными путем преобразования адресов из IPv4 в IPv6 и наоборот. Протокол ISATAP предназначен для частных сетей.

Протокол 6to4 создает для IPv6-трафика туннель через IPv4-трафик с помощью маршрутизаторов 6to4. Клиенты 6to4 содержат в IPv6-адресах вложенные IPv4-адреса своих маршрутизаторов. В то время как протокол ISATAP изначально проектировался для интрасетей, протокол 6to4 предназначен для использования в Интернете. Протокол 6to4 можно применять для подключения IPv6-сегментов Интернета через ретранслятор 6to4 даже в том случае, если интрасеть или поставщик ISP поддерживает только IPv4. Протокол туннелирования Teredo позволяет клиентам, расположенным за NAT-устройством IPv4, использовать IPv6 в Интернете. Его нужно применять лишь в тех случаях, когда недоступны другие технологии перехода на IPv6.

УДК 681.324

Программное обеспечение для учета печатных и электронных изданий на кафедре "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем"

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день существует немало систем, позволяющих вести учет публикуемых изданий. К сожалению, ни одна из подобных систем не отражает специфику работы с изданиями на кафедре университета. Часто списки изданий хранятся в отдельных разрозненных документах в неструктурированном виде, что затрудняет формирование отчетов, требования к которым весьма различны. На кафедре «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Белорусского национального технического университета разработана информационно-поисковая система «Учет публикаций». Данная система позволяет вести учет публикаций, облегчает обработку информации: ввод, хранение, поиск, формирование и вывод на печать отчетов, позволяет проводить статистический анализ данных. Для разработки проекта использовалась среда Visual Studio 2013, СУБД Microsoft SQL Server, язык программирования C#. Для работы приложения необходимо, чтобы был установлен пакет обновления .NET FRAMEWORK 4.5. Для работы базы данных – пакет LocalDB. О каждом издании хранятся основные библиографические сведения: автор или авторы, сведения об авторах, наименование издания, вид издания, место издания и издательство, год издания, объем. Возможные виды изданий: монография, сборник научных трудов, стандарт, учебник, конспект лекций, учебное пособие, учебно-методическое пособие, УМК, лабораторный практикум, статья, доклад, тезисы, электронное издание, электронный документ, патент. В качестве подвида издания может быть указана следующая информация – издано за границей, входит в Перечень ВАК Беларуси, напечатано с грифом Министерства образования иностранного государства или Республики Беларусь, напечатано с грифом УМО. Объем издания может представлять собой количество страниц, количество условно-печатных или условно-электронных листов. Процессы ввода и хранения информации в системе обусловлены правилами учета и классификации публикаций на кафедре и в университете. Выходные данные могут представляться в виде отчетов с выборкой публикаций по определенным критериям. Возможен экспорт полученных данных в MSWord, а также обработка статистических результатов и построение графиков.

**Автоматизация контроля и обучения специалистов
в области транспортных перевозок**

Борисова И.М., Захаркевич С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Моделью предприятия, на основе которого разрабатывался программный продукт, выбран Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов «БАМЭ-Экспедитор» [1]. Ежегодно в Центр обращаются более 9 тысяч слушателей. Учебный процесс отвечает национальным и международным стандартам обучения и аккредитован Министерством образования Республики Беларусь. Используются современные методы обучения. Для учебного центра разработана система автоматизации обучения слушателей и регистрации на определённые курсы с автоматической подготовкой документов.

Создано приложение, облегчающее и помогающее в обучении водителей и специалистов в области транспортных перевозок. Оно является дополнительной дистанционной формой обучения, которое сможет дополнительно помочь дистанционно подготовить водителя к экзамену для получения лицензии на автомобильные перевозки.

Автоматизация методического отдела позволяет регистрировать обучаемых, присваивать им группы, составлять необходимые документы и выдавать сертификаты об окончании обучения. Приложение включает в себя учебные материалы к требуемому разделу обучения и прохождение тестов для сдачи экзамена на получение свидетельства об обучении автомобильным перевозкам. Обучаемые смогут в любое свободное время зайти в систему со своего компьютера и потренироваться или изучить материалы по курсу, на котором они обучаются и который нужно будет защитить на экзамене в Госпромнадзоре и в центре. Это увеличит уровень их подготовки и профессиональные знания в сфере автомобильных перевозок и даст возможность заниматься в любое время по своему курсу и освоить специальные учебные материалы.

Литература:

1. <http://www.baif.by/> - официальный сайт Центра “БАМЭ-Экспедитор”
2. <http://window.edu.ru/resource/746/61746> – Белозубов А.В., Николаев Д.Г. Система дистанционного обучения Moodle: Учебное пособие.

Перспективы использования индикатора PROGRESS BAR

Бугай О.В., Бухвалова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Индикатор PROGRESS BAR, используемый обычно для информирования о прохождении операции копирования файлов, можно творчески приспособить для мониторинга процессов во всех сферах человеческой деятельности. Однако следует отметить, что перспективы использования упомянутого индикатора в каждой системе мониторинга имеют свои особенности. Одно дело – учет движения крупногабаритных непродовольственных товаров, другое – реализация мелких изделий при наличии множества торговых мест. В первом случае достаточно заносить в базу данных информацию о единичных сделках, во втором – необходимо, чтобы каждый из кассовых аппаратов автоматически заносил в базу факт реализации отдельных видов изделий и их количество. Информация от каждого из кассовых аппаратов должна оперативно обрабатываться и использоваться менеджментом предприятия.

Иначе обстоит дело с продовольственными товарами, которые к тому же имеют ограниченный срок годности. Здесь по каждому виду товара необходимо фиксировать не только наименование и количество, но и данные о его пригодности в том или ином виде. В таком случае должна быть обеспечена не только возможность считывания штрих-кода, но и данных о пригодности товара. Разумеется, что для снижения запасов товаров с истекшим сроком годности было бы предпочтительней, например, свежий товар продавать по одной цене, а по мере истечения срока годности с определенным интервалом делать соответствующие скидки. Такую систему можно внедрить и в рассматриваемом случае. Это открыло бы перспективы использования систем мониторинга с индикатором PROGRESS BAR. На наш взгляд, творческий подход к мониторингу в каждой сфере позволит гибко управлять стратегией планирования, производства и реализации товаров. Подобная технология уместна не только для производственной деятельности, но и для других видов деятельности. Главное в мониторинге – не допускать утечки информации; в противном случае получаем ложные сведения об исследуемом процессе, а полученные данные не могут способствовать принятию руководством корректных решений по улучшению сложившейся ситуации.

Использование цепочки действий с выделением подблоков

Булавко А. Г.

Белорусский национальный технический университет

Наибольшей проблемой при написании универсальных web-парсеров, является разработка архитектуры, позволяющей оптимально хранить и обрабатывать полученную информацию. Для этого может применяться подход, при котором используются цепочки действий с использованием промежуточных блоков, т.е. после того как парсер получил данные страницы сайта, он начинает к ним последовательно применять действия обработки, в результате выполнения которых из исходного текста страницы выделяются подблоки текста, и последующие действия уже могут быть применены к ним.

Рассмотрим подробнее функционирование данного алгоритма. На входе универсального парсера дан следующий текст

"произвольный_текст

<блок1><поле1>Текст1</поле1><поле2>Текст2</поле2></блок1>".

Цепочка действий состоит из восьми пунктов:

- 1) создать поле B1;
- 2) копировать в поле B1 текст тега "блок1";
- 3) создать поле T1;
- 4) копировать в поле T1 текст тега "поле1" из поля B1;
- 5) создать поле T2;
- 6) копировать в поле T2 текст тега "поле2" из поля B1;
- 7) сохранить поле T1;
- 8) сохранить поле T2;

Важным нюансом, является создание промежуточного поля B1, что позволяет вести поиск не во всем тексте, а только в тексте поля B1, т.е. фактически действия 4 и 6 применяются не к исходному тексту а к полю B1. В случае необходимости к полям T1 и T2 могут быть так же разбиты на более мелкие части. Благодаря своей гибкости данный алгоритм может быть выбран для обработки сложных текстов. Для тестирования быстройдействия алгоритма было разработано тестовое приложение.

На рисунке 1 изображена зависимость времени обработки от объема входящего текста для метода с выделением подблоков и стандартного подхода. Как видно из приведенного выше графика метод с применением промежуточных блоков проигрывает по скорости обработки на текстах маленького объема до 1Кб, однако с возрастанием объема исходного текста эффективность данного метода значительно увеличивается.

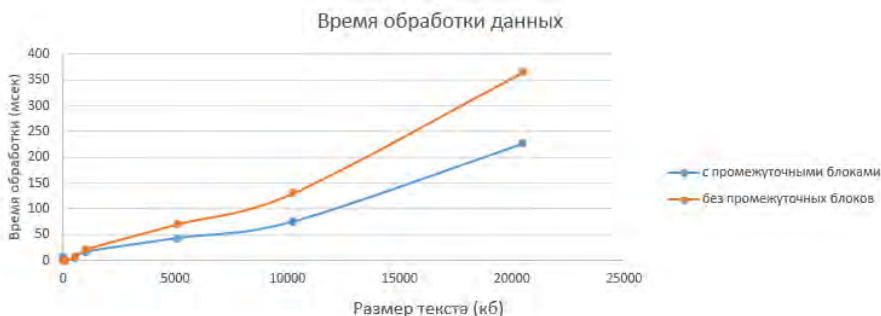


Рисунок 1. Снижение суммарных потерь активной мощности в сети в режиме наибольших нагрузок.

Литература:

1. A language independent web data extraction using vision based page segmentation algorithm [Электронный ресурс] / arxiv — Электронные данные. — Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1310.6637> — Дата доступа: 10.05.2015.
2. Extraction of Flat and Nested Data Records from Web Pages [Электронный ресурс] / arxiv - Электронные данные. Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1002.0139> — Дата доступа: 10.05.2015.

УДК 629.11

Моделирование управления колебаний подвески мобильной машины нейроконтроллером с эталонной моделью

Иванченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Снижение динамической нагруженности мобильных машин при движениях их в изменяющихся дорожных условиях требует использования активных элементов поддрессирования узлов и агрегатов таких объектов. Для изучения и разработки эффективных схем активного поддрессирования транспортных систем необходимы математические и программные модели, поддерживающие различные этапы имитационного моделирования колебательных процессов мобильных машин.

В данной работе представлены математические модели, описывающие динамическое состояние твердотельных систем многоопорных мобильных машин с элементами активного поддрессирования их несущих конструкций, функционирующих в условиях случайной внешней среды.

Для проведения компьютерных экспериментов разработаны программные модули многоопорной колесной машины в среде ADMOS [1] и в системе MatLab + Simulink.

В качестве активной виброзащитной системы поддрессирования одной опоры мобильной машины рассмотрена мехатронная схема, в состав которой входят следующие основные компоненты:

- рабочий орган - исполнительный гидравлический цилиндр;
- блок приводов - усилитель, силовой преобразователь;
- устройство компьютерного управления – нейроконтроллер;
- сенсор-датчик для передачи в устройство управления информации о фактическом состоянии машины.

Приведены результаты управления колебаниями подвески многоопорной машины нейроконтроллером с эталонной моделью.

Литература:

1. Гурский, Н.Н. Моделирование и оптимизация колебаний многоопорных машин: монография / Н.Н. Гурский, Р.И. Фурунжиев. – Минск: БНТУ, 2008. – 296 с.

УДК 681.3

Кооперативная модель реализации многопоточных приложений на многоядерных системах

Карасик О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для решения сложных математических задач на многоядерной системе используются, как правило, специализированные алгоритмы, рассчитанные на многопоточное выполнение, которые дают существенный прирост производительности по сравнению с однопоточными реализациями. Сами алгоритмы фокусируются на решаемой задаче и не учитывают особенности процесса планирования и взаимодействия потоков, используя механизм, предоставляемый операционной системой по умолчанию. Кооперативная модель выполнения потоков (КМВП) может учитывать специфику решаемой задачи и способна существенно повысить производительность многопоточного приложения.

С целью подтверждения сказанного, авторами проведены эксперименты с использованием многоядерной системы следующей конфигурации: 2 физических процессора Intel®Xeon®CPU E5520 с 4 ядрами каждый, работающими с частотой 2.26 GHz, способные обслуживать по технологии Hyper-Threading Technology 16 потоков выполнения одновременно. Каждый физический процессор имеет доступ

к локальной и удаленной памяти, реализуемый посредством технологии NUMA. Оперативная память объемом 16 GB работает с частотой 1GHz. На многоядерной системе установлена операционная система Windows Server 2012 R2 (64 бит). Для реализации КМВП использован механизм User Mode Scheduling. В качестве экспериментальной выбрана задача решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) блочно-параллельными методами Гаусса (методом горизонтальных полос и методом горизонтальных циклических полос), при этом рассмотрены четыре алгоритма – два без использования КМВП и два с использованием КМВП. Эксперименты проводились на СЛАУ размером 15872 строки.

Результаты экспериментов показали, что использование КМВП дает прирост производительности 18% для метода горизонтальных полос при сокращении времени выполнения с 446.7с для 1984 потоков до 375.8с для 3968 потоков, и дает прирост производительности 131.7% для метода горизонтальных циклических полос при сокращении времени выполнения с 881.2с для 992 потоков до 380.3с для 3968 потоков по сравнению с многопоточными реализациями, не использующими КМВП. Это свидетельствует о значительной эффективности кооперативной модели выполнения потоков, которая учитывает особенности решаемой задачи.

УДК 681.3

Многообразие способов представления списков в программах на языке «Пролог»

Ковальков А.Т., Ковалькова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Список на «Прологе» – это последовательность элементов, разделенных запятыми и заключенных в квадратные скобки, например, [1, 2, 3, 4, 5]. Список в программах на Прологе может быть представлен многими способами. Некоторые примеры представления списков: **L** – именем, **L=[1,2,3,4,5]**; **[Голова|Хвост]** – в виде головы и хвоста, **Голова=1, Хвост=[2,3,4,5]**; **[]** – пустой список; **[X]** – список из одного элемента; **[X1,X2]**–список из двух элементов; **[_X2]** – список из двух элементов, значение первого элемента неважно; **[X1,X2|_]** – в голове списка два элемента и произвольный хвост; **[_T]** – голова списка произвольная и т.д. Выбор рационального способа представления списка при программировании процедуры позволяет сократить код, избавиться от вспомогательных процедур, сделать процедуру более понятной. Рассмотрим хотя бы один пример. Требуется удалить предпоследний

элемент списка. Имея набор элементарных процедур по работе со списками, для решения поставленной задачи пришлось бы выполнить последовательно следующие процедуры: выделить последний элемент с сохранением его в переменной, удалить последний элемент, затем в полученном списке опять удалить последний элемент и добавить в конец полученного списка без двух последних элементов сохраненный последний элемент исходного списка, т.е.

goal

```
ввод_списка(L),
выдел_послед_эл(L,Z),
удал_послед_эл(L,L1),
удал_послед_эл(L1,L2),
добавл_эл_в_конец(Z,L2,Res),
write("Результат=",Res),nl.
```

Однако задачу можно решить сразу одной процедурой, если в процедуре удаления последнего элемента списка

```
удал_послед_эл([_],[]). % удаляется последний элемент
```

```
удал_послед_эл([H|T],[Y|T1]):-удал_послед_эл(T,T1).
```

изменить граничное условие (первое предложение процедуры)

```
удал_послед_эл([_,Z],[Z]). % удаляется предпоследний элемент
```

```
удал_послед_эл([H|T],[Y|T1]):-удал_послед_эл(T,T1).
```

УДК 681.3.06

Решатель судoku

Ковальков А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Судoku – увлекательная логическая игра. Классический судoku представляет собой квадрат 9x9 клеток, который в свою очередь разбит на 9 малых квадратов размером 3x3. Часть клеток судoku изначально заполнено цифрами из диапазона от 1 до 9. Требуется пустые клетки заполнить цифрами от 1 до 9 так, чтобы в каждой горизонтали, вертикали и каждом малом квадрате не было повторений (все цифры использовались по разу). Единого алгоритма решения судoku нет, поэтому были разработаны несколько отдельных алгоритмов, каждый из которых заполняет часть пустых клеток и передает полученное новое состояние матрицы в качестве исходного следующему алгоритму, пока не будут заполнены все клетки, если это достижимо.

Реализованы следующие алгоритмы: проверяются все пустые клетки и если окажется, что в клетке может быть только одно значение из девяти цифр, то она заполняется этой цифрой; перебираются цифры

от 1 до 9 в каждом из девяти малых квадратов и заполняются пустые клетки, где соответствующая цифра может быть единственной; проверяются пустые клетки в каждой горизонтали и вертикали и заполняются те клетки, в которых возможно только одно значение. В зависимости от сложности Судоку (простые, средней сложности, сложные и особо сложные) решение можно получить уже после последовательной обработки исходной матрицы одним, двумя, тремя или четырьмя алгоритмами.

Если решение не достигнуто, то это означает, что в полученной промежуточной матрице нет ни одной пустой клетки, в которой может быть только одна цифра из множества от 1 до 9. В этом случае находится список тех клеток, в которых возможны только два значения цифр, в такую клетку подставляем одно, а если решение не найдено, то второе из возможных значений, и продолжаем решение с помощью рассмотренных ранее алгоритмов. Правильность решения проверяется следующим образом: сумма цифр всех клеток матрицы должна быть 405; сумма цифр каждой горизонтали, каждой вертикали и каждого малого квадрата должна быть равна 45; цифры каждой горизонтали, каждой вертикали и каждого малого квадрата должны принадлежать множеству чисел от 1 до 9.

Программа разработана на языке логического программирования «Пролог»; предполагается ее совершенствование.

УДК 681.142

Методика проведения инспекции программного кода

Моцук В.Н., Скудняков Ю.А.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Инспекция кода (обзор кода, code review) – систематическая проверка исходного кода программы с целью обнаружения и исправления ошибок, которые остались незамеченными в начальной фазе разработки [1]. Инспекция кода является одним из наиболее эффективных методов поиска и устранения дефектов программы и обучения персонала.

Если команда занимается сразу несколькими небольшими проектами, на каждом из которых задействованы по 1-2 разработчика, существующие методики инспекции далеко не всегда являются эффективными. Главной задачей описываемой методики является обучение персонала. Методика является неформальной, т.е. не требует выполнения каких-либо строгих организационных моментов. Команду

разработчиков необходимо разделить на две группы: опытные разработчики и начинающие. Идея методики состоит в том, чтобы код, написанный опытными разработчиками, просматривали начинающие и наоборот. Таким образом, с одной стороны, у начинающих разработчиков будет пример, как нужно писать хороший код, и, с другой стороны, написанный ими код будет проверен и оценен более опытными коллегами.

Для автоматизации процесса разрабатывается программное средство, которое позволит подобрать проверяющего для опубликованного кода по нескольким критериям (соответствие технологий, занятость, уровень мастерства и другие), а также будет предлагать различные инструменты обратной связи (комментарии под любой из строчек кода, email-оповещение сразу после того, как код будет просмотрен).

Литература:

1. Макконел, С. Совершенный код. Практическое руководство по разработке программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2007. – 896 с.

УДК 629.11

Управление движением мобильной машины нейроконтроллером на основе модели авторегрессии со скользящим средним

Гурский Н.Н., Нажжарин М., Радкевич А.С.

Белорусский национальный технический университет

При проведении исследований с целью достижения требуемых динамических показателей транспортных средств, в частности, большегрузных машин, необходимы математические и компьютерные модели динамики механических систем, силовых модулей, а также контроллеров управления такими системами.

Обычно на разных уровнях и для управления отдельными элементами и узлами наиболее широко используются PID-регуляторы. Вместе с тем, реальные элементы и узлы обладают нелинейными параметрами и характеристиками. В этом случае PID-регуляторы либо обеспечивают работу системы не в полной мере, либо вообще не обеспечивают работу системы. Наиболее приемлемым аппаратом для управления такими объектами могут служить искусственные нейронные сети [1]. В основе нейроинтеллекта лежит нейронная организация искусственных систем, которая имеет биологические предпосылки. Способность биологических систем к обучению, самоорганизации и адаптации обладает большим преимуществом по сравнению с современными вычислительными системами.

В данной работе рассматриваются модели поступательного прямолинейного движения мобильной машины, силового модуля – двигателя и приводится сравнительный анализ управления движением данного объекта с помощью трех контроллеров: НС-нейроконтроллера на основе искусственной нейронной сети, PID-контроллера и контроллера, синтезированного на основе эталонной модели с использованием принципов решения обратных задач динамики.

Литература:

1. Гурский, Н.Н. Моделирование и оптимизация колебаний многоопорных машин: монография / Н.Н. Гурский, Р.И. Фурунжиев. – Минск: БНТУ, 2008. – 296 с.

УДК 681.51.033.26

**Обеспечение заданных показателей качества
интервальной динамической системы**

Несенчук А.А.

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Опишем динамику системы характеристическим полиномом вида

$$p(s) = s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n, \quad (1)$$

где a_j – вещественные коэффициенты, $j = \overline{1, n}$, $s = \sigma + i\omega$.

Рассматривается задача размещения семейства корней характеристического уравнения динамической системы порядка n с неопределенностью в заданной области качества Q в плоскости корней s . Область Q ограничивает запас устойчивости системы и задается границами $\beta_1, \beta_2, \beta_{n-2}$ равной степени устойчивости в зависимости от степени полинома (1). С целью вычисления искомым коэффициентов (1), обеспечивающих заданное расположение семейства корней используется расширенный корневой годограф [1] системы. Каждый коэффициент a_j вычисляется на основе j -го уравнения расширения (1), начиная с $j=1$.

Запишем расширение E_n полинома $p(s)$:

$$E_n = \{p_k(s) = s^k + a_1 s^{k-1} + \dots + a_{k-1} s + a_k\}, \quad (2)$$

$$\text{где } k = \overline{1, n}, \quad p_n(s) = p(s) \text{ и } p_{k-1}(s) = p_k(s) - a_k. \quad (3)$$

Выражение (3) является уравнением начальных точек свободного годографа $p_k(s)$. На основе (3) сформулируем следующие утверждения.

Утверждение 1. Корневой годограф полинома $p_{k-1}(s)$ относительно любого из его коэффициентов a_j представляет собой траектории (геометрическое место) начальных точек свободного годографа $p_k(s)$.

Утверждение 2. Если полином $p_{k-1}(s)$, который является порождающим по отношению к полиному $p_k(s)$, асимптотически

устойчив, то все начальные точки свободного корневого годографа $p_k(s)$, за исключением нулевой, располагаются в левой полуплоскости корней.

Следовательно, для настройки полинома (1) с целью обеспечения заданного качества достаточно найти в расширении (2) полинома (1) устойчивый полином степени $k = l$ ближайшей к n и настроить последовательно каждый коэффициент a_j полинома (1) в интервале $l < j \leq n$ посредством настройки свободного члена a_k соответствующего k -го полинома расширения (2), приняв $k = j$. При этом для каждого полинома расширения степени k решается задача устойчивости относительно соответствующей границы $\beta_k = \beta_j$

Литература:

1. Несенчук, А.А. Корневой метод синтеза устойчивых полиномов путем настройки всех коэффициентов / А.А. Несенчук // Автоматика и телемеханика. 2010. № 8. С. 13–24.

УДК 681.142.2

Решение проблемы слабого связывания компонентов в программной среде

Павлунин В. М., Скудняков Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Возрастающая сложность современных программных продуктов требует четкой организации структуры кода приложения, а именно разделение его на переиспользуемые компоненты. При этом между компонентами возникают зависимости, в которых один класс предоставляет услуги, а другой – их потребляет. Чем больше один компонент зависит от другого, тем сложнее в будущем поддерживать их работу, в случае, когда нужно внести изменения в работу зависимого компонента.

Для решения этой проблемы используется такой паттерн проектирования, как внедрение зависимостей. Суть его состоит в том, что зависимые объекты не создаются напрямую классами, их использующими, а достаются из стороннего источника, так называемого контейнера внедрения зависимостей (DI контейнеры). Это сторонние библиотеки, которые предоставляют API для внедрения зависимостей. Для настройки DI контейнеров используются основные три подхода: конфигурационные XML файлы (с расширением `.config`), регистрация с использованием кода и регистрация с использованием конвенций.

Вместе со взятием на себя роли по созданию зависимых компонентов, контейнеры также управляют их жизненным циклом, тем самым устраняя проблемы с утечками памяти, и добиваясь максимально

возможной производительности приложения. К основным преимуществам использования внедрения зависимостей относятся: уменьшается связность классов; увеличивается переиспользование кода; улучшается поддерживаемость кода; улучшается тестируемость приложения. Исследования по влиянию паттерна внедрения зависимостей на производительность и тестируемость приложения производились на платформе .NET с использованием программного языка C# и DI контейнера Autofac. При всех очевидных достоинствах использования контейнеров внедрения зависимостей существуют некоторые недостатки: необходимость изучения паттерна “внедрение зависимостей”; дополнительная нагрузка на производительность системы, связанная с использованием дополнительных сторонних библиотек; неправильное использование принципов обратимости контроля может принести больше вреда, чем пользы вашему приложению.

УДК 681.3

Иерархическая структура представления знаний студента в обучающей системе на основе нечетких множеств

Попова Ю.Б., Бураковский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Знания студента по некоторому предмету можно представить в виде иерархии данных, имеющих алгоритм (механизм) интерпретирования. Каждый элемент такой иерархии (знания конкретный терминов, определений, формул и т.д.) с точки зрения обучающей системы является концептом – структурной единицей представляемых данных.

В таком случае проектируемые знания, определенные программой курса, можно представить как совокупность всех концептов для лекций, практических занятий, семинарских, тестов и прочее. Для определения степени принадлежности знаний студента в конкретном концепте предлагается рассматривать этот концепт как нечеткое подмножество множества знаний преподавателя. Такой подход позволяет выполнять операции без потерь точности, в отличие от привычного подхода на основе рейтингов/оценок. Это достигается за счет использования характеристических функций нечетких множеств, а также операций над нечеткими множествами. Для получения значений на нижних уровнях иерархии используется среднеарифметическое значение функций принадлежности:

$$\mu_{\text{лек } k} = \frac{1}{n} \sum \omega_{\text{лек } i} \mu_{\text{лек } i}. \quad (1)$$

На более высоких уровнях иерархии оценивание успеваемости производится путем композиции нечетких функций принадлежности

$$\mu_{\text{тек}} = \omega_{\text{лек}}\mu_{\text{лек}} + \omega_{\text{прак}}\mu_{\text{прак}} + \dots, \quad (2)$$

где ω - весовой коэффициент концепта, заданный при проектировании предметной области, μ - характеристическая функция каждого концепта.

Характеристические функции также задаются преподавателем в момент проектирования предметной области и зависят от типа концепта – лекции, лабораторные работы, практические, тесты.

Данный подход предоставляет большие возможности для построения гибкой иерархической системы оценивания усвоения учебного материала, учитывая взаимосвязи на различных этапах обучения. Использование характеристической функции для оценивания уровня знаний позволяет сделать менее категоричным подход к определению знаний студента, а также предоставить возможность преподавателю изменять подход к оцениванию каждого концепта.

УДК 681.3

Декомпозиция логической системы на части по сложным условиям неопределенности

Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Не полностью определенная логическая система [1] описывается выражениями вида (fd) , где f – логическая (булева) функция, зависящая от переменных x_1, \dots, x_n ; d – характеристическая булева функция области определенности, также зависящая от x_1, \dots, x_n . Инверсия $\neg d$ функции описывает область неопределенности. Если $d=x$, то выражение (fd) упрощается до выражения $(f_{x=1}|x)$, где $f_{x=1}$ – остаточная функция, получаемая при подстановке значения 1 вместо переменной x . Если $d=\neg x$, то выражение (fd) упрощается до выражения $(f_{x=0}|\neg x)$, где $f_{x=0}$ – остаточная функция, получаемая при подстановке значения 0 вместо переменной x . Для двухместных булевых операций, сводящихся к конъюнкции \wedge , и произвольных булевых функций g и h выполняется:

$(f_{g=1, h=1} | g \wedge h)$, где $f_{g=1, h=1}$ – остаточная функция при $g=h=1$;

$(f_{g=1, h=0} | \neg(g \rightarrow h))$, где $\neg(g \rightarrow h) = g \wedge \neg h$ – инверсия импликации;

$(f_{g=0, h=1} | \neg(g \leftarrow h))$, где $\neg(g \leftarrow h) = \neg g \wedge h$ – инверсия обратной импликации;

$(f_{g=0, h=0} | g \downarrow h)$, где $g \downarrow h = \neg g \wedge \neg h$ – стрелка Пирса.

Для следующих четырех двухместных булевых операций, используемых в качестве d и сводящихся к дизъюнкции \vee , имеют место следующие декомпозиции:

$$(f|g\vee h) = g\&(f|g) + \sim g\&(f|g\wedge h);$$

$(f|g\leftarrow h) = g\&(f|g) + \sim g\&(f|g\wedge \sim h)$, где $g\leftarrow h = g\vee \sim h$ – обратная импликация;

$$(f|g\rightarrow h) = \sim g\&(f|\sim g) + g\&(f|g\wedge h), \text{ где } g\rightarrow h = \sim g\vee h \text{ – импликация;}$$

$$(f|g/h) = \sim g\&(f|\sim g) + g\&(f|g\wedge \sim h), \text{ где } g/h = \sim g\vee \sim h \text{ – штрих Шеффера.}$$

Здесь ‘ \sim ’ – частичная инверсия; ‘ $\&$ ’ – частичная конъюнкция; ‘+’ – частичная дизъюнкция [1]. Примечательно, что правые части разложений используют для описания области определенности d только конъюнкцию. Все продукты разложений проще исходной функции f . Для более сложной характеристической функции $d = c\wedge g\vee \sim c\wedge h$ выполняется разложение:

$$(f|c\wedge g\vee \sim c\wedge h) = c\&(f|c\wedge g) + \sim c\&(f|\sim c\wedge h).$$

Его частным случаем является разложение по операции исключающее или:

$$(f|c\oplus g) = c\&(f|c\wedge \sim g) + \sim c\&(f|\sim c\wedge g).$$

Литература:

1. Прихожий А.А. Частично определенные логические системы и алгоритмы // Минск: БНТУ. – 2013. – 343 с.

УДК 681.3

Генетический алгоритм разбиения коллектива программистов на группы

Прихожий А.А., Ждановский А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для оптимизации процессов организации и управления человеческими ресурсами предложено следующее решение [1], реализованное с помощью генетического алгоритма и основанное на распределении программистов по рабочим группам. Распределение учитывает несколько важнейших факторов: производительность программистов, повышение или понижение производительности при их совместной работе, дополнительные затраты на интерфейсы между программистами и между рабочими группами.

Пусть дано множество программистов $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ и общее время T работы над проектом. Задача заключается в разбиении множества программистов на множество групп $G = \{g_1, \dots, g_m\}$. Производительность труда определяется величиной r_p , равной количеству условных человеко-

часов, выполняемых программистом p за один астрономический час. Величины a_{pq} при $p, q \in P$, $p < q$ показывают изменение скорости работы программистов p и q в процентах при включении их в одну группу. Они позволяют рассчитать матрицу $C = \{c_{pj} | p, j \in P\}$ значений уменьшения/увеличения времени работы над проектом пар программистов. Увеличение времени ΔT_g^{in} на взаимодействие программистов в группе g зависит от числа $|g|$ программистов. Увеличение времени ΔT^{among} на взаимодействие между группами зависит от числа m групп. Общее физическое время F работы над проектом можно определить следующей формулой:

$$F = \frac{T}{\sum_{g \in G} \left[\sum_{p \in g} \left(r_p + \sum_{\substack{j \in g, \\ j > p}} c_{pj} \right) \right]} + \Delta T^{among} + \sum_{g \in G} \Delta T_g^{in}.$$

Время F позволяет оценить значение фитнес функции хромосом в генетическом алгоритме. Разработано программное обеспечение, реализующее предложенный генетический алгоритм. Проведенные вычислительные эксперименты показали сокращение на 5-10% времени работы над программистским проектом.

Литература:

1. Прихожий А.А. Конспект лекций по дисциплине «Моделирование и оптимальное проектирование технических систем». – Минск: БНТУ, 2013, с. 58-69.

УДК 629.11

Модели и алгоритмы оптимизации каналов связи компьютерной сети

Скудняков Ю.А., Гутько Д.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время более 80% компьютеров объединены в различные информационно-вычислительные сети – от малых локальных сетей до глобальных сетей типа Internet. Уровень развития средств передачи и обработки данных достиг такого этапа, когда стало возможным дальнейшее существенное улучшение технико-экономических показателей компьютерных сетей – не только за счет совершенствования технических параметров вычислительных средств, но и за счет моделей и алгоритмов оптимизации компьютерных каналов связи.

Целью данной работы является постановка и решение актуальной научно-практической задачи по разработке инструментария, то есть методики алгоритмического аппарата (математических моделей и алгоритмов) анализа, оценки и оптимизации каналов связи компьютерной сети.

В ходе работы были проанализированы различные методы, модели и алгоритмы, которые направлены на решение проблемы надежности, пропускной способности, оптимизации режимов обработки данных по каналам связи. Были сформулированы основные проблемы и пути решения проектирования оптимальных сетевых топологий с помощью Branch-and-price method [1]. Проведен сравнительный анализ алгоритмов маршрутизации и выбран оптимальный Path Switching Algorithm [2]. В результате анализа были разработаны методики алгоритмического аппарата анализа, оценки и оптимизации каналов связи компьютерной сети передачи данных.

Литература:

1. Vanderbeck, F. Branching in branch-and-price: a generic scheme. Mathematical Programming, – Springer Berlin/Heidelberg, Berlin, Germany, pp. 1–46, 2010.
2. Thai, My T., Pardalos, M. Optimization in Complex Networks: Theory and Applications, – Springer New York/Heidelberg, London, pp. 1–310, 2013.

УДК 681.3

Мониторинг технического состояния мобильных объектов

Смольников М. А., Скудняков Ю. А., Гурский Н.Н.
Белорусский национальный технический университет

Постоянно растущие требования к повышению экономичности, долговечности, надежности и других эксплуатационных характеристик транспортных средств и других мобильных объектов невозможно выполнить без разработки систем непрерывного мониторинга их технического состояния.

В работе в настоящий момент представлены сравнительные характеристики существующих систем мониторинга мобильных объектов, методы построения распределенных одноранговых сетей и рассмотрены принципы и основные способы организации беспроводной передачи данных на значительные расстояния.

В настоящий момент системы мониторинга используются на коммерческом автомобильном транспорте с целью оптимизации расходов на ГСМ, дорожных сборов и других расходов, однако их

можно также использовать для своевременного информирования водителя и диспетчера о неисправностях транспортного средства.

Кроме того, системы мониторинга могут быть использованы в подвижной исследовательской аппаратуре, например, в метеозондах для сбора не только внутренних данных о состоянии объекта, но и получения информации с датчиков, исследующих окружающую среду.

Для обеспечения надежности процесса передачи телеметрической информации, требуется разработка моделей взаимодействия блока контроля и управления с централизованным веб-сервером. Для целей передачи данных требуется разработка моделей построения распределенной одноранговой беспроводной сети, узлами которой являются устройства контроля и управления, и имеющей всего несколько точек выхода в сети передачи данных общего пользования. Передача данных в такой сети может осуществляться по принципам, сходным с принципами файлового обмена в сетях P2P (таких, как torrent-сети).

Исследование аналогов также показало важность оптимизации алгоритмов обработки поступающих данных централизованным сервером с целью увеличения эффективности и недопущения отказов в обслуживании. Для обработки телеметрической информации и представления ее в виде, удобном для пользователя, могут использоваться общие методы работы с большими данными.

УДК 681.3

Повышение эффективности управления вычислительными ресурсами в grid

Фролов О.М.

Белорусский национальный технический университет

Алгоритм Backfill планирования выполнения работ в grid является одним из наиболее эффективных, популярных и практически используемых средств управления распределенными ресурсами. Он способен планировать приоритетные и обратно заполненные (фоновые) работы, требующие для своего выполнения сразу нескольких процессоров. После оптимизации приоритетных работ он выполняет дополнительную оптимизацию обратно заполненных работ. Так, на рис.1а показан план обратного заполнения работ, который не является оптимальным, он уступает плану, изображенному на рис.1б. Черной заливкой показаны приоритетные работы, штриховой – обратно заполненные работы.

Предлагается вероятностная модель планирования выполнения работ, в основе которой лежит оценка следующих вероятностей: вероятности планирования работы в качестве приоритетной задачи; вероятности планирования работы в качестве обратно заполненной задачи; вероятности завершения выполняемой работы в данный момент времени; вероятности освобождения заданного количества процессоров выполняемыми работами в данный момент времени; вероятности возникновения события освобождения работами процессоров. Для каждой из вероятностей получены численные соотношения, выполняющиеся при определенных допущениях.

Разработано программное обеспечение, позволяющее для множества выполняемых работ и списка работ, поставленных в очередь на выполнение, оценивать вероятности выбора работ из очереди с целью их постановки на выполнение в качестве приоритетной работы либо в качестве обратно заполненной работы. Проведены вычислительные эксперименты, показывающие способность предлагаемой вероятностной модели улучшить работу алгоритма Backfill в плане загрузки ресурсов распределенной вычислительной системы.

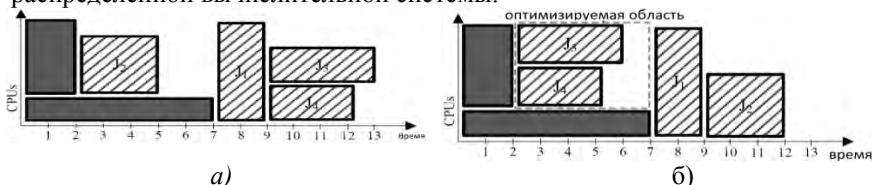


Рис.1. Планы выполнения работ, построенные алгоритмом Backfill
Работа выполнена при участии и под руководством А.А. Прихожего.

УДК 681.3

Защита локальной сети, необходимый минимум

Шевчик Р. В.

Белорусский национальный технический университет

При построении безопасной локальной вычислительной сети (LAN) следует минимизировать количество служб и сервисов, предоставляемых сетью, используемых клиентами из сети Интернет. Архитектура LAN в обязательном порядке должна предусматривать наличие DMZ — демилитаризованной зоны, контролируемой межсетевым экраном. Крайне желательно наличие NAT (система переадресации выполняет функцию сокрытия адресов внутренних систем). Установка самых последних обновлений строго обязательна.

Даже если система имеет самые последние обновления, с момента обнаружения новой уязвимости и до момента выхода заплатки «умные люди» успевают написать эксплоит или создать «червя». Как на сервере, так и на рабочих станциях должно быть установлено антивирусное ПО со свежими базами. Если до сих пор используется файловая система FAT32, ее следует сменить на NTFS. NTFS более безопасна: она позволяет разграничить доступ к ресурсам ПК и значительно усложнит процесс локального и сетевого взлома паролей базы SAM.

В свойствах подключения крайне желательно оставить только самое необходимое, а именно TCP/IP. «Службу доступа к файлам и принтерам сети Microsoft» необходимо отключить (касается машин, не предоставляющих SMS-доступ), чтобы не облегчать задачу всем любителям «дефолтовых» C\$, D\$, ADMIN\$ и т.д. Все неиспользуемые сервисы желательно выключить. Это не только повысит производительность вашей системы, но и автоматически закроет множество открытых портов.

Удалите лишние учетные записи (такие, как HelpAssistant и SUPPORT_388945a0), запретите локальный и сетевой вход для всех пользователей, оставив только используемых на данной машине. Пользователя «Администратор» лучше переименовать. Открытые по умолчанию ресурсы C\$, D\$, ADMIN\$ желательно отключить (созданием параметра DWORD по адресу HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Services\lanmanserver\parameters).

В локальной сети не стоит забывать и о снифферах, с помощью которых ваши пароли могут стать «общественным достоянием» (не секрет, что пароли таких сервисов, как FTP и Telnet, передаются по LAN в открытом виде). Используя сниффер, даже зашифрованные пароли легко взломать. Выход — построение локальной сети не на хабах (сетевые пакеты, которые получает хаб, распределяются по всем адресам независимо от места назначения), а на свитчах (используется технология доставки пакетов «по адресу»). Применение свитчей значительно усложняет процесс перехвата сетевых паролей и делает злоумышленника «видимым» (перехват паролей возможен даже при использовании свитчей, но в этом случае машина злоумышленника вынуждена генерировать ARP-пакеты — технология ARP-poisoning), используя стандартный набор для антисниффинга.

Литература:

1. Взлом и защита локальной сети [Электронный ресурс] / nestor — Электронные данные. — Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/kg/2007/29/kg72917.html> — Дата доступа: 9.05.2015.

УДК 004.324

Возможности применения отладочной платы ZedBoard для изучения принципов проектирования цифровой аппаратуры

Щербаков А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время задача проектирования аппаратной части электронных устройств стоит не только перед инженерами конструкторских бюро крупных полупроводниковых производств, таких как Интеграл или Intel, но и перед работниками малых и средних предприятий, в задачу которых входит создание узкоспециализированных встраиваемых устройств с экстремальными параметрами быстродействия. Задача создания таких устройств при сохранении приемлемой стоимости и сроков проектирования решается с использованием элементной базы в виде микросхем FPGA, а также применения для их программирования языков описания аппаратуры, таких как Verilog и VHDL.

Изучение принципов проектирования цифровых устройств в вузе может проходить как при помощи компьютерного моделирования, так и с применением отладочных плат, наглядно демонстрирующих функционирование спроектированного устройства.

Отладочная плата ZedBoard построена на основе системы на кристалле Xilinx Zynq-7020, которая включает в себя двух ядерное процессорное ядро ARM Cortex-A9 и блок FPGA Artix-7. Наличие в кристалле процессорного ядра позволяет Zynq-7020 рассматривать как высокоскоростной микропроцессор с периферийными блоками, создаваемыми программистом на языках HDL. Наличие полноценного процессорного ядра уровня приложений Cortex-A9 позволяет создавать устройства, работающие под управлением операционной системы Linux или Android, или разрабатывать на Си или С++ устройства StandAlone работающие без задействования операционной системы.

Отладочная плата ZedBoard может быть использована для изучения базовых принципов работы цифровой схемотехники. Наглядная работа логических элементов, счетчиков, дешифраторов и т.д. может быть продемонстрирована при помощи имеющихся на отладочной плате набора светодиодов и переключателей. Схема может быть разработана с использованием графического ввода в пакете САПР Xilinx ISE. Изучение студентами возможности применения языков Verilog и VHDL можно вести с помощью имеющихся периферийных устройств VGA, USB, Gigabit Ethernet. Например, использовать Gigabit Ethernet для изучения принципов шифрования и анализа интернет-трафика аппаратными

средствами. На плате ZedBoard имеется набор разъемов, позволяющий подключать пользовательские цифровые периферийные устройства. Это позволяет создать лабораторный макет, моделирующий задачи от управления “умным домом” до задач цифровой обработки сигналов.

УДК 629.11

Недостатки протокола IPv6, препятствующие быстрому переходу на него

Ясюкевич П.П., Скудняков Ю.А.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Несмотря на бурное развитие Интернет-технологий на сегодняшний день, в этой области возникло некоторое отставание от прогресса: протокол IPv4 исчерпал себя, но темпы внедрения IPv6, призванного решить проблему предыдущего протокола, оставляют желать лучшего. На это есть несколько причин: отсутствие обзримой выгоды для конечного пользователя, необходимость затрат при внедрении (обучение специалистов, замена устаревшего оборудования и необходимость вносить изменения в инфраструктуру), а также проблемы, связанные с безопасностью конечного пользователя.

Поскольку пользователь сети Интернет самостоятельно решает, нужна ли ему поддержка нового протокола, то на провайдера возлагается задача доказать пользователю, что переход на протокол IPv6 необходим и что в переходе будет больше плюсов, чем минусов. В основном эта проблема касается уже существующих абонентов, так как новых пользователей можно подключать уже с поддержкой нового протокола. Во-вторых, провайдерам, уже длительное время находящимся на рынке Интернет-услуг, нужно подготовить инфраструктуру: внести изменения в схему функционирования сети, заменить оборудование, не поддерживающее новый протокол, и переписать программное обеспечение биллинговых систем, что требует достаточно много затрат. В-третьих, нужно преодолеть проблемы, возникающие при отказе от трансляции адресов (NAT), в частности, проблему непосредственной доступности абонента в сети Интернет.

Несмотря на большие достижения в области Интернет-технологий, развитие «Интернета вещей» затягивается из-за медленного внедрения протокола IPv6.

Литература:

1. Шайбаков, В.В, Нахли, Ф.Х. IPv6 в Беларуси: сегодня или завтра? // Веснік сувязі. – 2014. – № 5. – С.17-19.

Применение SCORM в системе управления учебным процессом

Яцынович С.В., Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет

Индустрия электронного обучения продолжает разрабатывать новые системы для создания и поддержки используемых данных, вследствие чего стало трудно поддерживать совместимость между приложениями, использующими различные методы и инструменты для создания контента. Для решения этой проблемы существует стандарт электронного обучения SCORM (Sharable Content Object Reference Model – эталонная модель объектов переносимого контента, англ.).

Основная идея SCORM: курс представляет собой набор объектов, описанных определенным образом; объекты самостоятельны, самоценны, могут быть выделены из курса и использоваться отдельно от него. Для того чтобы использовать SCORM, система управления учебным процессом (LMS) должна поддерживать возможность открытия курса согласно стандарту. Курс открывается как веб-страницы, а взаимодействие SCORMобъекта и LMS устанавливается через API, которое должно быть реализовано на стороне системы (рисунок 1).

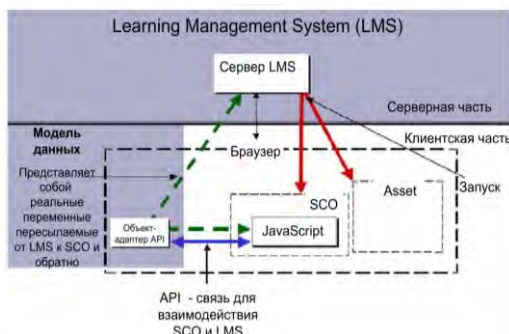


Рисунок 1 – Схема взаимодействия SCORM и LMS

Возможность применения стандарта SCORM позволяет создавать учебные курсы в одних LMS, а использовать в других, что значительно экономит время преподавателей и делает разработанные курсы более универсальными и общедоступными. В настоящее время этот стандарт реализован в LMS, разработанной и используемой на кафедре «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» БНТУ, и апробируется в учебном процессе для подготовки специалистов в области информационных технологий.

Металлургические технологии

Алгоритм совершенствования режимов непрерывной разливки стали

Кабишов С. М., Менделев Д. В., Ратников П. Э., Румянцева Г. А.
Белорусский национальный технический университет

На процессы формирования кристаллической структуры непрерывнолитой заготовки оказывает влияние значительное число факторов: чистота расплава от вредных примесей и газов; температура перегрева расплава и теплофизические свойства стали; интенсивность охлаждения поверхности заготовки; склонность к ликвации легирующих элементов и примесей; интенсивность циркуляции расплава в жидком ядре заготовки на различных стадиях кристаллизации; момент приложения и интенсивность внешних динамических воздействий (ЭМП, «мягкое» обжатие, вибровоздействие и др.). Выделить наиболее важные среди них сложно, так как изменение одного ведет к изменению воздействия другого фактора. По этой причине решение задачи затвердевания многокомпонентных сплавов требует учета явлений тепло- и массопереноса, а также гидродинамики жидкого ядра заготовки. Применение такой модели позволит определить, какие параметры оказывают наиболее заметное влияние на качество литой стали и при необходимости усовершенствовать действующие режимы разливки.

В общем случае с целью оптимизации режимов разливки сталей в условиях машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) следует выполнить исследования, включающие следующие этапы:

1. Анализ динамики затвердевания стали в процессе перемещения слитка по разливочной дуге. Для решения указанной задачи используется физико-математическая модель, адекватно описывающая процесс затвердевания стали в условиях исследуемой МНЛЗ, и экспериментальные данные, полученные на данном агрегате;

2. Из литых заготовок отбираются образцы металла для анализа. На основании анализа серных отпечатков по глубине расположения определяется, на какой стадии разливки возник тот или иной дефект. В зависимости от типа дефекта устанавливаются возможные причины;

3. По результатам выполненной работы формулируются рекомендации по усовершенствованию технологии разливки для устранения причин возникновения дефектов. Выполняется расчетный анализ предложенных режимов. Проводятся натурные испытания новых режимов. Выполняется лабораторный анализ образцов литого металла, полученных при разливке по новым режимам. и при необходимости – корректировка новых режимов разливки.

Температурные границы двухфазной зоны в затвердевающих многокомпонентных сплавах

Кабишов С. М. Трусова И. А., Рафальский И. В.
Белорусский национальный технический университет

В технической литературе приведены эмпирические зависимости для расчета температуры ликвидуса сталей, которые позволяют с приемлемой точностью определять верхнюю границу двухфазной зоны. Очевидно, что этой информации недостаточно, чтобы оценить продолжительность кристаллизации слитка. Необходимы данные о температуре солидуса.

Анализ кристаллической структуры большинства сплавов, показывает, что она формируется в условиях, близких к равновесным. Следовательно, в последней порции жидкости, кристаллизующейся в пределах дендритной ячейки, концентрация примесей будет близка к максимально возможной. С учетом данной гипотезы запишем:

$$T_S = T_L - \Sigma(a_0 + a_1 \cdot [i] \cdot (1 + k_{l,i})),$$

где T_L – температура ликвидуса сплава, °С; a_0 – коэффициент приведения температуры плавления чистого железа (вводится в случае принятия значения температуры плавления железа, отличного от 1539 °С); a_1 – коэффициент влияния i -го элемента на температуру фазового перехода; $[i]$ – содержание i -го элемента в стали, %; $k_{l,i}$ – коэффициент распределения i -го элемента между твердой и жидкой фазой.

С целью проверки гипотезы были сделаны расчеты температур солидуса некоторых сталей (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные [1] значения температур солидуса сталей

Марка стали		ШХ15СГ	P18	P18*	20ХН3А	12Х13
T_S	расчет*	1312,96	1313,09	1306,54	1468,24	1465,29
	эксперимент	1317	1312	1301	1470	1470

Расчет температуры ликвидуса сталей выполнялся с учетом коэффициентов и по методике, приведенным в работе [2]. Сравнение полученных результатов и опытных данных [1] показывает достаточно высокую точность предложенной методики.

Литература:

1. Баландин, Г.Ф. Основы теории формирования отливки. // М.: Машиностроение, – 1976. – 328 с.
2. Смирнов, А.Н. Крупный слиток /Смирнов А. Н. [и др.]// Донецкий национальный технический ун-т. – Донецк: Вебер. – 2009. – 279 с.

Технико-экономическое обоснование модернизации электрических печей машиностроительного комплекса

Ратников П.Э., Менделев Д.В.

Белорусский национальный технический университет

В качестве основных методов, обеспечивающих повышение энергоэффективности новых печей сопротивления, как правило, применяются следующие:

- замена футеровки на современные волокнистые материалы либо применение многослойной конструкции из жаростойких бетонов малой плотности;
- замена нагревательных элементов с применением современных материалов и сплавов, что обеспечивает увеличение межремонтного периода;
- применение современных систем АСУ ТП.

Опыт работы печей сопротивления показывает, что эффективность перечисленных мероприятий напрямую зависит от степени загрузки печи и режима ее работы. Как следствие, результат модернизации либо замены одинаковых печей, работающих в различных условиях, может существенно различаться. В этой связи актуальной задачей является разработка методики, позволяющей оценить энергетическую и экономическую эффективность применения реконструктивных мероприятий для конкретной печи.

В данной работе предложена комплексная методика, включающая учет теплотехнических и экономических показателей с целью выбора рационального варианта реконструкции печей сопротивления. В качестве основы разработанной методики применяется математическая модель сопряженного теплообмена, дополненная расчетными формулами для оценки экономической эффективности модернизации. Варьируя возможными конструкциями футеровки, типом и местом установки нагревательных элементов, режимными параметрами, оценивается величина чистой прибыли и простого срока окупаемости для рассматриваемых вариантов модернизации. Исходя из полученных результатов, определяется наиболее выгодный вариант.

Применение предлагаемой методики позволит сократить материальные затраты на реконструкцию печей сопротивления, усовершенствовать технологический режим работы печи, а также применить при модернизации вариант, обеспечивающий получение максимального экономического эффекта.

Способы снижения вредных выбросов при подогреве металлошихты

Корнеев С.В., Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Подогрев металлошихты за счет теплоты технологических газов, удаляемых из плавильных печей, а также предварительный подогрев в отдельных установках при использовании природного газа применяется на многих металлургических и литейных производствах.

В процессе нагрева лома, в котором содержатся краски, масла, поливинилхлорид или другие органические вещества, в атмосферу выделяются диоксины, фураны и другие соединения. Эти выбросы значительны в течение фазы начала плавления лома в электродуговой печи, когда температура относительно низкая. Диоксины и фураны повторно образуются также при низких температурах (250–500 °С) из хлорорганических соединений с помощью вторичного синтеза, катализатором которого являются некоторые металлы. Имеющиеся данные указывают, что профиль распределения температур является более важным, чем средняя температура при определении концентрации диоксинов и фуранов в отходящих газах.

В качестве примера обеспечения эффективного подогрева и экологичности процесса можно привести решение, примененное в электродуговой печи «ЕСОАРС™». После шахты подогрева в данной конструкции установлена камера дожигания, а далее камера быстрого охлаждения.

Технология дожигания удаляемых из электродуговой печи газов с последующим быстрым охлаждением была многократно опробована в производственных условиях и доказала свою эффективность в борьбе с вредными веществами.

Снижения выбросов диоксинов и других вредных соединений можно также достигнуть с помощью адсорбирующих материалов в сочетании с рукавными фильтрами.

Для снижения в отходящих газах содержания стойких органических загрязнителей, в особенности диоксинов и фуранов (PCDD/F) возможно введение адсорбентов (например, активированного угля, пылевидного активированного кокса или их смесей с известью) в газопоток перед системой газоочистки. Данная технология позволяет также удалить существенное количество тяжелых металлов и некоторое количество ртути из газовой фазы.

Моделирование подогрева лома в установке шахтного типа

Корнеев С.В., Ратников П.Э.

Белорусский национальный технический университет

Исходными данными для моделирования подогрева являются размеры куска лома, насыпная плотность лома, масса и температура, а также вид газа, его количество и температура.

Для исследования влияния вида металлошихты на эффективность ее предварительного подогрева удаляемыми из печи газами разработана модель, включающая сопряженную задачу теплообмена между кусками металлошихты и удаляемыми из печи газами с внутренней задачей теплопроводности.

Алгоритм расчета нагрева лома проходящими через слой газами:

1) используя данные о насыпной плотности и массе лома, определяем объем, занимаемый ломом, а исходя из размеров шахты, определяем высоту слоя металлошихты; определяем среднюю массу куска лома и площадь поверхности куска, площадь поверхности лома на каждом расчетном участке;

2) определяем скорость движения газов и коэффициент теплоотдачи к поверхности лома;

3) решаем уравнение теплопроводности для куска лома в двумерной постановке и определяем зависимость среднего теплового потока через поверхность куска от времени; определяем тепло отданное лому от газа, температуру газа и среднюю температуру лома.

В качестве начальной температуры газа на последующем участке принимаем температуру газа на предыдущем.

Для учета потерь с охлаждающей водой при использовании водоохлаждаемых панелей в самой шахте физико-математическую модель необходимо дополнять условием охлаждения газа водоохлаждаемыми стенками на каждом элементарном участке.

Полученные результаты показывают, что эффективность подогрева существенно зависит как от времени подогрева, так и от геометрических характеристик металлошихты.

Таким образом, сформулирована модель и алгоритм расчета нагрева металлошихты за счет теплоты удаляемых из печи газов, учитывающие геометрические характеристики металлошихты и изменяющиеся в процессе работы печи температуру и объем газов входящих в шахту.

Опыт борирования титана в расплаве буре

Константинов В.М., Стасевич Г.В., Ковальчук А.В.
Белорусский национальный технический университет

Титан и сплавы на его основе обладают высокой удельной прочностью и проявляют стойкость к коррозии в ряде агрессивных сред. Это определяет высокую значимость титана как конструкционного материала в различных отраслях промышленности. Однако относительно невысокая износостойкость титана и его сплавов зачастую ограничивает область их практического использования. Повышение износостойкости титана за счет объемного легирования не всегда возможно или не выгодно. Поэтому наиболее перспективным является поверхностное упрочнение титана и его сплавов, в том числе путем диффузионного насыщения и создания диффузионных покрытий методами химико-термической обработки.

Одним из наиболее эффективных способов упрочняющей химико-термической обработки титановых сплавов является борирование. Однако широкое применение борирования титана, в частности жидкостного безэлектролизного борирования, несколько сдерживается из-за недостаточной изученности процессов насыщения титана и его сплавов в расплавах для борирования, а также несовпадения и противоречивости информации о взаимосвязях между параметрами обработки со структурно-фазовым состоянием поверхности титана после насыщения.

Исследовано структурно-фазовое состояние поверхности сплава ВТ1-0 после борирования в расплаве на основе тетрабората натрия и установлено, что диффузионное насыщение при температуре 900 °С в течение 2 ч формирует на поверхности сплава ВТ1-0 диффузионный слой общей толщиной до 55 микрон.

Образующийся диффузионный слой состоит из зоны боридов, включающей низкобористую TiB и высокобористую TiB_2 фазы, и переходной зоны, представляющей собой α -твердый раствор бора в титане с включениями TiB , что подтверждается рентгеноструктурным фазовым анализом.

Расчитанная истинная микротвердость поверхности по значениям микротвердости при нагрузках 1 и 2 Н после борирования в течение 1 ч составила 23,2 ГПа, после 2 ч – 30,8 ГПа, что согласуется с литературными данными о значениях твердости боридов TiB на уровне 27–28 ГПа и TiB_2 на уровне 33–34 ГПа. Разница между рассчитанными и справочными значениями микротвердости может быть обусловлена некоторой пористостью полученных боридных слоев.

УДК 621.78.

Легирование металла шва никелем за счет использования никельсодержащих отходов в составе флюса

Урбанович Н.И.¹, Викторовский Д.И.¹, Стасевич С.И.¹, Горецкий Г.П.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Физико-технический институт НАН Беларуси

Известно, что пластические свойства металла шва можно повысить за счет его легирования никелем. Введение легирующих элементов в сварочную ванну можно осуществлять через металлическую и/или шлаковую фазу. В предлагаемой работе сделана попытка проведения легирования металла шва через шлаковую фазу путем введения никельсодержащих отходов в состав флюса, в которых никель содержится в виде оксида.

Эксперименты проводили на установке для сварки под слоем флюса АДФ-1002. В одном случае в состав стандартного флюса АН-348А добавили 10 % отработанного катализатора ГИАП-16, содержащего 20% NiO и до 80% Al₂O₃. В другом случае, кроме 10% ГИАП-16, добавили 2% молотого ферросилиция (ФС75) с целью создания условий для восстановления никеля из оксида. Для сравнительного анализа по усвоению никеля из оксида в качестве исходного служил сварной шов, полученный под флюсом без добавок. Отработанный никельсодержащий катализатор использовали вместо порошкового никеля, исходя из соображений экономии средств на легирование и по экологическим соображениям, предусматривающим утилизацию вторичных ресурсов.

В качестве образца, для получения сварного соединения использовали пластины из стали марки Ст3 размерами 200х65х10.

Сварку стальных пластин проводили на переменном токе, проволокой Св-08 диаметром 2мм. Использовались следующие режимы: $I_{св}=800A$; $U_{д}=49B$; $V_{св}=40 м/ч$; $V_{п/пр}=200м/ч$. Для проведения анализа на химический состав металла шва, из трех сварных соединений вырезали фрагменты сварного шва и изготавливали шлифы.

Сравнительный анализ химического состава металла швов, позволил установить, что большее усвоение никеля с 0.14% до 0.39% произошло в металле шва, полученного под слоем флюса, содержащего 10% ГИАП-16 + 2%ФС75.

Таким образом, установлена принципиальная возможность легирования металла шва через шлаковую фазу за счет использования в составе флюса вторичных ресурсов, содержащих оксиды никеля.

**Литейное производство
черных и цветных
металлов**

Рафинирующая способность и экологическая безопасность новых флюсов

Немененок Б.М., Румянцева Г.А., Задруцкий С.П., Горбель И.А.
Белорусский национальный технический университет

Применяемые технологии рафинирования алюминиевых сплавов должны соответствовать правилу «3Е» (Energy + Ecology + Economy).

Флюсовая обработка расплава алюминиевых сплавов с целью их рафинирования от твердых и газообразных неметаллических включений является наименее энергоемким процессом. Поэтому постоянно ведется поиск низкотоксичных рафинирующих составов для обработки алюминиевых сплавов. Эффективность и экологичность рафинирования зависят от состава используемого флюса и способов его ввода в расплав. Исходя из анализа имеющейся информации, для исследования были выбраны следующие флюсы:

Стандартный рафинирующий флюс (47 % KCl, 30 % NaCl, 23 % Na₃AlF₆).

Рафинирующий флюс (13 % KCl, 55 % NaCl, 17 % Na₃AlF₆, 10 % Na₂CO₃, 5 % CaCO₃·MgCO₃), патент Республики Беларусь №15801.

Рафинирующий флюс (80 % SiO₂, 9,4 % KCl, 6 % NaCl, 4,6 % Na₃AlF₆), патент РФ №2318029.

Оценку рафинирующего действия и определение оптимальной добавки флюса проводили на сплаве АК9. Анализировали изменение механических свойств, балла пористости по шкале ВИАМ и содержание Al₂O₃ в разрывных образцах, отлитых в кокиль. Определение балла пористости проводили с использованием системы компьютерного подсчета, состоящей из цифровой видеокамеры типа Quick Cam, подключенной к ПЭВМ. Используя граничные условия диаметра пор по ГОСТ 1583-93 для каждого балла пористости проводили их классификацию по размерным группам. Балл пористости рассчитывали как среднее арифметическое на 15 квадратах площадью 1 см² каждый.

Эффективность процесса рафинирования оценивали также по остаточному содержанию в отливках оксида алюминия (Al₂O₃). Для определения Al₂O₃ в разрывных образцах использовали бромметаноловый метод. Исследованиями установлено, что наиболее эффективной рафинирующей способностью обладает флюс № 2. Количество выделяющейся пыли при обработке флюсами № 2 и 3 соответственно в 3,3 и 4,6 раз ниже, чем при обработке флюсом № 1.

Оценка рафинировочного действия новых дегазирующих препаратов

Бежок А.П., Задрущий С.П., Глушанкова Л.Я., Семенец И.Б.
Белорусский национальный технический университет

Все возрастающие требования к качеству литья уже не обеспечиваются простым переплавом шихты, поэтому назрела необходимость усложнения технологий с введением дополнительных процессов улучшения качества расплава за счет его глубокого рафинирования. Еще более обостряется необходимость процесса рафинирования при использовании в шихте материалов, полученных в результате рециклинга алюминия. Используемые для рафинирования флюсы и препараты в большинстве случаев являются основными источниками пылегазовых выбросов при производстве отливок из алюминиевых сплавов. Поэтому необходимы новые дегазирующие препараты, способные обеспечивать глубокую дегазацию при соблюдении экологических требований. В этом плане заслуживают внимания карбонаты щелочных металлов. Термодинамический анализ реакций взаимодействия указанных карбонатов с алюминием показал возможность диссоциации в расплаве карбонатов кальция и стронция с выделением оксида углерода, который догорает до CO₂ на поверхности расплава:



Изменение фракционных составов порошков карбоната кальция и карбоната стронция позволяет управлять кинетическими характеристиками данных реакций.

Учитывая результаты термодинамического моделирования и требования технологических регламентов, были определены основные параметры процесса рафинирования алюминиевых сплавов карбонатом кальция: глубина погружения колокольчика с навеской CaCO₃ – 1 м; температура расплава – 720 °С; размер частиц CaCO₃ – 40 мкм; время протекания реакции диссоциации – 3 мин; расход CaCO₃ – 0,05 % от массы расплава. При обработке расплава алюминия марки А5 и сплава АК12 присадкой CaCO₃ требуемой дисперсности, плотность сплавов и содержание у них неметаллических включений незначительно уступают обработке расплава препаратом «Дегазер» и превосходят рафинирующий эффект от препарата «Degazal T200». При использовании 0,05 % CaCO₃ совместно с 0,5 % флюса (40 % KCl, 40 % NaCl, 20 % Na₃AlF₆) обеспечивается минимальная загрязненность расплава неметаллическими включениями, содержание алюминия в шлаке не превышает 7 %.

**Оптимизация процесса плавки стружки алюминиевых сплавов
в короткопламенной роторной печи**

Трибушевский Л.В., Немененок Б.М., Румянцева Г.А., Никитюк П.А.
Белорусский национальный технический университет

Переработка алюминиевой стружки и шлаков является важным источником шихтовых материалов при производстве литейных алюминиевых сплавов и раскислителей. Анализировали результаты 180 плавов в короткопламенной роторной печи емкостью 800 кг, работающей на жидком топливе. В качестве компонентов шихты использовали алюминиевую стружку с засоренностью 6,15 и 25 %; алюминиевые шлаки с содержанием 50-68 % алюминия и просев алюминиевого шлака с фракцией более 10 мм. В ходе проведения плавов контролировали состав и массу шихты, засоренность стружки, металлургический выход, химсостав получаемого сплава и продолжительность плавки. Массу стружки в ходе плавов варьировали в пределах 140-440 кг, добавку шлака изменяли в пределах 0-360 кг, просев шлака добавляли в количестве 0-160 кг на плавку.

Установлено, что увеличение доли шлака с 22 до 30 % в металлозавалке, состоящей из шлака и алюминиевой стружки, приводит к повышению металлургического выхода с 71 до 83 %. Длительность плавки при этом изменяется незначительно и находится в пределах 76-78 мин, что можно объяснить условиями хорошей теплопроводности шихты, благодаря заполнению шлаком промежутков между частицами стружки. С ростом добавки шлака шихта насыщается оксидом алюминия с низкой теплопроводностью, что задерживает процесс нагрева шихты и ее плавления и приводит в результате к увеличению продолжительности плавки. Так, при доле шлака в металлозавалке чуть больше 60 % время плавки составляет 92 мин. С увеличением доли шлака с 30 до 68 % отмечается устойчивое снижение металлургического выхода с 83 до 44 %. При содержании шлака в металлозавалке более 68 % металлургический выход падает до 7 %, при увеличении длительности плавки с 95 до 100 мин. При таком варианте плавки роль флюса выполняли только соли, которые содержались в шлаке. По мере увеличения доли шлака в шихте происходило накопление тугоплавких оксидов алюминия, вносимых шлаком, что приводило к росту вязкости флюсов и снижению их способности к растворению Al_2O_3 . Это и привело в итоге к снижению металлургического выхода.

Газовая пористость в отливках из алюминиевых сплавов при литье под давлением

Михальцов А.М., Акулич Н.Н., Пивоварчик А.А.
Белорусский национальный технический университет

С освоением процесса литья под давлением четко определились его негативные стороны. Среди них – повышенные газосодержание и пористость изготавливаемых отливок, существенно снижающие достоинства этого высокопроизводительного способа литья. В ряду факторов, оказывающих влияние на газосодержание и пористость отливок, можно выделить общие, присущие литейной технологии, и специфичные, свойственные только литью под давлением.

Количество газов, замешиваемых металлом в процессе запрессовки, определяется рядом факторов, среди которых следует выделить скорости прессования и впуска, характер заполнения, наличие и действенность вентиляции, а также газотворность используемых смазок.

Исследование влияния скоростных параметров на газосодержание и пористость отливок производилось с использованием литейной машин модели 71107. Скорость второй фазы прессования изменялась в пределах от 0,4 до 1,7 м/с. Газосодержание определяли косвенным методом – по пористости отливок после их нагрева до 540 °С.

Скорость впуска металла в форму регулировалась путем изменения скорости прессования, а также путем изменения толщины питателей при постоянной их ширине. При увеличении скорости прессования от 0,4 до 1,7 м/с и уменьшении толщины питателя с 4 до 1 мм скорость впуска возрастала от 3 до 55 м/с. Толщина стенки отливок при этом составляла 4 мм. Установлено, что увеличение скорости впуска в указанных пределах приводит почти к десятикратному увеличению газосодержания отливок. При этом четырехкратное увеличение скорости впуска за счет повышения скорости прессования (с 0,4 до 1,7%) в 3-5 раз увеличивает газосодержание отливок, полученных с различными питателями. Увеличение же скорости впуска (также в четыре раза) путём уменьшения толщины питателя (с 4 мм до 1 мм) приводит к увеличению газосодержания отливок только в 2-3 раза.

Таким образом, увеличение скорости впуска с помощью повышения скорости прессования оказывает более сильное влияние на газосодержание отливок, чем увеличение скорости впуска путем уменьшения толщины сечения питателя.

Исследование влияния условий кристаллизации и оптимизация структуры быстрорежущих сталей, обеспечивающей высокую стойкость инструмента, полученного переплавом отходов высоколегированных сталей

Андриц А.А., Рудницкий Ф.И., Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью работы является обеспечение высоких эксплуатационных свойств режущих инструментов и технологической оснастки, полученных переплавом отходов высоколегированных сталей путем оптимизации структуры и технологических параметров.

В результате исследования процесса структурообразования быстрорежущей стали, формирующейся в различных условиях кристаллизации, были установлены зависимости формирования структуры и свойств от условий модифицирования. Введение модификаторов, состоящих из дисперсных частиц металлов, являющимися легирующими элементами, в обрабатываемую сталь способствует получению требуемой структуры с обеспечением высоких свойств режущего инструмента.

Компьютерный анализ процесса затвердевания и дальнейшего охлаждения быстрорежущей стали позволил установить зависимости распределения структурных составляющих (остаточного аустенита, перлита, бейнита, мартенсита) и размера первичного зерна в объеме отливки от условий охлаждения, а также разработать рекомендации по эффективному управлению процессом для получения требуемой структуры инструмента после литья.

При дополнительном введении вольфрама в небольших количествах 0,1-0,6% проявляется избирательный модифицирующий эффект, заключающийся в увеличении времени протекания перитектической реакции, измельчения первичного зерна, изменения состава эвтектических карбидов и морфологии эвтектики, повышения ударной вязкости и износостойкости стали.

Использование полученных результатов при изготовлении литого инструмента из быстрорежущих сталей позволит повысить эксплуатационную стойкость изделий на 30-50 % по сравнению с традиционными способами их изготовления.

Предлагаемые технологические рекомендации позволят обеспечить повышение теплостойкости материала инструмента до 60-62 HRC, износостойкости в 1,5-2,2 раза.

**Моделирование деформационных и термических воздействий
при получении машиностроительных изделий из чугуна
литейно-деформационным методом**

Лущик П.Е., Покровский А.И.*

Белорусский национальный технический университет,

*Физико-технический институт НАН Беларуси

Создание новых машиностроительных материалов с улучшенными характеристиками является одной из движущих сил технического прогресса, а исследование процессов структурообразования – одной из важнейших научных задач. Гетерогенные материалы типа «многофазная и многокомпонентная металлическая матрица – неметаллические включения», к которым относятся и чугуны с включениями графита, представляют собой систему, составляющие которой можно целенаправленно изменять. Такие материалы интересны тем, что позволяют получать очень широкий спектр состояний структуры и свойств.

В данной работе исследовали влияние деформационных и термических воздействий при получении машиностроительных изделий из чугуна литейно-деформационным методом.

В результате исследований на основе компьютерного моделирования был проведен анализ процесса одноосного сжатия мезофрагмента системы «аустенитная матрица – одно/несколько графитных включений» с различной степенью деформации: 20%, 35%, 50%, 60%, 70%, 80% и 95%.

Проведен сравнительный анализ величин напряжений, возникающих на границе «аустенитная матрица – графитное включение». Установлены зависимости изменения напряжений во включении и на границе раздела «аустенитная матрица – графитное включение» по мере увеличения степени обжатия.

Установлены зависимости величины изменения площадей продольного и поперечного сечений одного графитного включения от степени деформации чугунного образца.

Полученные количественные данные о перераспределении напряженно-деформированного состояния, а также данные о формоизменении графитных частиц при деформировании высокопрочного чугуна могут быть использованы при выборе технологических параметров обработки давлением чугуна при получении конкретных изделий, прогнозировании структуры, а, следовательно, и физико-механических характеристик деформированного чугуна в условиях нагрева и пластического течения.

УДК 621.7

Исследование процесса полунепрерывного литья чугунных деталей гидро- и пневмоаппаратуры с повышенными требованиями к герметичности

Андриц А.А., Крутилин А.Н., Лущик П.Е., Долгий Л.П., Довнар Г.В.
Белорусский национальный технический университет

К отливкам деталей гидро- и пневмоаппаратуры предъявляются высокие требования по механическим и эксплуатационным характеристикам, для обеспечения необходимой надежности и долговечности при одновременном снижении энерго- и металлоемкости.

Значительный эффект может быть получен при оптимизации применения высокопрочных чугунов для отливок ответственного назначения, в том числе деталей гидро – и пневмоаппаратуры. Отливки из серого чугуна, а также углеродистых и низколегированных сталей не обладают необходимой надежностью и долговечностью, часто они имеют дефекты в виде неметаллических включений, дефектов усадочного происхождения.

Главной причиной, сдерживающей их широкое внедрение, является отсутствие систематических и достоверных данных о свойствах высокопрочных чугунов и влияния на них химического состава, структуры и технологии получения отливок.

Целью работы является разработка технологических параметров процесса полунепрерывного литья чугунных заготовок, обеспечивающих энергосбережение и высокие эксплуатационные свойства деталей гидро- и пневмоаппаратуры.

В ходе работы были установлены зависимости изменения градиента температуры и количества твердой фазы по сечению литой заготовки при различных значениях начальной температуры металла и различных скоростях процесса. Установлены зависимости термических напряжений, возникающих в слитке при завтредевании, позволяющие качественно оценить вероятность возникновения дефектов. Определены оптимальные технологические параметры процесса полунепрерывного литья, обеспечивающие получение герметичных чугунных деталей гидро- и пневмоаппаратуры. Определен оптимальный состав сфероидизирующего и графитизирующего модификаторов расплава чугуна. Разработаны рекомендации по выбору материала и конструкции кристаллизатора для получения заготовок круглого и прямоугольного сечения м.

Результаты работы будут использованы при получении герметичных чугунных деталей гидро- и пневмоаппаратуры.

Композиционные литые материалы на основе алюминия

Андрушевич А.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Композиционные литые материалы и изделия на алюминиевой основе характеризуются высокими механическими характеристиками и хорошей технологичностью для изготовления деталей различного назначения, однако практическое применение их остается на низком уровне.

Улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств алюминиевых сплавов возможно за счет модифицирования их дисперсными частицами другой фазы. Особый интерес представляют наноразмерные частицы тугоплавких химических соединений – инокуляторы, так как они обладают уникальными физико-химическими свойствами, существенно отличающихся от свойств материалов того же химического состава в обычном состоянии. Эти свойства в определенной степени передаются получаемым из них изделиям, поскольку в нанометровом масштабе возникают качественно новые эффекты и процессы, определяемые законами квантовой механики в малых структурах, отношением поверхность/объем и другими явлениями.

Известны различные технологические процессы введения ультрадисперсных упрочняющих компонентов в алюминиевую матрицу (на наноразмерном уровне), в том числе твердофазное компактирование порошковых смесей, жидкофазные методы пропитки расплавом пористых тел из частиц наполнителя или замешивания их в расплав. Литейное производство наиболее соответствует формированию таких композиционных материалов. Технологии их получения во многом сходны с известными способами локального легирования при производстве отливок, однако есть ряд проблем, требующих исследования. Актуальной задачей остается обеспечение необходимого равномерного распределения частиц и их эффективного смачивания расплавом матрицы. Для получения композиционных изделий технологически целесообразными и эффективными являются литье в кокиль и литье под давлением.

Изучено влияние мелкодисперсных порошковых композиций на основе карбида кремния на структуру и свойства кокильных отливок из заэвтектического силумина АК21М2,5Н2,5 после рафинирующей - модифицирующей обработки. При содержании частиц 3-5% от массы расплава формируется новый композиционный материал с повышенными свойствами. Твердость повышается на 20-30%, износостойкость – в 3-4 раза, прочность - на 15-24%. Для существенного повышения прочности при растяжении необходимо использовать инокуляторы зернистостью менее 80-100 нм.

УДК 621.52

Расчет энергии ионов плазменного потока при малой длине свободного пробега

Иванов И.А., Мисник И.В.

Белорусский национальный технический университет

Важным технологическим фактором, влияющим на процесс транспортировки плазменного потока от вакуумного электродугового испарительного устройства до поверхности нанесения покрытия, является давление технологического газа. В качестве количественной оценки влияния давления технологического газа можно принять соотношение между длиной свободного пробега ионов (λ) к расстоянию от испарительного устройства до поверхности напыления. Для определения энергетических характеристик плазменного потока авторами предложен численный алгоритм.

Цель данной работы – определить особенности формирования энергетических параметров плазменного потока при малой длине свободного пробега.

Технологический процесс нанесения вакуумных покрытий протекает в среде технологического газа, при давлении порядка $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па. При давлении технологического газа порядка 10^{-2} Па средняя длина свободного пробега составит $\lambda = 0,5$ м. Моделирование с помощью предложенного алгоритма для случаев, когда расстояние от испарительного устройства до поверхности напыления равно и много больше длины свободного пробега дало следующие результаты. Для условия $l \approx \lambda$ около 12,35% ионов теряют энергию и становятся нейтральными частицами, для случая $l \gg \lambda$ их величина достигает 88,27%. В случае $l \approx \lambda$ 34,13% ионов достигают поверхности изделия, не теряя своей кинетической энергии.

УДК 669.714

Методы изготовления многокомпонентных катодов-мишеней

Иванов И.А., Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Вакуумно-плазменная обработка сталей и сплавов, с формированием на их поверхности защитных слоёв, широко используется для придания поверхности изделий из этих материалов специальных свойств. Наиболее известными и широко применяемыми являются покрытия на основе соединений титана с кремнием, бором и углеродом др. Использование таких соединений обусловлено их свойствами (высокие температуры плавления, твердость, жаропрочность, износ- и коррозионная стойкость).

Среди различных схем нанесения таких покрытий перспективным является использование многокомпонентных катодов-мишеней получаемых различными способами. Неоднородность структуры катода приводит к образованию в нем неравномерного температурного поля, следствием которого может быть его разрушение.

При изготовлении многокомпонентных катодов используют различные методы. Для силицидных покрытий сложного состава применяют катоды на основе титана-кремния и титана-кремния-алюминия, получаемые путем спекания порошков. Однако такие мишени не применимы в установках с электродуговыми испарительными устройствами из-за их низкой термостойкости. Широко используется способ литья катодов в вакуумных печах с контролируемой инертной средой. Одним из недостатков такой технологии является возможность образования в отливке мишени дефектов усадочного характера. Перспективным представляется метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, который может обеспечить в получаемом катоде высокую плотность, химическую и структурную однородность, низкое содержание примесей благодаря явлению самоочистки в волне горения, достижение требуемых механических, тепло- и электрофизических свойств, необходимых для обеспечения качества наносимых покрытий. При этом существенно снижаются материальные и энергетические затраты.

УДК 669.715

**Особенности межфазного взаимодействия компонентов
алюмоматричных композиций,
содержащих дисперсные неметаллические материалы**

Рафальский И. В., Арабей А. В.

Белорусский национальный технический университет

Анализ работ, посвященных вопросам изучения неметаллических фаз в алюминиевых сплавах, показывает, что наибольший интерес исследователей связан с изучением характера влияния на свойства сплава и литых изделий оксидов и карбидов алюминия, кремния, магния. Показательно, что в указанных работах, эти неметаллические соединения рассматриваются как загрязняющие сплав примеси, оказывающие отрицательное влияние на свойства сплавов, в то время как в других работах, посвященных вопросам получения алюмоматричных композитов (АМК), эти же соединения рассматриваются как упрочняющие (армирующие) фазы.

Проведенный анализ и систематизация данных о процессах межфазного взаимодействия компонентов АМК, содержащих дисперсные неметаллические материалы и разработка моделей ресурсосберегающего синтеза

сплавов на основе алюминия, содержащих дисперсные неметаллические материалы, следует рассматривать с учетом: процессов адсорбции алюминия на поверхности дисперсных частиц неметаллических фаз и особенностей их смачивания расплавом алюминия; процессов диффузии на границе раздела и реакционной способности компонентов в системе алюминий/неметаллическая фаза; влияния термических и механических напряжений на границе раздела «алюминиевая матрица – неметаллическая фаза». К наиболее важным проблемам, требующим решения при разработке модели ресурсосберегающего синтеза сплавов на основе алюминия, содержащих дисперсные неметаллические материалы, также следует отнести вопросы разработки методов: совмещения компонентов системы «металлическая матрица – дисперсные частицы»; обработки алюмоматричной композиции и ее компонентов с целью создания необходимых условий адсорбции атомов металла на поверхности частиц неметаллических фаз.

УДК 669.714

Получение лигатур с применением механотроники

Слущкий А.Г., Калиниченко А.С., Шейнерт В.А., Сметкин В.А.
Белорусский национальный технический университет

Использование ультрадисперсных порошков соединений активных элементов в составах лигатур для внепечной обработки железоуглеродистых сплавов - перспективное направление. Одним из эффективных способов их получения является предварительно подготовленные мастер-сплавы (лигатуры) с высоким содержанием наночастиц.

В работе исследовали особенности получения лигатур, содержащих наночастицы соединений иттрия. В качестве основы такой лигатуры был выбран порошок олова (металл-протектор), который является активным перлитизатором структуры чугунов. Приготовление композиции осуществляли в смесителе с использованием в качестве активатора шары диаметром от 2 до 6 мм. Полученную смесь брикетировали на прессе с усилием 25 тонн, затем методом экструзии были получены образцы лигатуры в виде прутков диаметром 5 мм (рисунок 1).



а)



б)

Рисунок 1 – Лигатура (а) в виде брикетов (б) после экструзии

С использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU с микроанализатором INCA ENERGY 350 ЭМВ был проведен анализ распределения наночастиц оксида иттрия в лигатуре как в продольном, так и поперечном направлении по отношению к направлению экструзии. Установлено, что в данной лигатуре распределение нанопорошка оксида иттрия более равномерное по сравнению с аналогичными материалами, полученными методами сплавления и прессования порошковых смесей. Это позволит оказать эффективное влияние на формирование микроструктуры микролегированного, в том числе, первичного зерна аустенита в литых сталях и эвтектического зерна в серых и высокопрочных чугунах с шаровидным графитом.

УДК 541.183

Сорбционные свойства шитых ферроцианидов кобальта

Панасюгин А.С., Ломоносов В.А. *, Григорьев С.В., Михалап Д.П.
Белорусский национальный технический университет,
*Белорусский государственный университет

Исследования пикнометрической плотности проводили на автоматическом пикнометре AutoPycnometer 1320 Micromeritics. В качестве пикнометрического вещества использовался гелий (He). Поведение гелия наиболее близко к поведению идеального газа, а его адсорбируемость как одноатомного инертного газа с малой массой при обычных условиях пренебрежительно мала.

В процессе измерений все необходимые вычисления производят в соответствии с уравнением состояния идеального газа: $pV=nRT$ (с учетом необходимых поправок на градиент температуры в термостатированных и не термостатированных измерительных частях прибора). Значения эффективной плотности рассчитывают по уравнению:

$$\rho_{\text{э}} = m/V_{\text{э}} = m/(V_0 - V_x),$$

где m -навеска образца, г; $V_{\text{э}}$ - эффективный объем образца, см³, V_0 и V_x – объемы газа соответственно в пустой и заполненной образцом камере, см³.

Значения эффективного объема образца, см³ рассчитывают по уравнению:

$$V_{\text{э}} = m/\rho_{\text{э}}$$

где m -навеска образца, г; $\rho_{\text{э}}$ - эффективная плотность образца, см³.

Таблица 1. Результаты изучения эффективного объема пор исходного и модифицированных образцов

№	Образец	Масса навески образца, г	Эффективный объем пор V_p , см ³ /г					
			Значение V_p пробы, см ³ /г					
			V_{p1}	V_{p2}	V_p	V_{p4}	V_{p5}	$V_{p\text{эсп}}$
1	ФЦСо-исх	1,7696	1,413	1,318	1,357	1,334	1,321	1,334
2	ФЦСо-5	1,9849	1,139	1,136	1,114	1,084	1,069	1,108
3	ФЦСо-10	0,5615	4,979	4,370	4,447	4,447	4,426	4,541

УДК 541.183

Влияние примесных фаз на электросопротивление шунгитовых пород

Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Ломоносов В.А. *, Григорьев С.В.,
Чипурко З.Н., Михалап Д.П., Павловский Н.Д. **

Белорусский национальный технический университет,

*Белорусский государственный университет,

**Гродненский государственный медицинский университет

При проведении рентгенофазового анализа установлено, что в представленных для изучения образцах углерод содержится в виде хорошо окристаллизованной кристаллографической фазы (графитоподобный углерод модификации 2Н).

Как известно, из всех аллотропных модификаций углерода только графит, обладает свойством электропроводности, причем эти свойства наиболее ярко выражены у шунгита Зажогинского месторождения. В этой связи нами были проведены исследования по определению значений электропроводности и электросопротивления образцов шунгита Зажогинского месторождения. Поскольку при определении значения электросопротивления образцов хорошо проводящих соединений контакты вносят большую погрешность, использовали четырехконтактный метод измерения.

Средняя величина удельного сопротивления образцов из Зажогинского месторождения составила $\sim 0,7 \cdot 10^{-2}$ Ом·см, что сопоставимо со значениями для синтетических промышленных графитов. Различия по удельному сопротивлению образцов шунгита Зажогинского месторождения, скорее всего обусловлено тем, что в процессе подготовки для исследований образцы вырезались из различных участков монолита шунгитовой породы; тем самым не исключена вероятность того, что (помимо неоднородности химического состава) в выбранных для исследований образцах ориентация графитоподобных микрокристаллитов по отношению к нормали находилась под различными углами. Таким образом, проведенные исследования образцов, с использованием методов рентгенофазового анализа и четырех-

зондового метода прямых электроизмерений дают основание предположить, что углерод в составе шунгита Зажогинского месторождения находится в виде графитоподобных микрокристаллитов.

УДК 621.74.

Сравнительный анализ свойств литого и термообработанного половинчатого чугуна

Урбанович Н.И., Нисс В.С., Покровский А.И., Розенберг Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Половинчатые чугуны наследуют от белых чугунов высокие износостойкие свойства, от графитизированных – уменьшенную плотность, антифрикционность и лучшую обрабатываемость. Таким образом, половинчатые чугуны – перспективный материал специального машиностроения. Однако невысокие прочностные и пластические свойства значительно ограничивают использование их в качестве конструкционного материала для ответственных и нагруженных деталей машин и механизмов.

Одним из способов повышения уровня механических свойств чугуна является применение термической обработки, которая проводится главным образом с целью увеличения ударной вязкости и пластичности при сохранении или повышении уровня прочности.

Цель работы – сравнительный анализ механических свойств половинчатого чугуна в литом и термообработанном состояниях. Исследования проводили на образцах из половинчатого чугуна следующего химического состава: 3,3%С; 1,6%Si; 1,2%Mn; 0,7%Cr; 0,3%Ni; до 0,04%S и 0,1%P. Термическая обработка чугуна включала нагрев до 850°C, выдержку в течение 60 минут и последующее охлаждение на воздухе.

В таблице 1 представлены механические свойства половинчатого чугуна; в числителе показаны значения свойств в литом состоянии, а в знаменателе – после термообработки. Анализ полученных результатов показал, что термическая обработка половинчатого чугуна, включающая нагрев до 850°, выдержку в течение 60 минут и последующее охлаждение на воздухе, позволила повысить его пластические свойства примерно на 15-20%.

Таблица 1 Механические свойства половинчатого чугуна

Класс чугуна	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КС, кДж/м ²	Твердость, НВ
Половинчатый	260/265	0,5/0,7	45/54	340/338

**Порошковая металлургия,
сварка
и технология материалов**

**Исследование структуры и свойств керамики на основе Si_3N_4 ,
полученной при высоких давлениях**

Волосатиков В.И., Григорьев С.В., Силина Т.В.
Белорусский национальный технический университет

Одной из наиболее перспективных термостойких композиций для работы в качестве режущего инструмента при рабочих температурах свыше 1000°C является керамический композиционный порошковый материал на основе нитрида кремния. Режущие свойства данного композита наряду с его высокой плотностью будут определяться и особенностями нанодисперсной структуры материала, а также наличием в композите определенных модификаций Si_3N_4 .

Перспективным направлением модифицирования физико-механических и технологических свойств композиционных материалов на основе Si_3N_4 является введение в исходную шихту углеродных наноструктурных материалов, в частности – фуллереновой черни.

Для изготовления образцов предварительно субмикронный порошок Si_3N_4 с 0,5% (по массе) фуллереновой черни смешивали в смесителе в среде этилового спирта в течение 12 часов. Высушенную на воздухе шихту после смешивания прессовали при давлении 400 МПа. Спекание под высоким давлением проводили в диапазоне температур $1600\text{-}1800^\circ\text{C}$.

После спекания композита Si_3N_4 - 0,5% фуллереновой черни, пористость спеченных образцов имела тенденцию к уменьшению по мере роста температуры спекания, причем по мере роста температуры спекания поры располагались более равномерно и с увеличением температуры спекания от 1600°C до 1800°C пористость уменьшалась с 4-4,5% до 1,5-2%.

В результате изучения фазового состава полученного композита с использованием рентгеновской дифрактометрии, выявлено, что основной фазой спеченного композита Si_3N_4 - 0,5% фуллереновой черни является β – модификация Si_3N_4 . Содержание β – модификации Si_3N_4 в образце по мере роста температуры спекания от 1600°C до 1800°C увеличивается от 70% до 97% , соответственно, при уменьшении содержания α -модификации Si_3N_4 . При температуре 1800°C наблюдается только β – модификация Si_3N_4 . На рентгенограммах для всего изучаемого диапазона спекания не наблюдается дифракционных пиков, соответствующих фазе – фуллереновая чернь. Наряду с α и β модификациями Si_3N_4 при температурах спекания 1700°C и 1800°C , в композите присутствует 3-5% SiO_2 , который образуется в результате частичного разложения нитрида кремния при высокой температуре спекания и его присутствие может отрицательно сказаться на режущих свойствах композита на основе Si_3N_4 .

УДК 621.7.014; 669.017.539

Механические и триботехнические свойства газопламенных покрытий на основе отходов твердого сплава (часть 1)

Горанский Г.Г.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

На основе отходов (стружка твердого сплава) РУП БМЗ по приведенной на рисунке 1 технологии изготовлены три порошковые композиции: 1- WC-Co + модифицирующая метастабильная добавка ВГ (порошковый сплав железа системы Fe-Ni-Cr-B-Si-Co-Mo с аморфными и наноразмерными интерметаллидными включениями). Содержание ВГ варьировалось от 2 до 15 вес. %; 2- WC-Co + ПГ-10Н-01 (%: Ni основа, С 0,6-1,0, Cr 14-20, Si 4,0-4,5, В 2,8-3,4, Fe до 4,0). Содержание добавки 20-50%; 3- WC-Co + бронзовый порошок ПР-БрОФ 10-1 (%: Cu основа, Sn 10, P 1). Содержание добавки 5-30%.



Рисунок – Технологические операции изготовления, морфология и грансостав композиций на основе отходов твердого сплава

Из порошковых композиций (классифицированная фракция +40-63 мкм) газопламенным напылением изготовлены износостойкие покрытия толщиной от 1,1-1,6 до 3,2- 3,6 мм. Определены их пористость; твердость HRA; прочность адгезии; триботехнические свойства при скорости трения 0,1- 0,5 м/с, усилие прижима P = 1 МПа и пути трения 3 км. Достигнут высокий уровень свойств покрытий. Он представлен во 2-й части работы.

УДК 621.7.014; 669.017.539

Механические и триботехнические свойства газопламенных покрытий на основе отходов твердого сплава (часть 2)

Горанский Г.Г.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

Механические и триботехнические свойства газопламенных покрытий из композиций на основе отходов WC-Co (часть 1) приведены в таблице.

Таблица 1 - Механические и триботехнические свойства покрытий

Материал покрытия	HRA	Пористость, %	Прочность адгезии, МПа	Износ, мкм/км		Коэффициент сухого трения по стали
				Образец	Контртело	
Сталь 45 (закалка ТВЧ, эталон)	50-52		-	6,8	2,2	0,81
WC-Co	64-68	6-8	32-35	2,9	5,1	0,82
WC-Co + 2 % ВГ	64-68	3-5	40-45	2,7	4,9	0,79
WC-Co + 6 % ВГ	64-68	3-5	40-45	2,7	4,9	0,76
WC-Co + 10 % ВГ	60-64	1-3	48-55	2,1	4,6	0,72
WC-Co + 15 % ВГ	60-64	1-3	48-55	1,9	4,7	0,68
ПГ-10Н-01	56-60	до 10	36-42	3,8	5,4	0,76
WC-Co + 20 % ПГ-10Н-01	60-64	6-8	40-45	2,8	5,2	0,74
WC-Co + 30 % ПГ-10Н-01	60-62	3-5	40-45	2,6	5,2	0,72
WC-Co + 40 % ПГ-10Н-01	60-62	1-3	48-55	2,3	4,9	0,70
WC-Co + 50 % ПГ-10Н-01	60-62	1-3	48-55	2,7	5,1	0,74
WC-Co + 5 % ПР-БрОФ 10-1	62-64	до 10	36-42	2,8	4,9	0,74
WC-Co + 10 % ПР-БрОФ 10-1	60-62	6-8	40-45	2,6	4,6	0,66
WC-Co + 15 % ПР-БрОФ 10-1	58-60	до 5	40-45	2,3	4,2	0,61
WC-Co + 20 % ПР-БрОФ 10-1	56-58	1-3	40-45	2,3	4,1	0,56
WC-Co + 30 % ПР-БрОФ 10-1	50-52	1-3	36-42	2,7	4,3	0,56

Исследование влияния температуры горячего прессования, примесей в шихте на плотность и прочность при изгибе горячепрессованной керамики на основе нитрида кремния

Голубцова Е.С., ¹Каледина Н.Б., Нисс В.С.

Белорусский национальный технический университет,

¹ Белорусский государственный технологический университет

Исследовали влияние температуры горячего прессования (1700, 1750°С) и содержания железа в шихте (Fe , % мас.) на плотность (y_8 , $1 \cdot 10^3$ кг/м³) и прочность при изгибе (y_9 - средняя; y_{10} – максимальная) горячепрессованной керамики на основе нитрида кремния Si_3N_4 с оксидами алюминия (Al_2O_3) и титана (TiO_2) в количестве 7 мас. %. В качестве исходного порошка использовали вибромолотый в течение 4 ч нитрид кремния β -модификации. Смешивание шихты проводили в шаровой мельнице стальными шарами. Прессование образцов проводили в двенадцатиместной графитовой пресс-форме на установке с индукционным нагревом в температурном интервале 1700-1750 °С под давлением 30 МПа с выдержкой 15 мин. Испытания на прочность при изгибе проводили на разрывной машине Р-05 при трехточечном нагружении.

Для проведения эксперимента был выбран план 2×6 , где 2 – два уровня температуры горячего прессования ($x_1 = -1$, 1700°С, $x_1 = +1$, 1750 °С), а 6 – шесть уровней содержания железа в шихте ($x_2 = -1,4,2$ %; $x_2 = -3/5$, 5,5 %; $x_2 = -1/5$, 6,8%; $x_2 = +1/5$, 7,8 %; $x_2 = +3/5$, 9,6%; $x_2 = +1$, 11,5%). Ошибки экспериментов соответственно были равны: $S_8 = 0,326$; $S_9 = 44,4$ и $S_{10} = 92,6$; $t = 1,782$. После обработки результатов эксперимента получены уравнения регрессии для плотности y_8 и прочности на изгиб (y_9 и y_{10}):

$$y_8 = \rho = 1,986 + 2,736x_2^2;$$

$$y_9 = \bar{\sigma}_{изг} = 475 - 66x_2^2;$$

$$y_{10} = 571,4 - 26,8x_2 - 70,86x_2^2 \text{ или } 571 - 27x_2 - 71x_2^2.$$

Максимальная прочность $\bar{\sigma} = 508$ МПа будет при $x_1 = -1$ и $x_2 = -1/5$, т.е. при содержании железа 6,8%. Таким образом установлено, что температура прессования в пределах 1700-1750°С не оказывает влияния на рассматриваемые параметры оптимизации (плотность и прочность при изгибе).

Поболь А.И.

Белорусский национальный технический университет

По-прежнему актуальна задача повторного использования отходов твердых сплавов; показала свою целесообразность и механическая переработка отходов сплавов WC-C в барабанных мельницах и атриторах. Однако применение этих процессов накладывает ограничения на дисперсность получаемых порошков, когда после определенной степени помола (как правило, менее 10-30 мкм), дальнейшее разрушение практически прекращается и сопровождается самоплакированием и образованием конгломератов из продуктов помола. В то же время известно, что использование более мелких исходных частиц, в частности наноразмерных, приводит к проявлению в материалах более высоких прочностных свойств, а сами порошковые материалы становятся более активными за счет накопления свободной поверхностной энергии.

Эффективными вариантами получения таких материалов являются электрохимические методы. Электроэрозионный способ получения нанопорошков сочетает свойства плазмохимического синтеза и высокоэнергетического разрушения.

Методом электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) в среде дистиллированной H₂O переработаны отходы твердого сплава ВК6 в виде стружки. Продуктом ЭЭД являлся гидрозоль, часть которого подвергнута высушиванию, а часть – замещению воды этиловым спиртом (алкозоль) с целью предотвращения образования конгломератов в процессе сушки.

Исследования полученных порошков адсорбционным методом в среде азота по методу Брунауэра-Эммета-Теллера показали увеличение площади удельной поверхности на два порядка и более по сравнению с продуктами механического помола фракции <40 мкм.

Данные электронной микроскопии выявили преобладание парофазового разрушения с образованием субмикронных и наноразмерных частиц, форму которых определить не удалось. При высушивании эти частицы образовали матрицу легкоразрушаемых конгломератов, в которой присутствуют сферообразные частицы широкого размерного диапазона (0,2 - 20 мкм) – продукты жидкофазного разрушения отходов ЭЭД. Микрорентгеноспектральный анализ совместно с характером поведения пробы под воздействием пучка электронов позволяет сделать вывод об оксидной природе полученного материала.

В дальнейшем предполагается проведение дополнительных исследований материалов, полученных ЭЭД и способов их применения.

Результаты испытаний фрикционных дисков из различных материалов для эксплуатации в гидромеханической передаче «БелАЗ»

Хренов О.В., Лешок А.В.

Белорусский национальный технический университет

Карьерные самосвалы грузоподъемностью от 30 до 60 тонн, погрузчики, специальные транспортные средства производства Белорусского автомобильного завода (БелАЗ), а так же самосвалы и машины Могилёвского автомобильного завода (МоАЗ) комплектуются гидромеханической передачей (ГМП). Фрикционы гидромеханических передач работают в сложных, напряженных условиях. В процессе включения они воспринимают статические и динамические нагрузки, поверхности трения фрикционов подвержены воздействию большой удельной тепловой энергии и интенсивному изнашиванию. Максимальное удельное давление на поверхности дисков для некоторых режимов работы ГМП может достигать 6 МПа (60 кгс/см²).

Проведенные исследования поведения фрикционных дисков различных материалов и производителей на инерционном стенде «УЛИС» показали, что режимам эксплуатации ГМП «БелАЗ» (это относительно жесткие условия эксплуатации: перебои подачи масла, кратковременные аварийные изменение скорости и нагрузки) наиболее соответствуют фрикционный материал МК-5 и материал фирмы «Wellman». Фрикционный материал на целлюлозно-бумажной основе, материал на основе латуни и материал ФМ-12 может быть применён только в узлах трения с гарантированно стабильной и обильной смазкой, или высокой скоростью отвода тепловой энергии.

Фрикционный материал МК-5 обладает относительно низким коэффициентом трения 0.033-0.037 из всех исследованных материалов, при этом материал имеет более высокую износостойкость. При экстремальных условиях практически не наблюдается перенос материала на диск стальной. Фрикционный материал на основе латуни имеет относительно высокий коэффициент трения и более стабильный. Однако, при недостаточной смазке, материал склонен к быстрому схватыванию и катастрофическому износу. Такие особенности износа фрикционного материала по-видимому связаны с его химическим составом (7-8 % Zn) и структурой характерной для латуней.

Фрикционный материал на целлюлозно-бумажной основе обладает высоким и стабильным коэффициентом трения, практически не происходит схватывания. Однако, при недостаточной смазке происходит деструкция фрикционного слоя и его разрушение.

Электронно-лучевое оплавление газотермического покрытия

Поболь А.И.¹, Изюмов А.А.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²Физико-технический институт НАН Беларуси

Методом механического перемешивания самофлюсующегося порошка ПГ10Н04 на основе никеля и продуктов атриторного помола стружки твердого сплава ВК6 (фракции <40 мкм) изготовлена шихта с содержанием 5-10 мас. % WC-Co. Покрытие из материала шихты нанесено на основу из стали Ст3 методом газопламенного напыления. Металлографические исследования показали слоистую пористую структуру покрытия с включениями сажи, газов. Зона контакта «основа-покрытие» отличается рельефностью (рисунок а). Толщина покрытия достигает 750-800 мкм.

С целью повышения плотности, сплошности, адгезии к основе, износостойкости напыленного покрытия проведено электронно-лучевое оплавление (ЭЛО) его поверхности. Обработка проводилась при помощи аппаратуры ЭЛА-15 (ускоряющее напряжение 60 кВ, ток луча 10-18 мА, скорость перемещения луча 3,75-7,5 мм/с, диаметр расфокусированного пятна луча 1,8-6 мм).

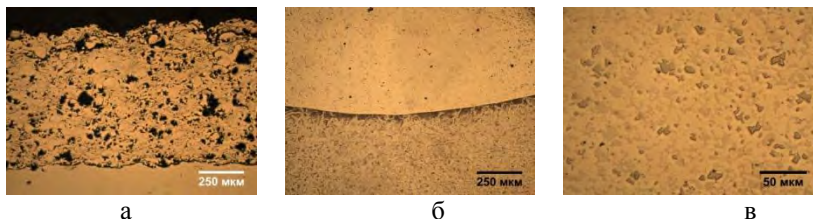


Рисунок – Строение газотермического покрытия до и после ЭЛО

В результате ЭЛО газотермическое покрытие приобрело сплошную практически беспористую структуру, представленную светлой и светло-серой матричными фазами, а также темной фазой карбида вольфрама, размерами зерен 1-5 мкм (рисунок б, в).

Зона контакта «основа-покрытие» отличается гладкостью, материал основы претерпел структурные превращения и на границе раздела имеет литой дендритный характер с существенным содержанием перлитной фазы. Такой характер изменений предположительно вызван растворением свободного углерода в ферритной матрице.

Дальнейшие исследования направлены на изучение микродюрметрических и трибологических свойств покрытия и совершенствование технологичности его получения.

Когезионное взаимодействие частиц при модифицировании порошковых полимеров

Ваганов В.В.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

В работе рассмотрено взаимодействие термореактивной порошковой полимерной матрицы (пигментированная эпокси-полиэфирная и полиэфирная смолы, полиуретан) с частицами модифицирующих добавок (алюминий, никель, оксиды алюминия и кремния). Размер частиц полимеров 3–200 мкм, модифицирующих добавок 200 нм – 10 мкм. Соотношение полимер – модификатор равно 100:1. Смешение материалов производилось в закрытой ванне псевдосжижения при давлении сжатого воздуха 0,02 МПа в течение интервалов времени (3; 6; 9 мин).

За величину когезионного взаимодействия принято отношение площадей частиц модификатора и окружающих частиц полимера, измеренное методом «случайных секущих». Исследование проведено на металлографическом микроскопе МИМ-7 при увеличении 400. Результаты сведены в таблицу. Прочерк означает отсутствие взаимодействия.

Таблица – Интенсивность взаимодействия модификатор - полимер

Полимерная матрица	Модификатор	Взаимодействие за время смешивания, мин		
		3	6	9
Эпокси-полиэфир	Al	0,02	0,14	0,12
	Ni	-	0,03	0,05
	Al ₂ O ₃	0,16	0,2	0,22
	SiO ₂	0,06	0,09	0,15
Полиэфир	Al	-	-	0,08
	Ni	-	0,06	0,1
	Al ₂ O ₃	0,02	0,12	0,22
	SiO ₂	0,03	0,12	0,18
Полиуретан	Al	0,02	0,06	0,09
	Ni	-	-	0,09
	Al ₂ O ₃	-	0,12	0,15
	SiO ₂	-	0,14	0,16

Для эпокси-полиэфирных и полиэфирных смол характерно интенсивное взаимодействие с частицами модификаторов благодаря развитой форме частиц полимера и пигментов. Непигментированные частицы полиуретана близки к сферической форме, и процесс их когезионного взаимодействия с частицами модификаторов крайне ограничен.

**Опыт использования металлокерамических фрикционных дисков
в гидромеханической передаче трактора «Кировец» серии 744Р**

Лешок А.В., Хренов О.В.

Белорусский национальный технический университет

Коробка передач тракторов «Кировец» механическая, с шестернями постоянного зацепления, четырёхрежимная. Имеет 16 скоростей вперед и 16 назад с возможностью переключения передач, в пределах режима, без разрыва потока мощности. Диски изготавливаются из стали 65Г, подвергнутой процессу сульфационирования. Сульфационирование – комбинированный процесс химико-термической обработки, заключающийся в одновременном многокомпонентном диффузионном насыщении поверхности металла серой, углеродом и азотом. Сульфационированный слой на дисках стабилизирует коэффициент трения, улучшает процесс приработки, препятствует схватыванию контактирующих поверхностей, увеличивает износостойкость. Сульфидная пленка улучшает адсорбцию масла и играет роль «твердой смазки».

Фрикционный диск изготовлен по технологии свободно насыпанного слоя, включающего операции: изготовления стальной несущей основы из стали 65Г, нанесение промежуточного подслоя из компактной меди электролитическим методом, формование и закрепление слоя фрикционного материала, нанесение системы маслоотводящих каналов и пазов. Отличительной особенностью конструкции диска является нанесение на поверхность системы маслоотводящих канавок в виде квадратной решетки. Такая форма исполнения маслоотводящих канавок обеспечивает быстрое выдавливание масла и высокий передаваемый крутящий момент.

Учитывая повышенные требования к прочности материала работающих в тяжёлых режимах трения, повышенной температуры (до 400-500°С и выше) и значительных контактных нагрузок ответный (ведущий) диск выполнен шлифованным из стали 65Г, HRC 27-34,5.

В настоящий момент осуществляется серийная комплектация коробок передач тракторов серии «Кировец» фрикционными дисками производства Молодечненского завода порошковой металлургии. Эксплуатационные испытания новой фрикционной пары «металлокерамический фрикционный диск – диск стальной» находятся на заключительном этапе. Ресурс работы фрикционных дисков, для трактора К-744РЗ (N=430лс) составляет более 20 тыс. включений.

Методика оценки стойкости полимерных покрытий

Ваганов В.В.

Научно-технологический парк БНТУ "Политехник"

В работе предложена оригинальная комплексная методика оценки стойкости модифицированных полимерных покрытий при гидроабразивном износе в кислоте при повышенной температуре. Схема испытаний представлена на рисунке.

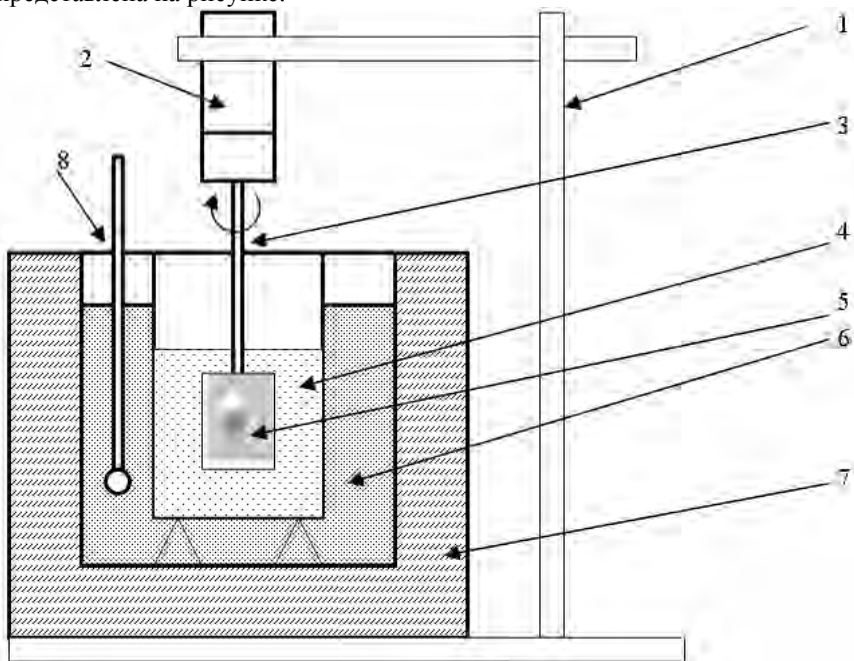


Рисунок – Схема модельных испытаний полимерных покрытий при гидроабразивном износе в среде кислот при повышенной температуре:

- 1 – штатив; 2 – электродвигатель постоянного тока; 3 – вал приводной;
4 – кислота; 5 – образец; 6 – нагреваемая жидкость; 7 – термостат; 8 – термометр

Образец с покрытием (5) закрепляется на валу (3) электродвигателя (2) и помещается в кислоту заданной концентрации (4) с присутствием до 12 об. % корунда (100-200мкм). Нагрев идет от термостата (7) через сосуд с дистиллированной водой (6). Образец извлекается для контроля степени износа через заданное время испытаний.

Механизм формирования композиционных электрохимических покрытий в системе никель-бор-углерод

Якубовская С.В., Корбит А.А., Ходан Е.П.

Белорусский национальный технический университет

Электрохимические сплавы системы Ni-B обладают уникальным комплексом физико-механических свойств. Однако в условиях термических, ионно-плазменных воздействий проявляется их основной недостаток: они склонны к рекристаллизации и, как следствие, к потере функциональных свойств. Целесообразным является создание специализированных электрохимических сплавов в форме покрытий, ионно-плазменная обработка которых кардинально изменяет их состав, структуру, физико-химические и прочностные характеристики, и адаптирует их к определенному виду эксплуатации.

В настоящей работе изучалось влияние условий электролиза, состава электролита хлорид никеля – борноглицериновый эфир – дисперсная фаза на микроструктуру и механизм формирования микроструктуры композиционных электрохимических покрытий (КЭП) с градиентной структурой никель-бор-углерод. Электрохимическое осаждение покрытий проводили при стандартной схеме электролиза. Исследование микроструктуры поверхности покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA / TESCAN (Япония).

На основании анализа микроструктуры КЭП никель-бор-углерод, характера ее изменения в зависимости от условий электролиза, состава электролита, присутствия ультрадисперсных частиц в электролите предложен механизм формирования покрытий никель-бор-углерод. В области низких ($10\text{--}15\text{ мА/см}^2$) плотностей тока внедрение углерода, бора в покрытие происходит в результате обеднения диффузионного пограничного слоя ионами никеля. В области более высоких ($15\text{--}35\text{ мА/см}^2$) плотностей тока внедрение углерода и бора происходит как на центрах роста (вершинах глобул), так и во впадинах между дендритами. Углерод в композиционных покрытиях присутствует как в виде ультрадисперсных частиц, так и в форме более крупных частиц, преимущественно пленок.

Внедрение ультрадисперсных частиц (коллоидного диоксида кремния, ультрадисперсного алмаза) в покрытия никель-бор-углерод происходит как путем зарастивания, так и путем защемления между дендритами. Крупные частицы, размеры которых больше, чем размеры глобул (зерен), внедряются в покрытие по механизму защемления. Ультрадисперсные частицы внедряются в покрытие путем защемления при больших скоростях роста, и зарастивания – при малых скоростях роста.

УДК 621.791

Разработка комплекса мобильного оборудования для автоматизации сварки строительных металлоконструкций

Писарев В.А., Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Проведенные исследования в области механизации и автоматизации сварочных технологий показали широкие возможности для использования в этих целях установок типа «самоходная сварочная тележка с комплектом оснастки и сварочным оборудованием».

Установлено, что при разработке подобного мобильного комплекса для автоматизации сварки строительных металлоконструкций необходимо учитывать ряд факторов, среди которых: типы сварных соединений и их конструктивные особенности применительно к заданным возможностям и алгоритмам движения рабочих органов комплекса; пространственное положение, в котором будет применено сварочное оборудование; вид сварочного оборудования, которое будет применено и, соответственно, способ механизированной сварки, который будет применен.

Основным базовым узлом предлагаемого комплекса является самоходная платформа, которая должна иметь как минимум 2 приводных колеса с соответствующими электродвигателями, обеспечивающими плавную регулировку скорости перемещения с возможностью реверсивного движения.

На платформе монтируются: пульт управления сварочной тележкой, устройства для крепления механизации колебания сварочной горелки, конечные выключатели, средства контроля перемещения сварочной тележки относительно свариваемого шва (механические, световые).

Пульт управления обеспечивает выполнение команд наладочных и рабочих операций, регулировку скорости сварки. Отдельно выделяется панель управления механизмом колебания сварочной горелки.

Сварочный полуавтомат, используемый в мобильном комплексе, должен обеспечивать возможность дистанционного управления и регулирования параметров режимов сварки, включение и выключение механизма подачи сварочной проволоки и связанной с этим подачей защитного газа.

Таким образом, применение разработанного мобильного комплекса модульного типа позволит успешно реализовать движение сварочного инструмента с определенной скоростью, а в монтажных условиях появится возможность организации мобильной сварочной системы «сварочный источник - самодвижущая тележка - переносная направляющая рейка движения».

Исследование влияния состава материалов, скорости охлаждения, температуры испытаний на ударную вязкость сварных соединений из низколегированной стали

Голубцова Е.С., ¹Каледина Н.Б., Трибушевский Л.В.

Белорусский национальный технический университет,

¹ Белорусский государственный технологический университет

Целью данной работы является исследование вида материала, скорости охлаждения ($V_{охл}$) металла ЗТВ сварных соединений труб и температуры испытания ($T, ^\circ\text{C}$) на ударную вязкость ($KCV, \text{Дж/см}^2$) этих соединений. По химическому составу исследуемый металл представлял собой кремний-марганцевую сталь, легированную ниобием (0,038...0,054%) и ванадием (0,032...0,040 %). В образце В массовая доля ванадия составляла меньше 0,02 %). Количество марганца во всех образцах - 1,53-1,79%. Во всех образцах содержалось незначительное количество вредных примесей: серы – 0,001...0,002 %; фосфора – 0,008...0,012 %, а содержание азота не превышало 0,006 %.

Наиболее существенные отличия в составе исследуемого металла состояли в содержании углерода, которое менялось в пределах от 0,032 до 0,080%. Образцы А, Б содержали 0,032...0,045 % С, а образцы В, Г - 0,076...0,080 %С. Кроме того, сталь образца Г микролегирована небольшим количеством молибдена (0,11%). В низкоуглеродистой стали А и Б была несколько большая массовая доля ниобия – 0,050...0,054 %.

Были проведены трехфакторные эксперименты по плану $2 \times 3 \times 3$, где 2 – два уровня материала – x_1 (0,032 и 0,08 %С), 3 – три уровня скорости охлаждения x_2 (6,67; 12 и 30 $^\circ\text{C/с}$) и 3 – три уровня температуры испытаний x_3 (-30, -20 и -10 $^\circ\text{C}$). В результате получено следующее уравнение регрессии:

$$y = KCV = 37,2 + 6x_1 - 19,2x_2 + 25,8x_3 - 28,3x_2x_3 + 6,8x_2^2 + 21,8x_3^2.$$

Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на ударную вязкость оказывает x_3 (температура испытания), влияние состава материала x_1 и скорости охлаждения x_2 – меньше. Максимальная величина ударной вязкости $y_{max} = 145 \text{ Дж/см}^2$ будет при $V_{охл} = 12 \text{ }^\circ\text{C/с}$, температуре испытаний -10 $^\circ\text{C}$ для материала А (0,032 %С); а минимальная величина ударной вязкости $y_{min} = 26 \text{ Дж/см}^2$ будет при скорости охлаждения 6,7 $^\circ\text{C/с}$, температуре испытаний -30 $^\circ\text{C}$ у материала В.

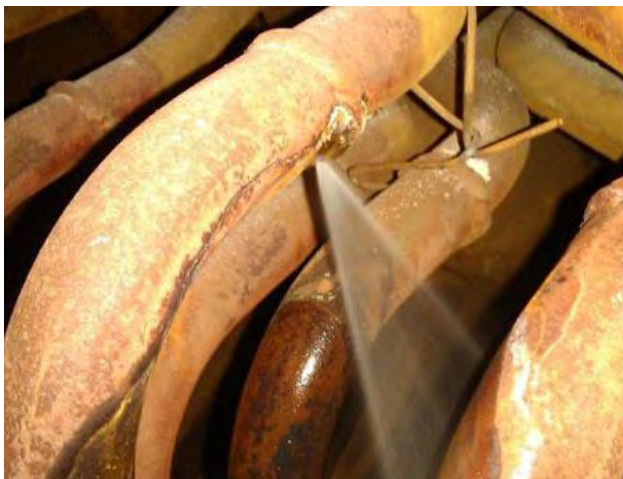
УДК 621.79

Особенности выбора электродов для ручной дуговой сварки конструкций из теплоустойчивой стали 12Х1МФ

Снарский А.С., Жемойта А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы являлся анализ химического состава и механических свойств металла сварных соединений теплоустойчивой стали 12Х1МФ, сваренной различными электродами. Указанные работы актуальны с учетом анализа аварий и повреждений различного теплоэнергетического оборудования и конструкций (рисунок).



Внешний вид разрушения в области сварного соединения (свищ) на первой ступени экономайзера

Проведен сравнительный анализ рабочих характеристик теплоустойчивых сталей в зависимости от содержания легирующих элементов. Исследованы химические составы стали 12Х1МФ и наплавленного ручной дуговой сваркой металла электродами марок ЦЛ-39 (диаметр 3 и 4 мм) и ТМЛ-3У (диаметр 2,5 мм). Проведены исследования механических свойств контрольных сварных соединений стали 12Х1МФ, сваренных с помощью электродов ЦЛ-39 и ТМЛ-3У. Установлено, что по комплексу характеристик, таких как химический состав наплавленного металла и механические характеристики сваренных образцов, для испытуемой партии стали 12Х1МФ наиболее оптимальные характеристики показали электроды типа Э-12Х1МФ марки ТМЛ-3У диаметром 3 мм.

**Математическое моделирование и информационные технологии
в энергоресурсосбережении в сварочном производстве**

Занковец П.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время большое внимание при исследовании и оптимизации технологий уделяется математическому моделированию характерных процессов и явлений, от которых в значительной степени зависит качество изделия. Развитие компьютерной техники создает хорошие перспективы для применения достаточно сложных моделей, отражающих многофакторность и взаимосвязь явлений, протекающих в различных технологиях. Сборочно-сварочное производство является сложнейшим процессом, зависимым от множества как внутренних, так и внешних факторов. Для обеспечения конкурентоспособности сварочного производства должны решаться в комплексе проблемы бездефектного изготовления сварных соединений, оптимального расхода свариваемых и сварочных материалов, энергоресурсов и трудозатрат. Расчет материальных и трудовых ресурсов, требуемых на объекты сварки, в настоящее время повсеместно производится вручную. Ошибки в расчетах приводят к неоправданным значительным организационным, транспортным и иным расходам.

В результате выполненных исследований с использованием информационных технологий нами разработана система методов и средств, позволяющая осуществлять технически обоснованный выбор свариваемых и сварочных материалов, способов сварки и типов сварных соединений, рассчитывать нормы расхода сварочных материалов и параметры режима дуговой и газовой сварки, а также учитывающая условия выполнения сварочно-монтажных работ и позволяющая формировать бездефектные сварные соединения. Впервые разработан математический аппарат определения длин сварных соединений сложной конфигурации, изготавливаемых при варке патрубков, отростков, штуцеров, расположенных под различными углами на трубопроводах, что позволяет на 25 – 40% повысить точность расчетов расхода сварочных материалов.

Разработана система нормирования трудозатрат при выполнении операций ручной дуговой сварки, газовой сварки и резки, автоматической сварки в среде углекислого газа, автоматической сварки под флюсом и термической обработки, позволяющая в 30 – 50 раз сократить сроки расчетов в сравнении с ручными методами, сэкономить 15 – 30% материальных и трудовых затрат за счет более точных расчетов и технически обоснованных норм.

Применение переходников при контактной сварке для получения соединений из разнородных материалов

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для изготовления переходников сварных соединений разнородных материалов наибольшее распространение получили холодная и диффузионная сварка, сварка трением, взрывом, различные виды контактной сварки.

При холодной сварке получение качественного соединения обуславливается чистотой соединяемых поверхностей. Поверхностные пленки окислов и адсорбированных газов, органических поверхностно-активных веществ, содержащихся в жирах и маслах, препятствуют течению процесса диффузии и могут полностью предотвратить схватывание поверхностей даже в зоне больших давлений.

При диффузионной сварке возможно получение соединения разнородных металлов с относительно небольшой деформацией при низкой температуре. Однако при диффузионной сварке ряда сочетаний металлов необходимо подавлять диффузию во избежание образования слоя хрупких интерметаллидов, например, при сочетании металлов «титан–сталь», «сталь–алюминий» и др.

Особый интерес для получения переходников из разнородных материалов представляет сварка взрывом. Здесь происходит образование металлических связей по дислокационному механизму. Активация процесса образования связей зависит от интенсивности пластической деформации поверхностных слоёв свариваемых металлов, которая определяется скоростью распространения пластической деформации, её величиной, а также давлением в зоне соударения. Импульсные давления могут достигать значений $P=5 \times 10^5$ МПа, а скорости детонации $v_{det}=(6...7) \times 10^3$ м/с. Поэтому металл приобретает совершенно особые свойства текучести, во многом уподобляясь жидкости.

Анализ возможных способов получения переходников для изготовления сварных соединений из разнородных материалов показал, что наиболее оптимальным способом является сварка взрывом. Она обеспечивает мгновенное образование сварного соединения за счёт возникновения металлических связей при пластическом деформировании и отсутствии диффузионных процессов, сварку без образования хрупких интерметаллидов, ухудшающих качество сварных соединений, получение соединений с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

**Методы и средства обеспечения качества сварных соединений
в условиях единичного и мелкосерийного сварочного производства**

Занковец П. В.

Белорусский национальный технический университет

Качество сварных соединений определяет эксплуатационную надежность и экономичность изготавливаемых конструкций. Работы по контролю качества изделий, выявлению и устранению дефектов трудоемки и существенно влияют на стоимость продукции. Однако снижение вероятности образования дефектов даже за счет увеличения затрат на вспомогательные и основные технологические операции экономически целесообразно. Методы контроля качества сварных соединений весьма разнообразны. В последнее время задача контроля качества все более сводится к предупреждению возникновения, а не к обнаружению уже имеющихся дефектов. При проведении сварочных работ на качество сварного соединения влияет множество различных факторов. Установлено, что влияние этих факторов на выходное качество сварных соединений различно.

Из полученных результатов исследований вытекает важный вывод, что дефектность каждой конкретной базовой совокупности стыков можно рассматривать как многопараметровый регулятор управления качеством, а цепочку «фактор-причина-дефект» (Ф–П–Д) – как управляющую по обратной связи.

Для практических условий важно определить вероятность того, что данная структура дефектности представляет данную доминирующую причину (ДП) и, как следствие, конкретный фактор технологического процесса сварки.

Из отчетов операторов предупредительного контроля (ПК) или экспертным путем устанавливали основные причины и дефектность, выявленную на участке контроля в момент действия указанной причины. Причины и дефектность систематизировали и обрабатывали с помощью программных средств и компьютерных технологий.

Функциональной связи между количеством дефектом и их причинами не установлено. Однако в результате исследований выявлена важная зависимость структуры образующихся дефектов от доминирующих факторов (причин). Установление такой связи позволяет по структуре дефектов с высокой долей вероятности определять причины брака сварки, что в свою очередь открывает возможность управления качеством сварки по обратным связям по алгоритму «структура дефектности–причина–фактор».

Особенности определения качества сварки теплоустойчивых сталей

Снарский А.А., Голубцова Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Для ряда технологических трубопроводов, а также объектов теплоэнергетики широко применяют теплоустойчивые стали.

При аттестации сварщиков, работающих в теплоэнергетической промышленности, были сварены “катушки” (цилиндрические образцы с кольцевым сварным соединением из стали 12Х1МФ). Были выбраны два случайных образца, на которых производились замеры при помощи магнитного (коэрцитиметрического) метода, который выявляет участки с максимальным значением напряженно-деформированного состояния по максимальному значению замеренной коэрцитивной силы. В качестве прибора магнитного контроля использовали магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М (производство НПФ “Специальные научные разработки” г. Харьков), представленный на рисунке.



Рисунок – Внешний вид магнитного структуроскопа

Полученные результаты выявили разницу замеренных параметров в однотипных местах контроля. К примеру, продольный замер сварного шва первой “катушки” – 4.8 А/см, а второй – 7.5 А/см (разница в коэрцитивной силе, а, следовательно, и во внутренних напряжениях составляет 56%). Данные результаты подтверждаются также показателями твердости, которые были получены при помощи твердомера ТЕМП-4 (среднее значение твердости металла шва – 208 НВ на первой, и 251 НВ – на второй “катушке” (разница – 21%)).

Указанные экспериментальные данные показывают зависимость чувствительности напряжений, твердости, а, следовательно, и качества сварных соединений от квалификации сварщика.

Таким образом, рассмотренные вопросы актуальны; планируется их дальнейшее, более детальное изучение.

**Электролитно-плазменная обработка поверхностей
металлических изделий малого сечения и жёсткости**

Алексеев Ю.Г., Паршуто А.Э., Головач С.И., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Для выполнения финишных операций (удаление заусенцев и полирование) при производстве изделий малого сечения и жёсткости разработан метод электролитно-плазменной обработки в условиях вакуумметрического давления. Разработанный метод обеспечивает качественную финишную электролитно-плазменную обработку изделий малого сечения и жёсткости без изменения их начальной формы изделия, с сохранением исходной структуры и характеристик материала. Разработанный метод заключается в уменьшении давления среды ниже атмосферного, при котором обеспечивается существенное снижение удельной мощности, необходимой для плёночного кипения и поддержания стабильной парогазовой оболочки вокруг обрабатываемого изделия.

Целью работы является исследование влияния вакуумметрического давления на массообменные процессы при электролитно-плазменной обработке поверхностей. Для этого устанавливались зависимости массового съёма и плотности тока от величины вакуумметрического давления и рабочего напряжения. Исследования проводили при значениях вакуумметрического давления 0 кПа; –20 кПа; –40 кПа и –60 кПа. Температура электролита поддерживалась в диапазоне 70–73 °С. Рабочее напряжение составляло 240 В; 260 В; 280 В и 300 В.

По результатам проведенных исследований установлено, что увеличение вакуумметрического давления одновременно со снижением плотности тока приводит к снижению скорости массового съёма, что связано с действием закона Фарадея. Так при изменении вакуумметрического давления от 0 кПа до –60 кПа плотность тока в зависимости от рабочего напряжения уменьшается с 0,39–0,61 А/см² до 0,13–0,31 А/см², скорость массового съёма уменьшается с 1,92–2,97 мг/см²мин до 0,41–0,93 мг/см²мин.

Достижение вакуумметрического давления значений –80...–90 кПа приводит к снижению плотности тока и скорости массового съёма до нулевых значений, т.е. к прекращению процесса электролитно-плазменной обработки. Прекращение процесса в этом случае связано с закипанием электролита, при котором образец оказывается окружённым не парогазовой оболочкой, а сплошной оболочкой из пены, которая не обладает проводимостью.

**Исследование процесса электролитно-плазменного полирования
внутренних поверхностей трубчатых изделий**

Нисс В.С., Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

Металлические трубы имеют множество различных функций в широком спектре промышленных применений, а очистка их внутренних поверхностей является ключевым фактором, обеспечивающим надежную эксплуатацию оборудования, в состав которого они входят.

Известные методы обработки внутренних поверхностей труб, включающие пескоструйную очистку, химическую очистку кислотными реагентами (щавелевая, муравьиная, сульфаминовая, ортофосфорная кислоты) и электрохимическое полирование, имеют ряд существенных недостатков.

Предложен новый метод полирования и очистки внутренних поверхностей длинномерных трубчатых изделий на основе электролитно-плазменной обработки, обеспечивающий по сравнению с существующими методами качественную обработку с высокой интенсивностью с применением нетоксичных, экологически безопасных и дешевых электролитов. Реализация метода становится возможной при использовании перемещаемого внутри обрабатываемой трубы электрода-инструмента, являющегося катодом. В данной работе исследовались технологические особенности процесса электролитно-плазменной обработки внутренних поверхностей длинномерных трубчатых изделий.

По результатам выполненных исследований установлено, что в процессе электролитно-плазменной обработки внутренних поверхностей трубчатых изделий при различных значениях ширины щелевого сопла в электроде-инструменте (от 0,5 до 2,0 мм) с увеличением расхода электролита наблюдается прямо пропорциональное увеличение силы тока. Установлено, что достаточно широкий рабочий диапазон скорости электролита обеспечивается при ширине щелевого сопла 0,5 и 1,0 мм. При этом максимальная сила тока 9 А достигается при ширине 1,0 мм. Нормальное протекание процесса при ширине щелевого сопла 1,5 и 2,0 мм невозможно из-за неустойчивости парогозовой оболочки.

Плотность тока и производительность электролитно-плазменной обработки внутренних поверхностей трубчатых изделий повышается с увеличением скорости истечения электролита из электрода-инструмента. Так, при использовании электрода-инструмента с шириной щелевого сопла 1,0 мм с повышением скорости истечения электролита от 0,15 до 0,44 м/с плотность тока увеличивается с 1,6 до 3,16 А/см².

Особенности получения двухслойных лент прокаткой с волочением при регламентированном движении свариваемых слоев

Шиманович И.М.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является исследование способа получения двухслойных металлических лент из различных материалов путем их совместной пластической деформации между быстровращающимися вальками с заданной скоростью относительного перемещения слоев.

Согласно технологическому процессу металлические ленты подаются в зону деформации между быстровращающимися вальками, причем скорость движения лент относительно друг друга различна. За счет сил трения, возникающих между лентами в процессе пластической деформации, происходит быстрый разогрев соприкасающихся поверхностей до высоких температур. При выходе из очага деформации скорости лент выравниваются, и в результате после охлаждения образуется двухслойное сварное соединение металлического материала.

Образование соединения в твердой фазе объясняется механизмами пластической деформации и сварки, согласно которым элементарные акты пластической деформации и диффузии осуществляются одним и тем же путем – последовательным перемещением атомов. Таким образом, пластическая деформация приводит к интенсификации процесса перемещения атомов, как в объеме металла, так и на его поверхности, что способствует их диффузионному перемещению, а при совместной пластической деформации разнородных металлов – взаимному внедрению атомов. При этом любые способы повышения энергии контактирующих металлов значительно облегчают процессы их схватывания, так как способствуют их дополнительной активации (например, нагрев). Следует также отметить, что кроме нагрева за счет сил трения поверхностный слой металла находится под действием значительных касательных напряжений, что также способствует интенсификации и облегчению сварки.

В процессе образования соединения за счет сил трения осуществляется нагрев лент с удалением жировых и оксидных пленок, а далее идет образование физического контакта и активных центров схватывания, что приводит к сварке.

Нагрев поверхностных слоев лент при деформации между вращающимися валками

Шиманович И.М., Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время все большее распространение находят технологические процессы создания материалов с особым комплексом свойств на поверхности (высокой износостойкостью, прочностью, жаростойкостью и коррозионной стойкостью). К таким процессам можно отнести и некоторые способы получения микрокристаллических слоев на поверхности лент, например при одновременной прокатке и волочении. В этом случае пластическую деформацию лент производят волочением между быстровращающимися валками с заданной скоростью относительного перемещения поверхностей лент и валков. При этом одновременно протекают структурные превращения и пластическая деформация в приконтактном слое, нагреваемом в процессе обработки до высоких температур. Интенсивный теплоотвод в глубь металла и окружающую среду обеспечивает быстрое охлаждение нагретого слоя. В результате в нем образуются структуры закалки, и фиксируется упрочнение, обусловленное пластической деформацией. Данный процесс ведется исключительно с небольшими степенями деформации.

При выборе режимов обработки лент исходят из того, что температуру нагрева поверхности можно регулировать изменением скорости движения лент относительно деформирующего инструмента, размерами валков и величиной деформации лент. Принимая, что при нагреве трением теплота выделяется в тонком приповерхностном слое металла, прилегающем к трущимся поверхностям, и учитывая, что для нагрева трением металла с заданными свойствами до заданной температуры длительность нагрева обратно-пропорциональна квадрату удельной мощности трения, была получена зависимость для определения температур, связывающая между собой основные параметры процесса:

$$T = \sqrt{\frac{A^2 \sigma_T^2 V^2 t}{\pi \lambda C_\gamma}}$$

где A – тепловой эквивалент механической работы; σ_T – предел текучести материала лент; V – скорость движения лент относительно инструмента; t – длительность нагрева; λ – коэффициент теплопроводности; C_γ – объемная теплоемкость.

Использование электроискровой обработки при получении композиционных покрытий

Саранцев В.В., Пантелеенко Ф.И., Беляков А.В., Ивашко В.С.
Белорусский национальный технический университет

В результате проведения совместных исследований ОАО «ВТИ» и БНТУ были получены положительные результаты по формированию покрытий на рабочих кромках лопаток турбин с применением технологии электроискрового легирования (ЭИЛ) [1]. Для проведения ЭИЛ было разработано и изготовлено современное оборудование для проведения работ по нанесению эрозионно-стойких покрытий в производственных условиях.

Для разработки новых материалов покрытий было предложено использование порошковых смесей способных к самораспространяющемуся высокотемпературному синтезу (СВС) [2]. Порошковые реагенты наносили на поверхность детали в виде суспензии. Затем проводили ЭИЛ-обработку. В качестве порошковых смесей были приготовлены составы: 1) $\text{Cr}+2\text{B}$; 2) $2(\text{Ti}+2\text{B})+\text{Cr}+2\text{B}$; 3) $3(\text{Ti}+\text{C})+\text{Cr}+2\text{B}$; 4) $\text{Ti}+\text{B}$.

Микроструктурные исследования композиционных покрытий позволили установить, что формируется плотное беспористое мелкозернистое покрытие. Макроструктура покрытия по всей толщине однородна, а в легированной матрице присутствуют дисперсные частицы карбидов и боридов титана и хрома в металлической матрице.

Проведены исследования физико-механических свойств – микротвердость, шероховатость, износостойкость.

<i>Параметр</i>	<i>№ 1</i>	<i>№ 2</i>	<i>№ 3</i>	<i>№ 4</i>
Микротвердость, кгс/мм ²	627,64	754,22	610,26	859,04
Шероховатость Ra, мкм	8,42	7,72	11,15	5,72

Созданное оборудование, технология и материалы находят применение для нанесения покрытий в энергетике, машиностроении и приборостроении.

Литература:

1. Износостойкие защитные покрытия с применением технологии СВС и электроискровой обработки / А.В. Беляков, Р.Н. Калугин, Ф.И. Пантелеенко, Б.Б. Хина, В.В. Саранцев // Электрические станции. – № 2 – 2014. – С. 36-42.

2. Study of Composite Spark-Alloyed Coatings Based on Titanium Carbide Using Self-Propagating High-Temperature Synthesis / V.V. Sarantsev, L.V. Markova, E.L. Azarenko // Surface engineering and applied electrochemistry Vol. 48. – №2. – 2012. – P.43-49.

Использование СВС-порошков и лазерного воздействия при получении сварных соединений

Саранцев В.В., Девойно О.Г., Сивак Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Лазерная сварка в процессе своего научно-технического развития получила свое дальнейшее развитие в виде создания гибридных методов сварки – двухлучевой лазерной, лазерно-дуговой, лазерно-индукционной, лазерно-плазменной, лазерно-светолучевой, которые находят все большее применение в промышленности вследствие своей высокой технико-экономической эффективности.

Лазерную сварку можно производить со сквозным и с частичным проплавлением. Сварные швы можно формировать в любом пространственном положении. При сварке больших толщин с глубоким проплавлением требуются специальные режимы, присадочные материалы и защитные газы.

В качестве присадочных материалов было предложено использовать порошковые термитные смеси. Для улучшения свойств сварных соединений в качестве таких порошковых смесей были использованы реагенты способные к реализации самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). С целью оптимизации режимов лазерного излучения на поверхность образцов из стали ст.3 наносили порошковые смеси из порошков титана, хрома, углерода и бора. Лазерную обработку проводили со скоростями 150, 300 и 600 мм/мин. Исследование структуры образцов в СЭМ проводили по поперечному сечению (рисунок).

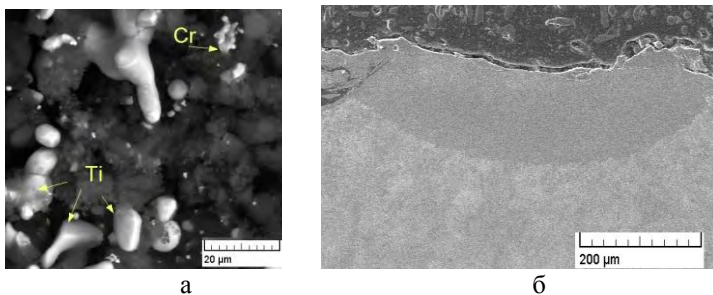


Рисунок – Структура а – исходных порошков; б – поперечного сечения

Было установлено что лучшее качество было получено при обработке со скоростью 150 мм/мин.

Технология непрерывного литья для производства труб

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Преимущества способов непрерывного литья с открытым и закрытым уровнем по сравнению с традиционными способами литья предопределяют возможности их широкого применения для получения литых заготовок. При оценке возможностей использования способов необходимо иметь в виду, что потребность в непрерывнолитых заготовках может значительно возрасти за счёт разработки упрощенных конструкций заготовок, переводимых на производство непрерывными способами.

Заготовки простой формы (круг, квадрат) целесообразно отливать на установках горизонтального типа с необогреваемыми металлоприёмниками и комбинированными кристаллизаторами, если месячная потребность в них составляет не менее (80...100) м. При меньшей потребности и длине деталей менее двух метров, заготовки экономичнее отливать на установках вертикального типа с металлическими или комбинированными кристаллизаторами.

Для получения заготовок более сложной формы (П- или Т-образные рейки), при толщине стенок менее 0,02 м, нужно использовать метод горизонтального литья на установках с обогреваемым металлоприёмником.

Значительные возможности по расширению номенклатуры непрерывнолитых заготовок открывают методы вертикального непрерывного литья с открытым и закрытым уровнем с использованием разрушаемых песчаных стержней. С их помощью получены трубные заготовки различного типоразмера, полые мерные заготовки типа втулок и колец, сложные замкнутые профили переменного наружного и внутреннего сечения типа станин металлорежущих станков, сепараторов подшипников и шестерён. Применение сборных металлических, комбинированных или составных кристаллизаторов снимает ограничения на размеры сечения и конфигурацию получаемых заготовок.

Так, технологический процесс непрерывного литья трубных заготовок размером 0,24×0,19×1,2 м из стали 12Х18Н10Т был внедрен в условиях Восточно-Казахстанского машиностроительного завода (г. Усть-Каменогорск). Анализ качества заготовок на механические свойства, химический состав, микроструктуру и состояние поверхности показал соответствие ГОСТ и техническим требованиям, предъявляемым к продукции предприятия.

Влияния компонентов суспензии-электролита и режимов электрохимического осаждения на структуру и свойства композиционного электрохимического покрытия на железной основе с наполнителем в виде порошка (Cr_7C_3 - TiC - Cr_3C_2)

Боровик Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Представлены результаты исследований влияния компонентов суспензии-электролита и режимов электрохимического осаждения на структуру и свойства композиционного электрохимического покрытия (КЭП) на железной основе с наполнителем в виде порошка (Cr_7C_3 - TiC - Cr_3C_2). Особенностью процесса являются различные условия осаждения, отличающиеся как по плотности катодного тока, так и по концентрации порошкового наполнителя.

Образцы для нанесения электрохимических железных покрытий (ЭЖП) выполнялись из низкоуглеродистой стали в виде шайб круглого сечения и толщиной 10 мм. В качестве электролита использовали хлористый электролит железнения со следующим составом: FeCl_2 – 350 ± 10 г/дм³, HCl – 1 г/дм³ (рН = 0,8). Технологические параметры нанесения покрытий: катодная плотность тока (I_k) – 15, 30, 45 А/дм²; температура электролита 75 ± 5 °С; время осаждения выбиралось исходя из необходимой толщины покрытия. Для интенсификации процесса осаждения и равномерного перемешивания порошкового наполнителя в электролите-суспензии на электролит воздействовали ультразвуком (источник – УЗДН2Т) с частотой 44 кГц.

КЭП получались качественными, плотными, без внешних дефектов. Питтинг и дендритные образования отсутствовали, присутствовал ограниченный блеск покрытия. Микротвердость КЭП по усредненным данным составляет $\text{HV} = 7500\text{-}8000$ МПа.

В результате проведенных исследований, были установлены закономерности влияния компонентов суспензии-электролита и режимов электрохимического осаждения на структуру и свойства композиционного электрохимического покрытия на железной основе с наполнителем в виде порошка (Cr_7C_3 - TiC - Cr_3C_2). Наилучшими показателями по твердости обладали КЭП, полученными при режимах 45 А/дм² и концентрации электролита более 5 г/дм³.

Создание системы высокоэнергетического облучения полимерных материалов, армированных металлическими нитями

Ушеренко Ю.С.¹, Боровик Д.И.²

¹Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики», ²Белорусский национальный технический университет

Известно, что высокочастотное облучение пластмасс приводит к изменению структур и уровня физико-химических свойств. Композиционные материалы на основе пластмассовой матрицы, армируются высокопрочными металлическими волокнами. Такие материалы имеют повышенный уровень свойств. Одновременно известно, что металлические волокна являются эффективным массопроводом для массопереноса дискретных микрочастиц. В этом случае массоперенос реализуется со скоростями, которые сопоставимы со скоростью ударной волны в металле.

В режиме сверхглубокого проникания сгустки микрочастиц порошка при введении в верхний металлический торец детали начинают со скоростями 1000 – 2000 м/с избирательно перемещаться по металлическому волокну, что приводит к легированию металла. При таком перемещении миллионов дискретных частиц в замкнутой металлической системе происходит интенсивное трение между поверхностью частиц и стенками, формируемого канала. В результате интенсивного износа в закрытой системе эти частицы заряжаются. Перемещение потока заряженных частиц приводит к формированию потока движущихся электрических зарядов и, соответственно, к сильному электромагнитному полю. Электрическое поле воздействует на пластмассовую матрицу в режиме реального времени с частотой в мегагерцы.

Таким образом, введение сгустков порошковых частиц в композиционный материал приводит к генерации дополнительной энергии, излишки которой выводятся из деталей в основном в форме интенсивного электрического поля. Благодаря этому металлические частицы в воздушном зазоре и в неметаллической матрице также дополнительно разгоняются, обеспечивая в конечной стадии приваривание разгоняемых частиц к твердым поверхностям.

Появляется дополнительная возможность разгона микроударников до высоких скоростей, а, следовательно, возможность моделировать поведение современных материалов при высоких скоростях соударения, определять динамические условия нагружения. Такой подход позволит также определить дополнительные условия затвердевания современных пластических масс.

**Особенности генерации энергии
в процессе сверхглубокого проникания частиц карбида кремния
в алюминиевой преграде**

Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Явление сверхглубокого проникания (эффект Ушеренко) является комплексным процессом динамического взаимодействия между сгустками дискретных пылевых частиц и преградами. Ударники движутся в твердом теле, как будто не встречая сопротивления. Создается представление, что материал металлической преграды теряет свои прочностные свойства, т.е. перестает взаимодействовать с этим сгустком. Поэтому появились многочисленные модели и механизмы, предусматривающие уменьшение затрат энергии.

Однако исследование металлических преград после обработки позволило выявить многочисленные следы такого взаимодействия на различных структурных уровнях. Например, имеются участки локального проплавления и зоны высокоэнергетического облучения потоками ионов, которые никак нельзя объяснить гипотезой о низкоэнергетическом взаимодействии между ударниками и преградой. Наблюдается значительные изменения структуры и свойств металлов, и сверхглубокое проникание признается как основа для новой технологии производства массивных композиционных материалов. Изменения в механических, физических и химических свойствах на десятки и сотни процентов в макрообъеме нельзя реализовать, не затрачивая значительное количество энергии.

Процесс генерации энергии реализуется за счет микровзрывов вдоль оси канала после внедренного микроударника (рисунок 1). Дополнительная энергия генерируется при взрывах при захлопывании каналов позади частицы SiC и подводится вдоль канала к ударнику.

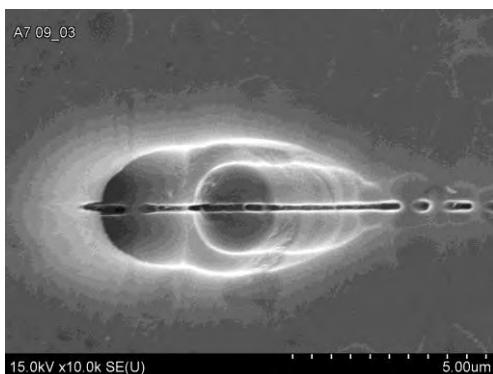


Рисунок 1.
Взрывы внутри
алюминиевой преграды
при движении частиц

Обработка материалов давлением

Повышение прочности сцепления компонентов биметаллической композиции сталь-бронза

Белявин К.Е.¹, Белый А.Н.¹, Леванцевич М.А.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Анализ достижений современного трибоматериаловедения позволяет сделать вывод о том, что антифрикционные материалы нового поколения должны иметь композиционное гетерогенное строение, а для тяжелых условий работы – быть двухслойными (стальное основание и антифрикционный слой). В качестве антифрикционного слоя в таких материалах применяется литая или порошковая бронза.

Однако получение таких антифрикционных изделий затруднено из-за малой толщины стальной основы (1,5-3 мм) и антифрикционного слоя (1-1,5 мм), а также существенной разницы в температурах плавления материалов композиции.

С целью повышения прочности сцепления компонентов биметаллической композиции сталь-бронза, разработан метод нанесения промежуточной пленки на стальную основу.

Устройство для нанесения промежуточной пленки на стальную основу 1 (рисунок 1) содержит металлическую щетку 2 с приводом вращения и механизмом подачи 3, а также прижатый к щетке под углом 5-10° к касательной в точке касания брусок из материала покрытия 4.

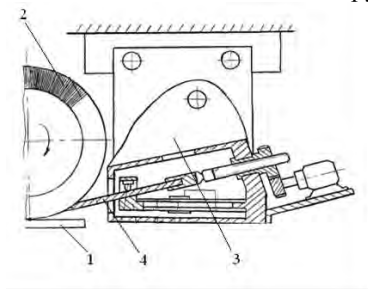


Рисунок 1 – Устройство для нанесения на стальную пластину бронзовой пленки

Подходя к покрываемой поверхности, ворсинка щетки с микрочастицами материала покрытия ударяются и размазываются по поверхности детали с образованием мостиков схватывания первоначально между основой и частичками материала покрытия, а затем непосредственно со сформированным слоем покрытия. После нанесения промежуточной пленки производили отжиг стальных пластин.

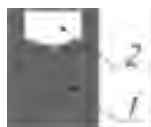
Установлено, что нанесение методом натирания промежуточной пленки, перед напеканием порошкового бронзового слоя, и ее предварительный отжиг обеспечивает хорошую адгезию порошкового слоя к стальной основе и образование антифрикционного слоя, не отслаивающегося при изгибе.

**Компьютерное моделирование ресурсосберегающей технологии
скоростного горячего выдавливания
биметаллического стержневого инструмента**

Качанов И.В., Шарий В.Н., Власов В.В., Куличик Л.А.
Белорусский национальный технический университет

Для разработки технологических процессов изготовления биметаллического инструмента методом скоростного горячего выдавливания необходима информация о характере пластического течения, а также сведения об откликах системы штамп – инструмент – деформируемый образец на изменение технологических параметров. Для получения такой информации могут быть использованы методы экспериментального исследования и теоретического моделирования, а также их комбинация.

Альтернативой экспериментальному и теоретическому методам исследований является использование имитационного моделирования процессов объёмной штамповки. Для получения данных о совместном пластическом течении двух металлов 1 и 2, входящих в состав составной биметаллической заготовки, была выбрана стержневая деталь штамповой оснастки (рисунок 3). На основе исходных данных, (размеры и форма составной заготовки, пуансона и полуматрицы), была создана модель для анализа пластического течения (рисунки 1, 2)



1-конструкционная сталь; 2-штамповая сталь

Рисунок 1 - Модель составных заготовок

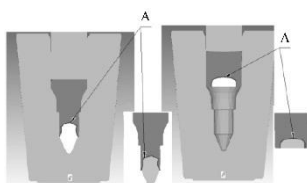


Рисунок 2 - Модель пластического течения



Рисунок 3 Шлиф стержневой детали

Далее запускается пошаговый процесс симуляции в препроцессоре программы DEFORM-3D с возможностью ввода линии раздела А биметалла и просмотра картины течения на любом шаге (рисунок 2).

Сравнительный анализ пластического течения металлов реальных образцов (рисунок 3) и полученных моделей (рисунок 2) показывает, что моделирование пластического течения биметаллических составных заготовок, как это видно из рассмотрения линий раздела двух материалов является качественным и достоверным.

Исследование процесса ротационного пластического деформирования в сочетании с циклической электротермической обработкой

Давидович А.Н.¹, Лемеза А.Г.¹, Давидович В.А.¹, Давидович Л.М.²

¹УП «Физико-технический институт НАН Беларуси»,

²Белорусский национальный технический университет

Объединение пластического формообразования с циклической электротермической обработкой в единый технологический процесс носит название циклической электротермомеханической обработки (ЦЭТМО).

Оба вида обработки имеют целью измельчение микроструктуры металла и повышение его прочности и пластичности.

Исследованы две схемы осуществления ЦЭТМО (рисунок 1).

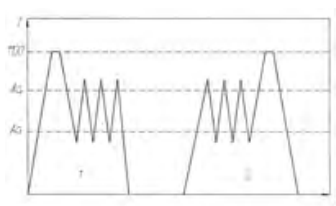


Рисунок 1 - Схемы циклической электротермомеханической обработки

По первой схеме обработка осуществляется в следующей последовательности – нагрев до ковочной температуры, ротационное формообразование, подстуживание ниже точки A_{c1} , затем трехкратное термоциклирование в диапазоне температур от $(A_{c1} - 30^\circ\text{C})$ до $(A_{c3} + 30^\circ\text{C})$, после чего с температуры $(A_{c3} + 30^\circ\text{C})$

производят закалку. По второй схеме производят предварительное термоциклирование, затем деформацию и закалку. Результаты измерения механических свойств показали преимущество первой схемы. У стали 30ХГСА были получены значения $\sigma_{\text{в}}=1850-1900\text{МПа}$, при ударной вязкости $a_{\text{к}} = 70-80\text{Дж/см}^2$. Микроструктура стали после ЦЭТМО представлена на рисунке 2.

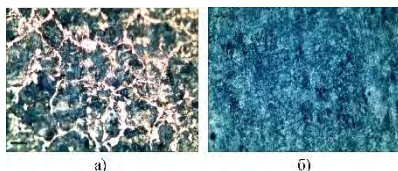


Рисунок 2 - Микроструктура стали 30ХГСА x500: а – в исходном состоянии, б – после ЦЭТМО по схеме 1

Определение допустимых деформаций при поперечно-клиновой прокатке малопластичных материалов

Давидович А.Н.¹, Лемеза А.Г.¹, Давидович Л.М.², Мазуренок А.В.²

¹УП «Физико-технический институт НАН Беларуси»,

²Белорусский национальный технический университет

К материалам с ограниченной пластичностью следует отнести группу высокопрочных хромоникельмолибденовых и хромоникельвольфрамовых сталей. Особенностью этих сталей является высокая флокочувствительность, которая уже проявляется на стадии металлургического передела в виде пористости, регламентированной стандартом. В процессе горячей поперечно-клиновой прокатки (ПКП), под действием трехосного растяжения на оси заготовки, в металле может происходить коалесценция пор с образованием макронесплошностей.

Предложено предельную деформацию определять по значениям напряжения течения металла в данных температурно-скоростных условиях с использованием термомеханических коэффициентов по формуле

$$\sigma_s = \sigma_{s_0} \cdot K_t \cdot K_\varepsilon \cdot K_u.$$

На рисунке 1 представлена зависимость термомеханических коэффициентов K_t , K_ε , K_u от температурно-скоростных режимов деформации.

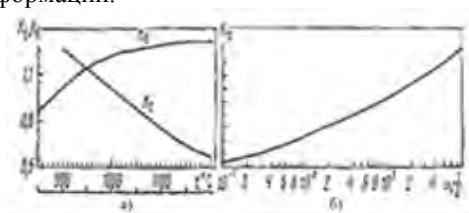


Рисунок 1 – Зависимости термомеханических коэффициентов K_t , K_ε (а) и K_u (б) от температурно-скоростных режимов деформации

По кривой зависимости $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ находится значение ε_i . Допустимая деформация $\varepsilon_{\text{доп}}$ без разрушения определяется введением коэффициента допустимой деформации $n > 1$, тогда $\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{доп}} \cdot n$. То есть подобно коэффициенту запаса прочности в расчетах деталей машиностроения,

предложен коэффициент допустимой деформации. Применительно к поперечно-клиновой прокатке степень деформации определена выражением

$$\varepsilon = (\delta^2 - 1) \cdot 100\%,$$

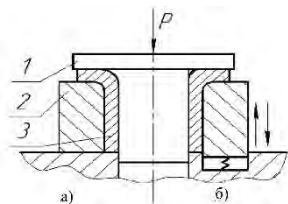
где $\delta = D/d$ – степень обжатия заготовки при ПКП.

Технологические основы отбортовки трубных заготовок с локальным нагревом

Исаевич Л.А., Сидоренко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Формообразование методами пластического деформирования относительно широких фланцев в трубных заготовках в большинстве случаев осуществляется посредством их отбортовки, являющейся завершающей стадией процесса раздачи концов этих заготовок жестким инструментом (рисунок 1).



1-пуансон, 2-матрица, 3-заготовка

Рисунок 1 – Схема раздачи (а) и осадки (б) трубной заготовки

это не допускается чертежом готовой детали, например, при изготовлении корпуса водила бортовой передачи заднего моста автомобилей МАЗ.

Учитывая данное ограничение, предложено после отбортовки по описанной выше схеме производить пластическое формоизменение торообразного участка (рисунок 2) заготовки за счет осадки ее цилиндрической части.

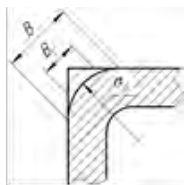


Рисунок 2 – Торообразный переход

В результате такой операции конец трубной заготовки подвергается раздаче под прямым или близким к нему углом. При этом деформирующий пуансон должен содержать плавный переход от цилиндрической части к плоскости в виде торообразной поверхности, которая неизбежно копируется в раздаваемом участке заготовки. Однако в ряде случаев

При этом полученную трубную заготовку с плоским фланцем, имеющим торообразный переход к цилиндрической полости, устанавливают в подпружиненную матрицу, а внутрь заготовки вводят ступенчатый пуансон без торообразного перехода от торца ступени к цилиндру.

Напряжение затекания определяется как:

$$\sigma_n = \beta \sigma_T \left(1 + \frac{1}{f} \right) \left[\left(\frac{B}{B_c} \right)^f - 1 \right],$$

где: f – коэффициент контактного трения.

Анализ технологических схем изготовления полых двухслойных изделий из однослойных металлических заготовок

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Ранее проведенные исследования по изучению комбинированной вытяжки полых двухслойных изделий из плоских составных заготовок позволили установить основные закономерности процесса формообразования и разработать технологические подходы и приемы, которые как оказалось, можно применить для изготовления подобных изделий и другими методами обработки давлением.

Был проанализирован целый ряд технологических схем изготовления двухслойных изделий на основе комбинированных методов обработки, предполагающих применение, помимо операций листовой штамповки (вытяжка, протяжка, отбортовка, обжим, раздача), и таких операций, как прямое и обратное выдавливание, волочение, дорнование, раскатка и др. Как и при комбинированной вытяжке возможны два подхода изготовления изделий: методом совместного деформирования составной заготовки и методом послыонного формообразования.

При совместном деформировании возможны два технологических варианта. Первый вариант предполагает существенное обжатие заготовки по толщине стенки при незначительном уменьшении ее диаметра. При этом утонение стенки происходит преимущественно за счет пластического деформирования заготовки более мягкого слоя одним из инструментов (матрицы или волоки, пуансона или дорна). При втором варианте имеет место существенная деформация по толщине и по диаметру двухслойной заготовки.

Метод послыонного деформирования имеет более широкие технологические возможности и позволяет получать изделия с равномерной толщиной слоев по длине изделия и требуемым соотношением их толщин.

Замковые соединения, обеспечивающие прочное механическое соединение слоев, создаются за счет преимущественного пластического деформирования заготовки более мягкого слоя, который заполняет имеющиеся на поверхности заготовки более твердого слоя микронеровности, канавки, локальные углубления. Создание замковых соединений возможно, как при одновременном деформировании слоев составной двухслойной заготовки, так и при отдельном (послойном) их деформировании.

Экспериментальные исследования технологии изготовления полосовой заготовки переменной толщины с локальным изгибом

Исаевич Л.А., Король В.А., Иваницкий Д.М.

Белорусский национальный технический университет

Для экспериментальных исследований процесса горячего пластического формообразования полос переменной толщины при оптимальных режимах обработки рессорно-пружинной стали были разработаны две схемы деформирования и сконструирован инструмент для их реализации. Заготовку перед прокаткой устанавливают на специальной профилированной оправке и прокатывают между двумя гладкими валками (рисунок 1, а) в первом варианте и между гладким нижним и профилированным верхним валками во втором варианте (рисунок 1, б).

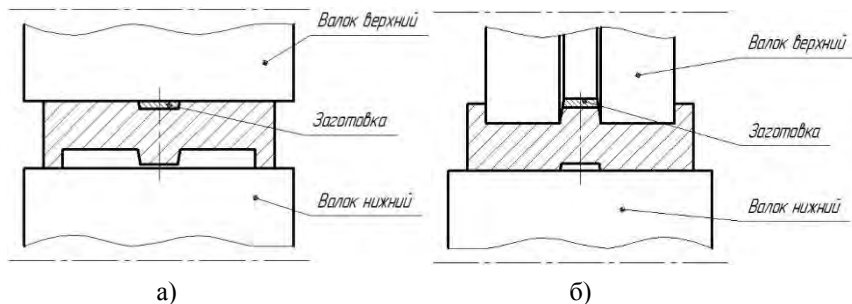


Рисунок 1. Схемы вариантов прокатки полос переменной толщины

Для обеих схем в процессе исследований было проведено компьютерное моделирование изучаемого процесса. По первой схеме формообразование полосы производили прокаткой в двух гладких валках на оправке с продольным пазом, повторяющим профиль готового изделия. В качестве заготовок использовали прямоугольные полосы 12 мм, шириной 20 мм из стали 60С2, нагретые до 900⁰С. Прокатку производили без использования смазки.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что теоретические значения усилия прокатки несколько меньше экспериментальных, что вполне согласуется с физическими представлениями о механизме деформирования, поскольку в расчетах был использован метод нижней оценки (метод плоских сечений).

**Моделирование процесса скоростного выдавливания
биметаллических резцов для дорожных и горных машин
в среде программы DEFORM 3D и натурное моделирование
с использованием модельных материалов**

Качанов И.В., Шарий В.Н., Рубченя А.А.

Белорусский национальный технический университет

В процессе разработки технологических операций скоростного горячего выдавливания биметаллических резцов необходим анализ пластического течения двух различных сталей, а также сведения о взаимодействии деформирующего инструмента и деформируемого образца при изменении технологических параметров. Для получения соответствующей информации могут быть использованы методы экспериментального исследования и компьютерного моделирования.

Для проведения сравнительных испытаний была изготовлена оснастка для моделирования процесса пластического течения металла с использованием пластилиновых заготовок. В результате выдавливания составной заготовки из пластилина была получена картина пластического течения, представленная на рисунке 1, а.

Альтернативой экспериментальному исследованию является использование имитационного моделирования процесса объёмной штамповки с помощью метода конечных элементов.



Рисунок 1 – Внешний вид образцов после деформации пластилиновой заготовки и компьютерной модели

На основе исходных данных – размеров и формы составной заготовки, пуансона и полуматриц, была создана компьютерная модель для анализа пластического течения составной заготовки. Результатом проведения компьютерного моделирования является картина течения составной заготовки, представленная на рисунке 1, б.

Из рисунка 1 видно значительное сходство в характере пластического течения сравниваемых образцов, а некоторые отличия обусловлены упрощением принятых для модели и неучтенных физических явлений при деформации пластилинового образца. В целом же моделирование пластического течения биметаллических составных заготовок можно считать качественным и достоверным.

Исследование процесса формообразования сферообразных полых изделий с использованием жесткого деформирующего инструмента

Карпицкий В.С, Карпицкий Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Сферообразные полые изделия с небольшой толщиной стенки и коэффициентом раздачи не более 1,3 могут быть получены в штампе с использованием жесткого секционного разжимного инструмента. Для уменьшения огранки на боковой поверхности изделия число секций разжимного пуансона должно быть не менее 12. Необходимая величина деформирующих усилий, создаваемых инструментом, зависит, прежде всего, от характеристик пластичности и прочности материала заготовки.

Условие равновесия тонкостенной цилиндрической заготовки может быть описано уравнением Лапласа

$$\sigma_{\theta}/R_{\theta} + \sigma_z/R_z = P_p/S_i, \quad (1)$$

где σ_{θ} и σ_z – тангенциальные и осевые растягивающие напряжения, возникающие в стенке трубной заготовки под действием раздачи P_p ;

R_{θ} и R_z – наименьшие радиусы кривизны кривизны раздаваемой части заготовки в поперечном и продольном сечениях;

S_i – текущая толщина стенки заготовки.

В случае простого нагружения жестким деформирующим инструментом величина R_z весьма велика, поэтому уравнение (1) можно записать в виде

$$\sigma_{\theta}/R_{\theta} + \sigma_z/R_z = P_p/S_i. \quad (2)$$

Тогда усилие раздачи определяется как

$$P_p = \sigma_{\theta} \cdot S_i/R_{\theta}. \quad (3)$$

Из совместного решения уравнения (3) и условия пластичности $\sigma_{\theta} = \sigma_s$ можно определить минимальное необходимое усилие раздачи заготовки

$$P_{pmin} = \sigma_s \cdot S_i/R_{\theta}. \quad (4)$$

Значение разрушающего усилия раздачи P_{pmax} может быть определено на основе предположения о том, что предельные растягивающие тангенциальные напряжения σ_{θ} в зоне раздачи достигает величины, равной временному сопротивлению материала заготовки при растяжении.

Тогда можно записать

$$P_{pmax} = \sigma_{bt} \cdot S_i/R_{\theta}. \quad (5)$$

Износостойкость заэвтектических хромистых чугуновБарановский К.Э.¹, Проворова И.Б.¹, Розенберг Е.В.¹, Дувалов П.Ю.²¹Белорусский национальный технический университет,²Институт технологии металлов НАН Беларуси

Современная промышленность требует использования новых материалов с повышенными эксплуатационными свойствами, обеспечивающими надежность и долговечность работы оборудования без замены деталей. Эта задача решается ведущими фирмами США, Европы и Китая за счет применения износостойких хромистых чугунов (ИХЧ) с повышенным содержанием углерода (увеличивается количество карбидов). Зарубежные ИХЧ относятся к эвтектическим чугунам и содержат 30-35% карбидов.

Современные марки ИХЧ исчерпали ресурс увеличения износостойкости, так как он ограничивается, в основном, содержанием в них карбидов. Поэтому представляло интерес исследовать износостойкость заэвтектических чугунов, содержащих разное количество углерода и, соответственно, до 50-52% специальных карбидов. В лабораторных условиях сравнивалась износостойкость заэвтектических чугунов (3,9 и 4,3 % С) и эвтектических (3,5% С). Во всех сплавах содержание легирующих элементов было приблизительно одинаково. Чугун, содержащий 4,3 % С, дополнительно легировался карбидообразующими элементами для измельчения заэвтектических карбидов.

Испытания на износостойкость проводились в режиме трения образца о шлифовальный круг из карбида кремния. Параметры испытаний (скорость, нагрузка и т.д.) подбирались исходя из реальной скорости износа деталей в процессе эксплуатации. Исследования показали, что удельный износ термообработанных (закаленных) образцов чугунов был следующим: эвтектический чугун (3,5% С) – 0,1 г/см² ч; заэвтектический чугун (3,9% С) – 0,067 г/см² ч; ; заэвтектический чугун (4,3% С) – 0,012 г/см² ч.

Испытания в лабораторных условиях показали, что износостойкость заэвтектического чугуна, содержащего 3,9% С, в 1,5 раза, а износостойкость заэвтектического легированного чугуна, содержащего 4,3% С, – в 8 раз выше, чем у эвтектического чугуна.

Проведенные исследования позволили установить перспективность использования заэвтектических хромистых чугунов для повышения износостойкости деталей работающих в условиях абразивного износа.

Моделирование процесса скоростного горячего выдавливания биметаллического инструмента для метизного производства

Кудин М.В., Зубрицкий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы, является установление возможности изготовления навивочной оправки (далее – «инструмент») методом скоростного горячего выдавливания с возможностью плакирования рабочей поверхности.

Компьютерное моделирование проводилось с использованием математического пакета DEFORM-3D. Пластическое течение составной заготовки показало возможность одновременного формирования геометрии инструмента и плакирующего слоя на его рабочей части (рисунок 1).

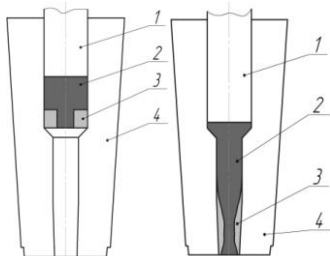


Рисунок 1 - Моделирование пластического течения составной заготовки в закрытом

легированной конструкционной стали, а нижняя 3 – из высоколегированной штамповой стали. Формирование размеров и геометрии готового инструмента осуществляется за счет закрытой штамповки с точным расчетом объема заготовки.

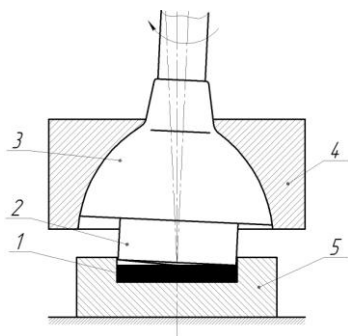
Использование данной схемы изготовления инструменты позволяет достичь значительной экономии дорогостоящих штамповых сталей (до 90%), а также улучшить качество изделий за счет лучшей проработки структуры. При этом повышаются эксплуатационные характеристики инструмента.

Разработка технологии получения поковок конических зубчатых колес сферодвижной штамповкой

Кудин М.В., Лозовенко Р.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В конструкциях современных двигателей широкое применение находят детали сложного рельефа, к которым относятся зубчатые колёса, диски, фланцы. Следствие несовершенства применяемой технологии изготовления таких деталей связано с большим объёмом черновой механической обработки и повышенным расходом дорогостоящих и дефицитных материалов. Одним из путей решения этой проблемы является разработка и внедрение новых процессов, обеспечивающих получение заготовок с минимальными припусками на механическую обработку и высоким коэффициентом использования металла. К числу таких процессов, основанных на локальном приложении нагрузки, относится сферодвижная штамповка.



1-заготовка; 2-пуансон; 3-водило;
4-подпятник; 5-матрица

Рисунок 1 - Схема процесса сферодвижной штамповки

Сущность сферодвижной штамповки (рисунок 1) заключается в том, что общая деформация осуществляется в результате локального, последовательного и многократного воздействия пуансона и матрицы на заготовку, в результате чего деформируемые участки подвергаются последовательному пульсирующему нагружению.

Таким образом, уменьшение контактной поверхности, пульсирующий характер нагружения и изменение схемы действия сил в зоне очага деформации оказывают большое влияние на изменение условий контактного трения, значительно снижают удельное давление и позволяют до 10-15 раз уменьшить потребное технологическое усилие.

Физико-математическая модель скоростного выдавливания биметаллического инструмента с формообразующей полостью

Ленкевич С.А., Власов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс изготовления биметаллического инструмента с формообразующей полостью заключается в скоростном ударном воздействии пуансона 1 на составную заготовку 2 (рисунок 1). В результате ударного воздействия происходит выдавливание полости 3 и затекание в кольцевую проточку 4 металла. Составную заготовку 2 выполняют из двух частей, при этом нижняя часть выполнена из конструкционной стали, а верхняя – из штамповой стали. При совместном пластическом течении двух частей составной заготовки 2 в кольцевую проточку 4 разъемной матрицы 5 формируется неразъемное соединение между двумя частями заготовки.

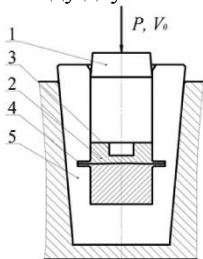


Рисунок 1 – Схема изготовления биметаллического инструмента с формообразующей полостью

На основании анализа решений плоских динамических задач по определению энергосиловых параметров процессов скоростного деформирования применим метод верхней оценки, который позволяет учесть ряд динамических явлений, возникающих при взаимодействии пуансона с составной заготовкой, исследовать кинематику скоростного процесса, провести анализ ударного нагружения с учетом возникающих явлений инерции на различных стадиях процесса и получить решение в замкнутой аналитической форме для расчета минимального верхнеграничного усилия, действующего на инструмент при осуществлении ударного процесса.

Расчетная физико-математическая модель составляется со следующими допущениями: материал заготовки однородный, несжимаемый, изотропный, жесткопластический, удовлетворяющий критерию текучести Губера-Мизеса; внедряемый мастер-пуансон и контейнер матрицы – абсолютно жесткие; формирование очага пластической деформации происходит в начальной стадии соударения пуансона с заготовкой; вид поля линий скольжения в каждый момент времени не зависит от абсолютной скорости и ее изменения (квазистатическая задача); силы инерции не оказывают влияния на кинематику формоизменения (псевдостационарное течение).

**Новые материалы
и технологии
в машиностроительной
и космической отрасли**

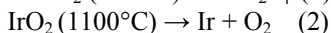
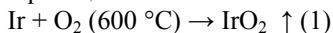
Лазерные кристаллы: выращивание, исследование свойств, применение

Матросов В.Н.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

Первый лазер на рубине был создан в 1960 году, далее последовала серия лазеров на различных гранатах. Все эти лазеры могли работать только на одной длине волны, хотя для решения многих задач необходим был лазер, работающий в широком диапазоне длин волн – перестраиваемый лазер. Ситуация изменилась, когда мы впервые вырастили кристаллы александрита и, на них был впервые создан перестраиваемый лазер, работающий при комнатной температуре в диапазоне волн от 700 до 820нм. Это способствовало открытию нового научного направления в области материаловедения и квантовой электроники. Далее были выращены кристаллы $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$, $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Cr}^{4+}$, $\text{BeAl}_6\text{O}_{10}:\text{Cr}^{3+}$ и другие. Автор данного сообщения принял самое активное участие в становлении этого научного направления.

Все указанные кристаллы выращиваются методом Чохральского из иридиевых тиглей в установках с индукционным нагревом. Одной из основных проблем получения высококачественных кристаллов является захват растущим кристаллом мелкодисперсного иридия, находящегося в расплаве. Образование мелкодисперсного иридия протекает по следующим реакциям:



Для уменьшения образования мелкодисперсного иридия необходимо использовать высокий вакуум, очищенный от кислорода защитный газ, высокотемпературный отжиг керамики.

Кристалл формируется на границе трех фаз: твердой, жидкой и газообразной. Эта граница называется фронтом кристаллизации (ФК) и она ответственна за формирование структуры кристалла, за ориентацию атомов в нем, за качество полученных кристаллов. Поэтому контроль и управление формой ФК является главной задачей получения кристаллов с малыми оптическими потерями. Для решения этой задачи была разработана система автоматического управления этим параметром на протяжении всего процесса выращивания кристаллов. В докладе изложены прорывные направления применения указанных кристаллов в сверхмощных фемтосекундных лазерах, таких как лазерный термоядерный синтез и лазерные

ускорители элементарных частиц.

УДК 524.57

Высокоэнергетические процессы при соударении преграды с космической пылью

Ушеренко С.М., Петлицкий А.Н., Ушеренко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет, ОАО «Интеграл»,
Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки
кадров по новым направлениям развития техники, технологии
и экономики»

Столкновения космических аппаратов (КА) с твердыми телами естественного и искусственного происхождения относятся к числу важнейших факторов, вызывающих повреждения и разрушения КА. Общая масса космического мусора в ОКП оценивается в 3500–4000 тонн. Твердые частицы с поперечными размерами менее 1 мм можно рассматривать как постоянно воздействующий на КА фактор, характеризуемый плотностью их потока. Скорости соударения КА с метеорными телами и с объектами, входящими в состав космического мусора, лежат в диапазоне $\sim 1\text{--}50 \text{ км с}^{-1}$. При таких скоростях соударения происходит интенсивное энерговыделение в ограниченном объеме вещества, сопровождающееся формированием ударных волн с последующими механическими разрушениями, плавлением, испарением и термической ионизацией. При ударе пылевых сгустков по поверхности защитных металлических преград процесс проникания одной микрочастицы происходит в условиях действия фонового давления. При этом отверстие позади ударника схлопывается. Из-за этой особенности (захлопывание отверстий) длительное время признавали возможность пробивания пылевыми частицами металлических преград КА.

В результате исследований явления "сверхглубокого проникания" (СГП), была экспериментально доказана возможность проникания сгустка микрочастиц с размерами менее 0,5 мм и в рамках диапазона скоростей 300-6000 м/с на глубины в 100...10000 калибров ударника. Качественное отличие от макроудара заключается в закрытом характере взаимодействия ударника внутри материала преграды. Электромагнитное поле создается за счет движения микрочастиц внутри твердого тела. Происходит трение с потерей массы и возникновение в материале преграды зарядов. Движение множества заряженных микрочастиц и пульсация областей высокого давления приводит к созданию и пульсации плотной плазмы внутри преграды. Ударно-волновые процессы перемещают в металлах обобществленные электроны. Вокруг преграды при движении зарядов возникает электромагнитное поле. При СГП массивная преграда является источником высоко-

энергетических ионов. Таким образом, поражение КА пылевыми сгустками может быть значимой причиной выхода из строя системы управления космического аппарата.

УДК 621.762

Капиллярная структура тепловой трубы космического применения

Романенков В.Е., Петюшик Е.Е., Афанасьева Н.А.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики», ГНПО порошковой металлургии, Белорусский национальный технический университет

На основе метода гидратационного твердения дисперсного алюминия разработана технология формирования капиллярной структуры (КС) в виде пористого наноструктурного слоя на внутренней поверхности алюминиевых профилей с аксиальными канавками различной конфигурации (рисунок, а). Толщина КС составила 40-150 мкм (рисунок, б). На поверхности частиц алюминия и профиля формируется система наночастиц бемита округлой формы с характерным размером ~ 100 нм, соединенных между собой фазовыми контактами (рисунок, в). В таблице приведены основные структурные и каркасные свойства КС.

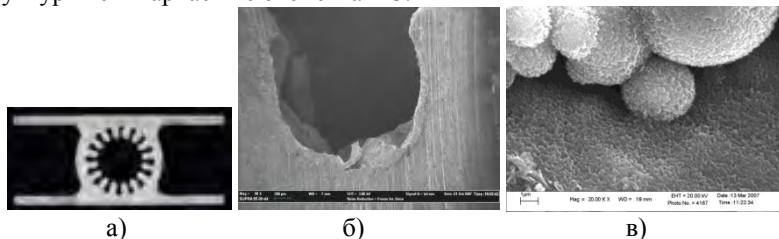


Рисунок – Алюминиевый профиль (а), СЭМ-фото КС на Ω -образных канавках профиля (б, в).

Таблица – Свойства капиллярной структуры на алюминиевом профиле

Пористость, %	Кэфф. проницаемости, $K \times 10^{-13}, \text{м}^2$	Макс. размер пор, мкм	Средний размер пор, мкм	Уд. поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	Предел прочности при сжатии, МПа	Прочность адгезии, МПа
~ 42	0,43	4,0	$\sim 1,0$	70,5	68	$\sim 2,0$

Тепловые трубы длиной 1 м и с КС и без нее были протестированы в лаборатории пористых сред ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси в идентичных условиях в температурном диапазоне $-30 \dots +80^\circ\text{C}$ (теплоноситель – аммиак высокой чистоты). Установлено, что для всех температур

термическое сопротивление испарителя тепловой трубы с КС ниже в 1,3-1,8 раза.

УДК 621.691

Некоторые особенности дисперсного упрочнения плазменных покрытий

Руденская Н.А.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

Упрочнение покрытий в результате импульсного деления плазменных сфероидов. Процесс структурообразования плазменных покрытий состоит из двух стадий: взаимодействие частиц с потоком ионизированного газа; взаимодействие частиц между собой и с материалом основы. В плазменном потоке происходит не только изменение химического и фазового состава частиц, но и их дисперсности. Установлено, что частицы многих керамических и металлокерамических порошков измельчаются по механизму импульсного деления плазменных сфероидов. Гранулометрический состав таких порошков существенно изменяется: появляется значительная доля ультрадисперсной составляющей. Измельчение исходных частиц порошка непосредственно в процессе напыления позволяет формировать в покрытиях более тонкие структуры и, соответственно, существенно изменять их эксплуатационные характеристики и качество (высокая адгезионная прочность; износостойкость в 3 раза выше, чем у покрытий из корунда; пористость – менее 1%). Показано, что существует возможность диспергирования частиц керамики и металлокерамики размером менее 500 мкм. Степень диспергирования составляет 37% для частиц фракции 250-500 мкм и до 90% в случае использования исходных порошков фракции 40-100 мкм. Выход ультраразмерных частиц для средних фракций составляет до 68%.

Модифицирование упрочняющей фазы при взаимодействии с самофлюсующимся хромоникелевым сплавом. В случае использования в качестве упрочняющей добавки порошков, содержащих оксид титана, в напыленном слое, при его оплавлении, выявлены следующие основные физико-химические процессы: 1) Перераспределение кремния в твердом Cr-Ni(Co) -растворе; 2) Кристаллизация карбидных фаз 4 видов: иглообразные однородные; имеющие форму многогранника с двухфазной структурой (плакированные с карбидной оболочкой); композиционные (сложные, состоящие из фаз первых двух видов); однородные компактные; 3) Кристаллизация фаз переменного состава, со-

держат бор и углерод: карбоборидных, оксикарбидных, оксикарбоборидных. 4) Карботермический процесс (восстановление титана и карбидообразование с участием хрома и железа из твердого раствора), в результате которого формируются 4 вида титансодержащих фаз: твердый раствор Ni-Co-Cr-Fe-Si-Ti с содержанием титана 17,49-19,73 мас. %; сложные карбиды типа (Cr, Ti, Fe)C, содержание титана в которых находится в пределах 12-23 мас. %; сложные карбиды типа (Cr, Ti, Fe)C с содержанием титана 0,34-0,54 мас. %; оксикарбиды (Cr, Ti, Fe, Si)C_xO_y, содержащие титан до 3 мас. %.

Среди титансодержащих включений обнаружено несколько видов, различающихся по форме, структуре и химическому составу.

Упрочнение керамических покрытий высокобарной фазой в виде стишовита. Впервые в практике газотермического напыления получены высокоплотные градиентно-аморфно-кристаллические керамические покрытия, упрочненные ультрадисперсными фазами стишовита.

УДК 621.762

Использование микроволновой обработки для стимулирования экзотермического синтеза при получении огнеупорных и теплоизоляционных материалов

Какошко Е.С., Реут О.П.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

В настоящее время в химии большое внимание уделяется исследованиям в области новых энергосберегающих и экономичных технологий, а также исследованиям экологически безопасных процессов. В связи с этим большое значение приобретает поиск новых путей активации химических процессов.

В течение последних двадцати лет все возрастающий интерес проявляется к химическим реакциям, протекающим в условиях микроволнового облучения. В силу особенностей микроволнового нагрева использование электромагнитной энергии открывает широкие возможности для синтеза порошков неорганических соединений с контролируемыми свойствами. При микроволновом нагревании стенки сосуда не нагреваются, греется только реакционная смесь, что приводит к значительному (до тысячи раз) 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, что обуславливает направленную активацию реагирующих молекул.

Создание новых огнеупорных и тугоплавких теплоизоляционных материалов планируется проводить с использованием экзотермического синтеза (СВС), энергетически стимулированного микроволновым излучением (СВЧ). Температура, развиваемая при СВС-процессе, высокая, и, как правило, близка к температуре плавления продукта. Тем не менее, качественного спекания продукта обычно не происходит. Газы, выделяющиеся при СВС процессах в результате восстановления оксидных пленок или разложения примесей, удаляясь из образца с большой скоростью, препятствуют спеканию. Обычное состояние продуктов в таких случаях – плохо спеченное вещество, легко разваливающееся на отдельные частицы или агрегаты частиц. Таким образом, термодинамическое взаимодействие в реакционных порошковых смесях в процессе экзотермического синтеза, стимулированного микроволновой обработкой, будет носить более управляемый характер, направленный на получение огнеупорных керамических материалов с заданными свойствами.

УДК 621.762

**Использование известкового трепела Республики Беларусь
при получении огнеупорных
и теплоизоляционных СВС-материалов**

Саранцев В.В., Какошко Е.С., Реут О.П.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки
кадров по новым направлениям развития техники, технологии
и экономики»

Получение огнеупорных и теплоизоляционных СВС-материалов проводится в системе «трепел–алюминий–углерод» на основе природного сырья – известкового трепела единственного в Беларуси месторождения «Стальное» (Хотимский р-н, Могилевская обл.) и добавок металлического алюминия, углерода (сажа), силикатов натрия и калия и др. С целью оценки возможного механизма взаимодействия при СВС, выполнено термодинамическое моделирование (ТМ) химически реагирующих гетерогенных систем на основе трепела при использовании алюминия и углерода в качестве восстановителей. При выполнении термодинамических расчетов принято три серии составов порошковых смесей, мас. %: I серия составов – (10–35) Al+(90–65) трепела; II серия составов – (70 трепел+30 Al)+(5-10) С; III серия составов – 100% (67,5 трепел+32,5Al)+10С. По результатам ТМ определен базовый оптимальный состав, содержащий мас.%, 70 трепела и 30 Al, на основе которого синтезировано четыре состава порошковых смесей, отличающихся различными комбинациями вводимых добавок (сверх 100%): измельченная тугоплавкая глина месторождения «Городное» в количестве 10 мас.% (состав А); глинофосфатное связующее – ту-

гоплавкая глина месторождения «Городное», обработанная 50%-ным раствором H_3PO_4 , в количестве 10 мас.% (состав В); 70 мас.% трепела, обработанного $NaOH$, и 30 мас.% алюминия (состав С); 70 мас.% трепела, обработанного $NaOH$, 30 мас.% алюминия и 10 мас.% глинофосфатного связующего (состав D).

По данным рентгенофазового анализа основными фазами, образующимися в СВС-смесях состава В, являются корунд ($\alpha-Al_2O_3$) – 65%, свободный кремний (Si) – 26% и силицид кальция ($CaSi_2$) – 9%; состава С – Si (69%), Al_2O_3 (14%), $CaSi_2$ (13%), $\alpha-Al_2O_3$ (4%); состава D – Si (33%), $\alpha-Al_2O_3$ (31%); шпинель ($MgAl_2O_4$) – 11%, Al_2O_3 (14%), $CaSi_2$ (2%), а также присутствуют фазы $Ca(OH)_2$ – 12%, Na_2CO_3 – 11%.

Синтезированные СВС-материалы обладают следующими показателями основных свойств: плотность кажущаяся 800–1540 кг/м³, плотность истинная 2200–2650 кг/м³, пористость истинная 62–65%, механическая прочность при сжатии 2,4–3,8 МПа, теплопроводность при 200°C 0,18–0,20 Вт/(м·К) и могут быть использованы в качестве огнеупорных и теплоизоляционных материалов при конструировании теплозащиты любого теплового агрегата.

УДК 666.762.5:54-162

Особенности структурной инженерии в технологиях триботехнических материалов и изделий

Шмурадко В.Т., Степкин М.О.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки
кадров по новым направлениям развития техники, технологии
и экономики»

Актуальность, научная значимость и практическая направленность исследования состоит в разработке физико-химических основ структурной инженерии и создании на базе материаловедческой программной формулы «состав-структура-свойство» высокопрочных износостойких материалов и изделий триботехнического назначения на основе корунда, модифицированного ультрадисперсными оксидами Mg, Si, Y, Zr, что позволит в дальнейшем организовать их выпуск на уровне мобильных производств. Имеются в виду такие изделия, как уплотнительные элементы высокоскоростных устройств, дюзы для риммеров подземной проходки грунтов, износостойкие элементы бурового оборудования и пр.

Используя разработанные принципы и механизмы управления структурными уровнями, в рамках программной материаловедческой формулы «состав-структура-свойство» - «триботехнический материал», созданы и реализованы физико-химические подходы синтеза износостой-

ких корундовых материалов с добавками-модификаторами. Получены базовые составы триботехнических материалов α - Al_2O_3 - MgO (M1), α - Al_2O_3 - ZrO_2 ЧСЦ Y_2O_3 (M2), заменившие твердосплавные. На их основе получены гранулированные пресспорошки. Исследованы механизмы пресования материалов из гранул при 50-300 МПа и процессы их тепловой обработки при 1600 °С - 1800 °С. Установлены и обоснованы закономерности фазовых переходов моноклинного (m)- ZrO_2 в тетрагонально-кубические фазы (t-c) ZrO_2 в корундовой матрице (α - Al_2O_3) при скоростном охлаждении (1800 → 1200 °С) оксидной композиции α - Al_2O_3 - ZrO_2 . Проведен анализ механизмов дисперсного упрочнения корундовой матрицы ультрадисперсными частицами (30-100 нм) из диоксида циркония частично стабилизированного оксидом иттрия (ZrO_2 ЧСЦ Y_2O_3) в температурном режиме 24 → нагрев → 1800°С → скоростное охлаждение → 1300°С. Установлено, что наиболее эффективно механизмы дисперсного упрочнения выполняются при введении в корундовую матрицу частиц ZrO_2 размером 50–75 нм. Разработаны температурно-временные режимы спекания и получения дисперсно-упрочненных корундовых материалов. Исследованы их физико-механические свойства. Изготовлены экспериментальные образцы уплотнительных колец и абразивно-износостойких дюз (сопла) (рис. 1,2) для риммеров подземной бестраншейной проходки грунтов и одновременной прокладки кабельных коммуникаций в промышленно-городских условиях. Проведены успешные натурные испытания



Рисунок 1 – Дюзы для риммеров подземной проходки грунтов



Рисунок 2 – Кольца керамические уплотнительные для высокоскоростных устройств

экспериментальных образцов. Разработанные материалы имели следующие свойства: для M1: α - Al_2O_3 + MgAl_2O_4 - $K_{1c} = 3,5 - 5,6$ МПа \times $\text{м}^{0,5}$, тогда как для MgAl_2O_4 - $K_{1c} = 1,8 - 2$ МПа \times $\text{м}^{0,5}$; α - Al_2O_3 - $K_{1c} = 3,6 - 4,6$ МПа \times $\text{м}^{0,5}$; $E_{M1} = 398$ ГПа, $\sigma_{\text{изг.}M1} = 274$ МПа, $\rho = 3,94$ г/см³, $K_{\text{тр.}M1} = 0,3 - 0,48$, $K_{\text{изн.ст.}} = (4,3 - 5,0) \times 10^{-5}$ г/ч; для M2: α - Al_2O_3 + ZrO_2 ЧСЦ 3 масс. % Y_2O_3 - $K_{1c} = 6,6 - 7,4$ МПа \times $\text{м}^{0,5}$, $E_{M2} = 350 - 357$ ГПа, $\sigma_{\text{изг.}M2} = 530 - 598$ МПа, $\rho = 4,25 - 4,33$ г/см³, $K_{\text{тр.}M2} = 0,2 - 0,45$, $K_{\text{изн.ст.}} = (4,0 - 6,10) \times 10^{-5}$ г/ч.

Материаловедческие подходы в создании корундосодержащих огнеупоров

Шмурадко В.Т., Степкин М.О.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

В рамках материаловедческой программной формулы «структура-свойство», разработаны физико-химические основы создания термостойких и химически устойчивых структур, сформированных на основе Al_2O_3 и твердых растворов оксидов Y, Mg, Si, Zr в Al_2O_3 , с учетом образующихся низко- и высокотемпературных эвтектик. Данные материалы обеспечивают работу тепловых агрегатов в диапазоне высоких и повышенных температур, агрессивных сред (кислотно-щелочных, восстановительных).

Разработана физико-химическая модель термостойких и химически устойчивых материалов на основе модифицированного Al_2O_3 . Структурно модель представляет корундовую матрицу, по границам зерен которой расположены оксиды-модификаторы (SiO_2 , MgO , ZrO_2), приводящие, во время тепловой обработки и спекания, к зернограничному структурированному упрочнению материала, изменению и повышению его физико-химических свойств, созданию фрагментальной структуры, приводящей к модификационному химическому упрочнению и синтезу термостойких зернограничных фаз на основе $MgAl_2O_4$, $3 Al_2O_3 \times 2SiO_2$, m - ZrO_2 . Разработаны методики синтеза термокоррозионноустойчивых корундовых материалов и физико-химические процессы структурной инженерии термостойких и химически устойчивых материалов. Проведен анализ причин разрушения керамических материалов, которыми являются напряжения I рода (термические) и II рода (химические), вызываемые градиентом температур, анизотропией ТКЛР, локальными химическими реакциями, полиморфизмом. Изучены процессы и механизмы создания термостойких структур, а на их основе разработаны режимы сухого и мокрого размола, трибохимической обработки корундовых композиций и получения из них высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС); затем – шликерных отливок с высокой плотностью; переработки отливок в гранулированные порошки, их прессования и спекания экспериментальных образцов. Выполнен физико-химический анализ фазовых диаграмм состояния $Al_2O_3 - SiO_2$, $Al_2O_3 - MgO$, $Al_2O_3 - ZrO_2 - SiO_3$, $Al_2O_3 - MgO - SiO_2$; исследованы режимы тепловой обработки и спекания материалов на основе модифицированного Al_2O_3 . Созданы керамоогнеупорные материалы с

микротрещиноватой «фрагментальной» структурой корундоциркониевого, корундоцирконового, корундо-шпинельного, муллитокорундового составов со следующим диапазоном свойств: $\rho = 2,3-3,9 \text{ г/см}^3$, $K_{Ic} = 2,1-6,3 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$, $\sigma_{сж.} = 200-500 \text{ МПа}$, $\sigma_{изг.} = 70-190 \text{ МПа}$, термостойкость $R_{1000}^0 \text{ С-вода} = 16-36 \text{ термоциклов}$.

Заключение. В рамках материаловедческой программной формулы «состав-структура-свойство» - «термокоррозионностойкий материал» на основе Al_2O_3 , анализа фазовых диаграмм состояния, технологического регламента получения качественных огнеупоров установлены термодинамические и кинетические условия твердофазного спекания корундовых материалов. На их основе изготовлены и испытаны огнеупорные дозирующие воронки. Дозирование алюминий-магниевого расплава в высокоскоростную центрифугу-кристаллизатор позволило создать чистые (без включений) кристаллические структуры на основе алюминия с повышенными физико-механическими свойствами.

УДК 524.57

Влияние воздействия высокоскоростных потоков микрочастиц на элементы электроники космического назначения

Овчинников В.И., Белоус А.И.

Обособленное хозрасчетное подразделение
«Научно-исследовательский институт импульсных процессов
с опытным производством», ОАО «Интеграл»

Актуальность проблемы анализа причин отказов для изделий ракетно-космической техники (РКТ) обусловлена огромной потенциальной угрозой природе планеты Земля. В настоящее время экспертами активно разрабатывается гипотеза, что одной из вероятных причин отказов электронных систем КА являются потоки космических пылевых частиц и высокоэнергетических (галактических) ионов, движущиеся в околоземном и межпланетном пространстве и имеющие скорости от 1 до 80 км/с и более.

Одним из основных показателей надежности любого КА является безотказность его функционирования. В НПО порошковой металлургии реализуются перспективные подходы к оптимизации комплектов бортовой аппаратуры (БА). Выполняется ряд исследований, направленных на развитие методов ускоренных испытаний на безотказность и наработку до отказа применительно к микросхемам с субмикронными размерами элементов. В связи с этим актуальным является моделирование и исследование влияния и возможных повреждений конструкций ударами микрочастиц размером $< 100 \text{ мкм}$ с относительно низкими скоростями порядка 1-5 км/с, которые соответствуют скоростям соударения КА с микрочасти-

цами космической пыли.

Соударение высокоскоростных потоков частиц с преградой сопровождается ударно-волновым процессом, высоким давлением, прониканием частиц, электромагнитным импульсом и ионизирующим излучением, т.е. комплексом эффектов. В результате выполнения проведенных экспериментов было установлено, что при соударении высокоскоростного потока частиц (скорость 800-1500 м/с), процесс сопровождается следующими эффектами:

- образуется ударная волна, и ряд вторичных ударных волн, а также генерируемые ими высокочастотные процессы и условия резонанса;
- формируется импульс электромагнитного излучения, магнитные и наведенные электрические поля;
- существует фактор теплового воздействия;
- происходит проникание микрочастиц.

УДК 666.762.1:621.762.4

Физико-химические основы структурной инженерии термостойких электроизоляционных материалов

Пантелеенко Ф.И., Пантелеенко Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность: повышение надежности и долговечности функциональных керамических деталей машин работающих в режимах электрических, термических и механических нагрузок; создание импортозамещающих (производства Японии, США, Канады) термостойких электроизоляторов для электротрансмиссий тормозных установок УВТР 2х750 карьерных самосвалов БелАЗ.

Цель исследования: создание физико-химических основ процессов и механизмов структурной инженерии в технологиях получения электроизоляторов, стабильно работающих в режиме вибромеханических, термических и электрических нагрузок в электротрансмиссиях .

Основные результаты исследования, научная новизна и практическая значимость: разработаны материаловедческие основы физико-химических процессов и механизмов создания электротермостойких кордиеритовых материалов на основе Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , ZrO_2 , модифицированных цирконом и муллитом, способных к диссипации термомеханических нагрузок, создаваемых резистивным электронагревом; установлены законы и закономерности формирования иерархии термостойких диссипативных структур в кордиерите ($2Al_2O_3 \cdot x_2MgO \cdot x_5SiO_2$) и кордиерите, упрочненном дисперсным и ультрадисперсным муллитом и цирконом на «атомарно-молекулярно-кристаллическом» и кристалло-химическом уровнях; выяв-

лено положительное влияние модифицирующих ультрадисперсных муллитовых, цирконовых и муллито-цирконовых структур, образующих иерархию диссипативных элементов структур (ДЭС) и работающих на уровнях от атомарного до макроуровня, на электротермомеханическую прочность кордиеритового материала, работающего в области сдвиговой упруго-вязкопластической деформации без нарушения межатомных связей (при резистивном нагреве 24-1000°C); установлены процессы, механизмы и принципы структурообразования модифицированного кордиерита и технологического получения указанных деталей; установлена тесная взаимосвязь активности ДЭС с термически обратимыми химическими реакциями, протекающими в кордиеритовой матрице на различных уровнях; сформулирована концепция создания изоляторов с набором электрических, термических и механических свойств для тормозных электротрансмиссий УВТР 2х750 к/с БелАЗ, взаимосвязывающая фазовый состав, структуру, методы и процессы синтеза последней, а также набор свойств. Данная разработка позволит, при завершении выполнения, организовать выпуск отечественной электроизоляционной продукции, произвести импортозамещение и организовать экспорт.

Анализ текущих результатов исследования: характеристика порошковых кордиеритовых композиций до и после прессования и спекания: насыпная плотность шихты: 0,6-0,65 г/см³; при виброутряске – 0,72-0,79 г/см³; после гранулирования – 0,88-0,93 г/см³; относительная плотность после изостатического прессования – 0,7 – 0,8; кажущаяся плотность $\rho_{пр.} = 1,85 - 2,15$ г/см³; плотность после спекания $\rho_{пр} = 2,67-2,75$ г/см³; пористость закрытая < 1,5 %; температура синтеза кордиеритовых материалов – 1430°C. Разработана КД технологической оснастки для изостатического прессования опытно-экспериментальной партии электроизоляторов. Работа выполняется в рамках ГПНИ, подпрограмма «Материалы в технике», задание 4.03.02. Разработаны фазовые составы и структура, установлены физико-химические процессы синтеза кордиеритовых материалов; при этом достигнуто оптимальное сочетание электрических, механических свойств и термостойкости: рабочее напряжение до 3 кВ; рабочая температура (-60) - (+1000) °C; стойкость к термоударам не менее 600°C; минимальное электросопротивление при влажности 65 ± 15 %; t=20 ± 5 °C – 2000 МОм; после 48 часов в камере влажностью 95 ± 3 % и t=20 ± 5 °C изолятор выдерживает в течение 1 минуты действие переменного тока 350В, 60 Гц; влагопоглощение – 0 %; пористость закрытая ~ (1-1,5) %; $\sigma_{сж} = 360$ МПа; $\sigma_{изг} = 120$ МПа; $\sigma_p = 55-60$ МПа; $\sigma_{уд.в} = 2,3-2,5$ КДж/м²; E = 8,1-8,8 ГПа.

Снижение энергоемкости процесса деревообработки за счет удаления отходов из зоны резания без их уплотнения

Карпович С.С.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

Образовавшиеся в процессе резания отходы (опилки, стружки) перемещаются по передней поверхности зуба режущего инструмента ко дну впадины зуба, при этом силы трения замедляют их перемещение, и, когда взаимодействующие силы сравниваются по величине, их движение прекращается. В дальнейшем происходит уплотнение и наложение следующих объемов опилок, стружки. Такой механизм многократно повторяется и образуется многослойный спрессованный брикет, степень диспергирования которого зависит от породы древесины, ее влажности, режимов резания, геометрии инструмента. Размеры и конфигурация впадин, которые предназначены для размещения, транспортировки и удаления отходов, в основном и обеспечивают процесс закрытого резания и влияют на энергоемкость самого процесса. Когда впадины зуба оказываются заполненными до определенного объема, нормальный ход стружкообразования нарушается. Количественно эту ситуацию определяют введением коэффициента напряженности работы впадины. От полноты заполнения впадины зависят и силовые параметры резания. При пилении сила резания растет пропорционально высоте пропила только до определенного момента заполнения впадины. Дальнейшее увеличение высоты пропила ведет к интенсивному росту силы резания, в том числе и за счет трения уплотненной стружки во впадине зуба о стенки пропила.

Разработана и запатентована конструкция фрезы с зубчатым венцом, представляющем собой дугообразные пластинки с заостренным торцом, напряженное состояние которым придается при фиксации их на корпусе инструмента, а внутренняя поверхность такого режущего элемента образует сквозную полость. Контакт режущей кромки с обрабатываемым материалом осуществляется сначала в одной точке с постепенным увеличением зоны контакта на остальную длину лезвия симметрично справа и слева от точки касания. Срезанный объем материала перемещается по передней поверхности режущего клина, попадает во внутреннюю сквозную полость и удаляется из зоны резания без дополнительной деформации. Отсутствие деформации, уплотнения отходов снижает величину энергоемкости процесса резания, что подтвердили проведенные лабораторные испытания изготовленной фрезы.

Реализация инновационного проекта «мотоцикл с наддувом»

Стародетко К.Е.

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики»

Современная экономическая ситуация характеризуется затяжным мировым кризисом. Часто обсуждаемым вариантом выхода из кризиса называют деверсификацию экономики, поиск новых продуктов, услуг, способных оживить систему спроса и предложения. В современных условиях для получения полноценного результата на мировом рынке необходим комплексный подход к разработке технических новшеств, обязательно включающий в себя маркетинговую, производственную и логистическую составляющие.

Командой разработчиков была выбрана маркетинговая ниша в рынке мотоциклов. Этот рынок разбит на 2 больших сегмента – первичный рынок (или рынок OEM), насчитывающий около 200 производителей мотоциклов, производящих 70 млн. мотоциклов в год и вторичный рынок, насчитывающий около 200 млн. мотоциклов уже находящихся в эксплуатации. Такие объемы производства позволяют гарантировать спрос на новшества в области усовершенствования мотоциклетных двигателей.

Возможное техническое решение состоит в разработке средств наддува, создания приводного и недорогого нагнетателя, который бы решал задачу улучшения разгонных характеристик мотоцикла за приемлемую цену. (Большая цена существующих вытекает из необходимости обеспечить зазоры в сопрягаемых плоскостях сложной формы.) В результате проведенных НИР и ОКР разработана новая конструкция нагнетателя, которая незначительно снижая КПД компрессора, значительно (в 10 и более раз) уменьшает себестоимость при условии массового производства. Конструкция представляет собой ротационно-пластинчатый воздушный компрессор, ресивер и блок крепления на мотоцикл суммарным весом в 1,2-4 кг (в зависимости от применяемого материала) и выполнена в соответствии с внешним дизайном двигателя мотоцикла «Monkey Z50» японской фирмы Honda (объем двигателя 50cc). Изготовленный нагнетатель при испытаниях показал уменьшение времени разгона (от 0 км/ч до 50 км/ч) до 8,38 сек. в сравнении с базовым показателем 14,64 сек. (в 1,75 раз).

В настоящее время команда разработчиков работает над логистической составляющей проекта, имеющей целью обеспечить удобную оплату, доставку и послепродажное обслуживание продукта для конечного потребителя.

Материаловедение в машиностроении

**Магистерская подготовка научно-производственных кадров
в области металловедения**

Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет

Повышение конкурентоспособности, снижение себестоимости и улучшение качества выпускаемой продукции машиностроения предприятий во многом определяется наличием высококвалифицированных инженерных кадров. Традиционная подготовка таких кадров на уровне университета сегодня является только первой ступенью в подготовке инженерных кадров высокой квалификации. Для подготовки специалистов такого уровня на промышленных предприятиях последние годы активно используют магистратуру. Особенно эффективным является использование института магистратуры для нужд машиностроения, для подготовки научно-технических кадров.

На кафедре "Материаловедение в машиностроении" БНТУ накоплен определенный опыт подготовки магистров по специальностям научной и практико-ориентированной магистратуры. Ежегодно в магистратуре обучается не менее 10 человек. Большая часть – это заочная практико-ориентированная магистратура. Наряду с положительным опытом подготовки научно-технических кадров существует ряд проблемных вопросов.

1. Отсутствует согласованный механизм между Министерством образования и Министерством промышленности о выделении мест для заводских работников в внебюджетную практико-ориентированную магистратуру заочной формы обучения. Наличие заказа от Министерства промышленности на магистерскую подготовку заводских специалистов позволит существенно расширить возможности эффективного совместного решения научно-технических проблем и активно использовать кафедральные возможности для индивидуального повышения квалификации конкретных заводских специалистов.

2. Недостаточная производственная и экономическая мотивация повышения квалификации через магистратуру. Магистр на производстве, по-прежнему является экзотическим явлением, вызывающим непонимание, или настороженность. Его статус в производственных условиях не определен. Между тем, развитие фирменной науки, наличие жесткой конкуренции на рынке предполагает широкое использование именно таких эффективных специалистов. В целом, институт магистратуры может и должен стать эффективным инструментом решения заводских научно-технических проблем и подготовки высококвалифицированных научно-производственных сотрудников.

Исследование влияния процессов диффузионного цинкования на эксплуатационные свойства изделий после термического упрочнения

Гурченко П.С., Булойчик И.А., Ковшик И.А.

Белорусский национальный технический университет

При использовании способа термодиффузионного цинкования (ТДЦ) в качестве завершающей операции химико-термической обработки закаленных изделий, работающих в условиях циклического нагружения, возможно снижение прочностных свойств, обусловленное формированием в поверхностной зоне детали интерметаллидного диффузионного слоя.

С целью определения влияния формирования цинкового диффузионного слоя на усталостные характеристики стальных изделий, провели сравнительное исследование механических свойств при циклических нагрузках термически обработанных образцов из стали 45, обработанных способом ТДЦ и без антикоррозионной обработки.

На основании результатов испытаний образцы с цинковым диффузионным слоем продемонстрировали меньшую долговечность и меньшее предельное напряжение при изгибе в сравнении с образцами без защитного цинкового покрытия. Данный факт может быть объяснен формированием хрупких интерметаллидных фаз (Γ - фаза) в переходной зоне от стальной основы к диффузионному слою в исследуемых образцах, являющейся концентратором напряжений, которые, при увеличении внешней нагрузки, могут реализоваться в трещину.

Для ряда деталей, испытывающих в процессе эксплуатации до 10^2 циклов нагружений, (статическое нагружение), эффективным решением является совмещение среднего отпуска с процессом нанесения защитного покрытия, что позволяет повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку. Для деталей, работающих в условиях повторностатического (малоциклового) и усталостного (многоциклового) нагружений, испытывающих при эксплуатации свыше 10^4 циклов нагружений, антикоррозионная защита способом ТДЦ, может стать причиной снижения усталостных свойств за счет наличия высокопрочных хрупких фаз в цинковом диффузионном слое.

Процесс высоковольтного электрохимического оксидирования применительно к получению оксидных пленок на сплаве Д16

Соколов Ю.В., Паршута А.А., Бекетова И.Ю.
Белорусский национальный технический университет,
Физико-технический институт НАН Беларуси

В последнее время всё чаще рекомендуется использовать при анодировании импульсную подачу тока. Подобная схема дает особые преимущества в случаях, когда требуется использование тока высокой плотности или при обработке сплавов с высоким содержанием меди. Пленки, полученные при анодировании с использованием импульсного тока, обладают повышенной коррозионной стойкостью и сопротивлением истиранию.

Перспективным методом повышения физико-механических свойств оксидных пленок (слоев) является введение в состав электролита поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые вводят в раствор в небольшом количестве, что приводит к стабилизации работы электролита и поддержанию уровня pH раствора.

Исследовалось влияние добавок в электролит для процесса высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО) сплава алюминия Д16. В качестве добавок в электролит базового состава щавелевая кислота 40 г/л; использовали ПАВ – метасиликат натрия 2 г/л, трилон Б 5 г/л, серная кислота 1 г/л. Оксидирование проводили при плотности тока 1–4 А/дм² и температуре электролита 15±0,5° С в течение 2400 сек.

Результаты рентгеноструктурного анализа оксидных слоев, полученных в электролитах с добавлением ПАВ, показали, что в результате оксидирования на поверхности сплава Д16 рентгеновских дифракционных линий от кристаллических фаз оксида алюминия не регистрируется. С увеличением толщины оксидной пленки интенсивность дифракционных снижается за счет поглощения рентгеновских лучей. Таким образом, можно полагать, что в процессе ВВЭО на поверхности сплава Д16 формируются оксидные пленки с аморфной структурой.

Введение в электролит ПАВ трилона Б, по сравнению с другими добавками (метасиликат натрия, серная кислота), показало увеличение физико-механических свойств. Так толщина оксидных слоев, при одинаковом времени обработки, достигает 40 мкм, по сравнению с базовым электролитом (20 мкм), микротвердость – 300 НВ, а напряжение пробоя – 900 В. При использовании метасиликат натрия и серной кислоты, значительного повышения физико-механических свойств не наблюдается.

Структурное состояние и дюрометрические свойства быстрозакристаллизованных сплавов на алюминиевой основе

Калиниченко А.С.¹, Кукареко В.А.², Шапелевич И.А.²

¹Белорусский национальный технический университет,

²ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Исследовались алюминиевые фольги с различным содержанием меди (5, 8, 15, 25 масс %), полученные спиннингованием расплава на металлический диск, вращающийся со скоростью 30 м/с. Толщина фольг составляла ≈ 100 мкм.

Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе АЛЬТАМИ МЕТ 1МТ. Рентгеновская съемка образцов изготовленных алюминиевых сплавов проводилась на дифрактометре «ДРОН-3» в монохроматизированном CoK_α излучении. Запись линий осуществлялась в режиме сканирования. Измерения микротвердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20 при нагрузке на индентор $P = 10$ г (0,1 Н).

Из данных металлографии следует, что сверхбыстрая кристаллизация из расплава приводит к формированию дисперсной зеренной структуры Al-Cu сплавов, а их легирование медью сопровождается выделением в сплавах частиц дисперсных фаз. Результаты рентгеноструктурного анализа свидетельствуют о том, что легирование расплава алюминия медью приводит к образованию в быстрозакристаллизованных Al-Cu сплавах

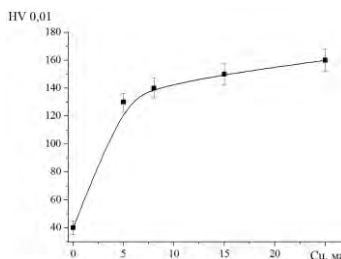


Рисунок 1 – Зависимость микротвердости быстрозакристаллизованных сплавов Al – Cu от содержания Cu

твердого раствора меди в алюминии и частиц интерметаллидной фазы CuAl_2 . С увеличением концентрации меди в сплаве возрастает содержание частиц упрочняющей фазы CuAl_2 , что сопровождается существенным увеличением микротвердости быстрозакристаллизованных сплавов. Так, в частности, увеличение содержания меди от 5 масс. % до 25 масс. % приводит к росту микротвердости Al-Cu сплавов от 130 HV 0,01 до 160 HV 0,01 (рисунок 1).

Заключение. Установлено, что увеличение содержания меди в расплаве на основе алюминия приводит к росту количества выделившихся частиц CuAl_2 и сопровождается существенным увеличением микротвердости быстрозакристаллизованных алюминиевых фольг.

Легирование наплавленных покрытий никелем

Стефанович А.В., Борисов С.В., Стефанович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Наплавленные покрытия, полученные из проволоки стали 06X19H9T, подвергнутой предварительному борированию, имеют структуру, состоящую из дендритов по границам которых находится эвтектика. В литом состоянии в структуре стали присутствует дендритная ликвация. Распределение элементов по сечению дендрита и в эвтектике системы Fe-Cr-Ni-B показало, что в центре дендрита содержание хрома составляет 12,92%, никеля – 9,7%, а на периферии дендрита содержание хрома – 14,49% никеля – 10,3%, в бориде содержится хрома – 22,66%, никеля – 7,3%. Такое перераспределение элементов может вызывать снижение коррозионной стойкости. Повышение сопротивления коррозии наплавленных покрытий возможно за счет дополнительного их легирования никелем.

В соответствии с правилом Таммана при легировании сплавов 1/8 и 2/8 атомных процентов коррозионная стойкость сплавов скачкообразно увеличивается. Данному соотношению соответствует введение никеля 13,5% и 27% масс. в сплав. Введение никеля в хромистую сталь, содержащую 18% хрома в количестве более 27 %, резко повышает коррозионную стойкость стали. Данные стали практически не растворяются в серной кислоте при повышенных температурах.

При получении наплавленных покрытий из композиционных электродов из стали 06X19H9T, подвергнутой предварительному борированию, повысить содержание никеля в наплавленном покрытии возможно путем нанесения гальванического покрытия никеля на проволочный электрод.

Так, при содержании никеля в композиционном электроде ~9% и с учетом его перераспределения в наплавленном покрытии для получения количества никеля в наплавленном покрытии 13-14% и 27-28% необходимо дополнительно ввести более 4% и более 18% никеля соответственно. Выполненные расчеты показывают, что для дополнительного введения 4% никеля в наплавленное покрытие необходимо на композиционный электрод диаметром 2 мм нанести слой гальванического никеля толщиной 20 мкм, а для дополнительного введения 17% никеля – 90 мкм.

Технология диффузионного упрочнения металлоформ для центробежного литья чугуновых труб

Ситкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Металлоформы для центробежного литья чугуновых труб представляют собой цилиндрические детали, внутренние поверхности которых контактируют с расплавленным металлом. Жидкий чугун заливается в полость формы при ее непрерывном вращении до затвердевания расплава. В результате таких условий формирования труб эксплуатируются металлоформы при интенсивных температурно-силовых воздействиях со значительными давлениями, в результате чего температуры на рабочих поверхностях, контактирующих с расплавленным чугуном, могут превышать 500°C. Вследствие этого для обеспечения повышенной стойкости металлоформ при их изготовлении целесообразно использовать высоколегированные инструментальные стали повышенной теплостойкости, износостойкости, разгаростойкости в сочетании с оптимальными параметрами термической обработки и последующего термодиффузионного упрочнения.

Рекомендуемые стали для изготовления металлоформ для центробежного литья чугуновых труб: 4Х5МФС, 5Х3В3МФС, 3Х3МЗФ и др. Термическая обработка крупногабаритных металлоформ из данных сталей: закалка с температур нагрева 1000-1050 °С, отпуск при температурах 600-620°C. Твердость после термообработки не менее 50 HRC.

После термической обработки проводится окончательная механическая обработка для устранения неизбежных последствий термообработки – деформации, коробления, окисление и обезуглероживание поверхностного слоя.

Изготовленные в окончательный размер крупногабаритные металлоформы для центробежного литья чугуновых труб подвергаются процессу диффузионного упрочнения, основанному на применении новых видов диффузионноактивных смесей, контактирующих с рабочими частями готовых, изготовленных в окончательный размер изделий. При этом приготовленная смесь засыпается в полость металлоформы. Диффузионное химико-термическое упрочнение проводится при температурах 560-580 °С (на 40-50 °С ниже, чем температура отпуска) в обычных камерных печах с воздушной атмосферой. Время диффузионного упрочнения крупногабаритных металлоформ для центробежного литья чугуновых труб 8-10 часов после полного прогрева металлоформы.

**Особенности термодиффузионного борирования
стальных формообразующих изделий
на примере ОАО «Керамика»**

Дашкевич В.Г., Баранова Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

На прессах керамических заводов строительных материалов применяют мундштуки с различными kernовыми комплектами для пластического прессования пустотелых изделий.

Типовая форма kernов, использующихся при формовании кирпичной массы в условиях ОАО «Керамика» представлена на рисунке 1. В результате движения глиняного бруса при выходе из мундштука износ происходит преимущественно ребер. Одним из эффективных методов упрочнения такого рода деталей является термодиффузионное борирование в порошковых средах (рисунок 1, б).



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид изношенных kernов:

а) керн, наплавленный никелевым самофлюсующимся порошком типа ПР-НХ17СР4; б) керн, упрочненный термодиффузионным борированием

Для термодиффузионных боридных покрытий формирование продольных углублений (царапин, рисок) является следствием низкой стойкости покрытия в случае значительных контактных давлений и напряжений сдвига. Другими словами, крупный абразив способен скалывать микронеровности борированной поверхности и оставлять риски (царапины) по направлению движения абразивной массы. Впоследствии такие царапины увеличиваются по ширине и глубине.

В результате оптимизации состава насыщающей порошковой среды, температурно-временных параметров борирования, подбора активаторов для процесса насыщения, рационального размещения упрочняемых деталей в контейнерах получены покрытия с высокой износостойкостью. Максимально эффективная толщина слоя составила около 350...360 мкм.

**Особенности диффузионного легирования микрообъектов
в подвижных порошковых средах**

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Исследовали особенности диффузионного легирования микрообъектов в подвижных порошковых средах. В качестве объекта исследования были выбраны: чугунная дробь ДЧЛ 08, используемая для дробеструйной обработки деталей после предварительной и окончательной термической обработки, и отходы (в виде дроби) высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2, образующиеся при электроэрозионной обработке отливок. Размер дроби ДЧЛ для диффузионного легирования составлял 0,5 – 0,63 мм и дроби ИЧХ – 0,4 – 0,5 мм. Диффузионное легирование (борирование) дроби ДЧЛ и ИЧХ проводили по двум режимам: в шахтной печи с использованием тиглей из нержавеющей стали (в качестве герметизирующего затвора использовали буру) и во вращающейся электрической печи оригинальной конструкции, содержащей герметизированные контейнеры из нержавеющей стали. В качестве поставщика бора использовали V_4C с добавкой 2% AlF_3 . Температурно-временные параметры химико-термической обработки (ХТО) дроби ДЧЛ и ИЧХ составили 950°C, 1 час. После диффузионного легирования в шахтной печи контейнеры с дробью ДЧЛ и ИЧХ распаковывались, а содержащаяся в них смесь подвергалась магнитной сепарации для качественного разделения дроби и насыщающей смеси. После ХТО во вращающемся контейнере операция магнитной сепарации для смеси не требовалась.

Анализ микроструктуры и микротвердости дроби ДЧЛ и ИЧХ после диффузионного легирования в подвижной и неподвижной порошковых средах позволил установить следующие. Толщина диффузионного слоя на дроби ДЧЛ и ИЧХ зависит от химического состава исходной дроби и режима обработки. Наличие в дроби легирующих элементов (хром, никель) снижают толщину диффузионного слоя. Имеются существенные различия в толщине и микроструктуре диффузионного слоя полученного на дроби ДЧЛ и ИЧХ после ХТО в неподвижном тигле и при обработке во вращающемся контейнере. Распределение графитных включений в дроби ДЧЛ и ИЧХ при стационарном режиме ХТО преимущественно равномерно по сечению дроби, а при обработке в подвижной смеси данные включения располагаются между диффузионным слоем и ядром дроби. Микротвердость диффузионного слоя дроби ДЧЛ составляет на поверхности 14000-16000 МПа, а дроби ИЧХ – 10000-12000 МПа.

**Перспективные направления использования
диффузионно-легированных порошковых материалов**

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

В работе проведен анализ перспективных направлений и технологий использования диффузионно-легированных порошковых материалов. Установлено, что диффузионно-легированные порошковые материалы являются эффективными заменителями дорогих никелевых сплавов, применяемых при получении защитных покрытий. Так, например, предварительное диффузионное легирование бором отходов чугуна дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 позволяет получить порошковый материал для последующей индукционной наплавки. Полученное индукционной наплавкой покрытие из диффузионно-легированных отходов дробы ДЧЛ и ИЧХ имеет высокую твердость и абразивную износостойкость. Защитные покрытия могут успешно работать в условиях интенсивного абразивного износа, без существенных ударных нагрузок. Эксплуатационные свойства покрытий, полученных из предварительно диффузионно-легированных отходов дробы ДЧЛ и ИЧХ могут активно конкурировать с импортными дорогостоящими наплавочными сплавами на основе никеля. Одним из перспективных направлений использования данных порошковых материалов является магнитно-абразивная обработка. Технология диффузионного легирования в подвижной насыщающей среде позволяет обрабатывать порошковый материал различной дисперсности. Предварительные испытания показывают возможность применения данных порошковых материалов различной дисперсности в качестве абразива для предварительной и финишной магнитно-абразивной обработки. Предварительное диффузионное легирование (цинкование) медных отходов в виде сечки, образующейся при производстве кабелей различного назначения, снижает значения давления прессования и температуру спекания при получении волокнистых фильтрующих материалов. Регулируя температурно-временные параметры диффузионного легирования медных волокон можно получать методом спекания волокнистые фильтрующие материалы с регулируемыми эксплуатационными характеристиками. Перспективным направлением является предварительное диффузионное легирование (молибденом, бором и др.) керамических порошковых материалов для плазменного напыления защитных износостойких покрытий. Данная обработка позволяет повысить текучесть керамических порошковых материалов и адгезионные свойства получаемых защитных покрытий.

Анализ изменений геометрических и механических характеристик прецизионных деталей после термодиффузионного борирования

Дашкевич В.Г., Ковальчук А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время термодиффузионное борирование является одним из самых эффективных способов упрочнения деталей в условиях абразивного изнашивания. Применяется такого рода упрочнение и для прецизионных деталей. При разработке технологии поверхностного упрочнения важной является оценка прироста размеров детали за счет диффузионного слоя; это обусловлено тем, что возможен выход из соответствующего поля допуска. В конструкторской документации на изделие этот факт необходимо учитывать и проводить корректировку номинальных размеров под конкретные режимы упрочнения, особенно, если идет речь о значительной толщине диффузионного слоя – 100 мкм и выше.

В работе исследован прирост размеров в результате термодиффузионного борирования стальных изделий из стали 9ХС и У8А. Эти стали рассматриваются, в частности, как исходные материалы для изготовления деталей золотниковой группы гидромоторов. Отметим, что на изменение размеров косвенно влияют также и возможные поводка и коробление деталей, как результат нагрева до температур выше критических. Для уменьшения вероятности изменения размеров деталей целесообразно проведение предварительного отжига или нормализации.

При насыщении по режимам обеспечивающим толщину слоя порядка 100..150 мкм средний прирост размеров детали из вышеуказанных сталей за счет борированного слоя составил до 20...25 % от его толщины на одну сторону.

Отметим, что после борирования изменение параметра шероховатости практически не наблюдается, что подтверждает данные исследователей отмечающих снижение параметра шероховатости на 1-2 класса для шлифованных поверхностей, а для поверхностей после чистовой токарной и фрезерной обработки его сохранение на исходном уровне.

Установлена характеристика зависимости толщины боридного слоя на стали У8А и 9ХС от температуры насыщения и времени выдержки. Толщина боридного слоя на стали У8А выше, чем на стали 9ХС. Это в большей степени объясняется присутствием в стали 9ХС хрома и в меньшей присутствием кремния и большим количеством углерода.

Триботехнические характеристики гиперзвуковых газотермических покрытий, обработанных концентрированными потоками ионов азота

Григорчик А.Н., Кукареко В.А.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Исследовано структурно-фазовое состояние, микротвердость и триботехнические характеристики гиперзвуковых газотермических покрытий из типичных сталей различных классов: ферритного (Св-08Г2С), аустенитного (06Х19Н9Т) и мартенситного (40Х13) после ионно-лучевого азотирования.

Показано, что покрытие из ферритной стали содержит фазы: α -Fe, FeO, Fe₃O₄ и имеет низкую микротвердость ~ 300 HV 0,025. Покрытия из высоколегированных аустенитной (06Х19Н9Т) и мартенситной (40Х13) сталей содержат α -фазу, γ -фазу, оксиды Fe₃O₄ и FeO, и значения микротвердости составляют 350 и 600 HV 0,025 соответственно.

В результате ионно-лучевой обработки гиперзвукового газотермического покрытия из ферритной стали Св-08Г2С при температурах 650-870 К на его поверхности формируется модифицированный слой толщиной 30-120 мкм. В азотированном поверхностном слое после обработки при этих температурах выделяются нитридные фазы ϵ -Fe_{2,3}N, γ' -Fe₂N. Микротвердость ионно-азотированного поверхностного слоя покрытия увеличивается до значений 650-900 HV 0,025. Ионное модифицирование покрытий из сталей 06Х19Н9Т и 40Х13 при температурах 650-870 К приводит к формированию азотированных слоев толщиной 5-55 мкм. Ионно-лучевая обработка покрытия из стали 06Х19Н9Т приводит к образованию азотистого аустенита γ'_N - (Fe, Cr), а также нитридов γ'_N - (Fe, Cr)₄N, CrN. Микротвердость азотированного слоя увеличивается до 1000-1400 HV 0,025. В покрытии из стали 40Х13 после азотирования выделяются нитридные фазы ϵ -(Fe, Cr)₂₋₃N, γ'_N -(Fe, Cr)₄N, CrN. Микротвердость покрытия из мартенситной стали после обработки увеличивается до значений 1000-1450 HV 0,025.

Установлено, что ионно-лучевая обработка приводит к увеличению износостойкости при граничном трении покрытий из ферритной стали от 35 до 140 раз, из аустенитной стали – от 200 до 300 раз и из мартенситной стали – до 5 раз.

Таким образом, ионно-лучевое азотирование можно рекомендовать в качестве эффективного упрочняющего способа обработки гиперзвуковых газотермических покрытий из сталей различных классов.

Высоковольтное электрохимическое оксидирование при повышенных температурах применительно к получению оксидных плёнок на алюминиевых сплавах различного состава

Соколов Ю.В., Паршуту А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Физико-технический институт НАН Беларуси

Возможность оксидирования при повышенных температурах, без потери физико-механических свойств оксидных пленок, позволяет значительно снизить затраты на охлаждения электролита. Однако, увеличение температуры значительно снижает скорость роста и толщину оксидных слоев.

Традиционно, температура электролита оксидирования составляет 20 ± 5 °С. Однако, для получения твердых пленок, с микротвердостью 400-500HV, применяют анодирование при температурах от -5 до +5 °С, что требует специального оборудования для охлаждения и поддержания технологических режимов.

Исследование технологии высоковольтного электрохимического оксидирования показало, что при формировании оксидной пленки на сплавах алюминия (АД1, АД33, АМг2, АМг6) при повышении температуры, с 10 до 40 °С, скорость роста оксидных слоев снижается с 1,5 до 0,5 мкм/мин. При этом сильное влияние оказывает плотность тока обработки, чем выше плотность тока, тем выше скорость роста оксидных пленок. Однако, при плотностях тока более 4 А/дм² высока вероятность термоэлектрических пробоев приводящих к локальному разрушению структуры сформированной пленки.

Изучения влияния температуры электролита на микротвердость формируемых оксидных пленок, полученных высоковольтным электрохимическим оксидированием, показало, что диапазон рабочих температур, без значительного снижения микротвердости, составляет от 5 до 40 °С. Микротвердость изменяется с 550 HV при 5–10 °С до 400-450 HV при 40 °С. Температуры выше 40 °С приводит к существенному снижению микротвердости, что связано со значительным повышением химической активности компонентов электролита. Скорость травления оксидной пленки превышает скорость ее формирования, увеличение плотности тока обработки приводит к разрушению пленки. Таким образом, оптимальный режим для обработки сплавов при повышенной температуре соответствует следующим параметрам температура 35 °С, плотность тока обработки 3–4 А/дм².

**Индукционная термоциклическая обработка
в режиме многократной смены температур**

Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Широко используемые процессы термической и химико-термической обработки металлов и сплавов, основанные на однократном нагреве и охлаждении, наиболее распространены в промышленном производстве. Недостатком стационарных процессов является их ограниченное влияние на микро- и субструктуру материала, а, следовательно, на комплекс эксплуатационных свойств готового изделия. Процесс термоциклирования основан на чередовании стадий нагрева и охлаждения, которые могут повторяться с разной интенсивностью в количестве от двух и более раз. В отличие от стандартных методов при циклическом нагреве появляются дополнительные источники воздействия на структуру: непрерывное изменение температуры, градиент температуры по сечению, многократные фазовые превращения, структурные и термические напряжения.

Перечисленные факторы позволяют получить мелкозернистый материал (10 и более баллов) с минимальными структурными и термическими напряжениями. Уменьшение напряженного состояния достигается релаксацией микронапряжений путем микропластической деформацией зерен аустенита. По этой причине ударная вязкость образцов стали после термоциклической обработки выше, чем у аналогично мелкозернистого материала после индукционной закалки и отпуска.

При изучении структурообразования при индукционном циклическом нагреве было установлено, что индукционная циклическая обработка (2 и более циклов) измельчает перегретую структуру 5 баллов до 9 (сталь 20) и 13 (сталь 45) баллов. Циклический нагрев перед закалкой и низким отпуском позволяет повысить ударную вязкость мартенситной структуры стали 45 от 35 Дж/см² до 65 Дж/см². Излом стали – мелкокристаллический фарфоровидный.

Следует отметить, что индукционная термоциклическая обработка в диапазоне скоростей нагрева (30...40 °С/с) и охлаждения (5...10 °С/с) имеет ограничение по числу циклов (не более 5 циклов). В структуре низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей наблюдается формирование разнотермической структуры. Такая структура характерна для материала, в котором наблюдается стадия вторичной рекристаллизации. Крупные зерна в структуре приводят к охрупчиванию и снижению ударной вязкости.

**Особенности разрушения конструкционных сталей,
работающих в условиях климатического холода**

Константинов В.М., Галимский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Одним из важнейших критериев работы стали в условиях климатического холода является хладостойкость. Под хладостойкостью традиционно понимают способность сталей противостоять хрупкому разрушению при низких температурах. Согласно классической теории, хрупкое разрушение кристаллического тела происходит ниже пороговой температуры, когда предел текучести $\sigma_{0,2}$ становится выше предела хрупкой прочности σ_B , который определяется силами межатомной связи в кристалле. Это связано с тем, что движение дислокаций, обеспечивающее пластическую деформацию, требует термической активации, поэтому при повышенных температурах $\sigma_{0,2} < \sigma_B$ и когда внешнее напряжение σ превышает $\sigma_{0,2}$, происходит пластическая деформация и далее, при $\sigma > \sigma_B$ – вязкое разрушение. Широко распространенной характеристикой хладостойкости является первая критическая температура хрупкости – T_{50} , при которой на поверхности излома стального образца доли вязкой (волокнуистой) и хрупкой (в виде гладких фасеток) составляющих равны 50%. Чем ниже T_{50} , тем выше хладостойкость стали. С увеличением скорости деформации температуры вязко-хрупкого перехода повышаются, т.е. динамические нагрузки являются наиболее опасными. Характерной особенностью любого хрупкого разрушения является то, что для него достаточно образования даже одной трещины, которая распространяется со скоростью примерно 40% скорости звука в металле. Зародыш трещины, образуется в результате накопления дислокаций у препятствий; при этом возникают большие локальные напряжения. При вязком разрушении (при $\sigma \approx \sigma_B$) трещина движется медленно, от ее вершины распространяются дислокации и скапливаются у дефектов структуры, что приводит к зарождению новых трещин у этих дефектов, и разрушение происходит при слиянии указанных медленно растущих трещин; последнее и обеспечивает формирование характерных лунок (“чашек”) на сканирующих электронных микрофотографиях. Отметим, что если хрупкость при комнатной и повышенной температуре связана в основном с интеркристаллитным разрушением, то при хладноломкости имеет место хрупкое транскристаллитное разрушение. По существующим представлениям, это связано с тем, что с понижением температуры прочность связи между кристаллитами на границе снижается медленнее, чем прочность межатомных связей внутри зерна.

Термическая обработка топокомпозиционных материалов и защита от коррозии

Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

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.

Материалом подложки было выбрано армко-железо. Модифицирование поверхности заключалось в формировании нитридов железа в тонком поверхностном слое (до 0,05 мм) за счет низкотемпературного азотирования (550 °С). Основная задача, решаемая азотированием, заключается в повышении жесткости подслоя для исключения продавливания тонкой пленки в мягкую подложку. Твердость системы после азотирования подложки увеличивается с 400 HV₂₀ до 750 HV₂₀. Прирост твердости свидетельствует о меньшем продавливании основания индентором. Благодаря твердому подслою износостойкость топокомпозита в 1,5 раза выше стойкости нитрида титана нанесенного на не модифицированную подложку.

Помимо износостойкости топокомпозит должен обладать коррозионной стойкостью, прочностью сцепления пленки с поверхностью. Определение коррозионной стойкости заключалось в выдержке образцов в 10 % водном растворе NaCl при температуре 20 С в течение 2 суток. Коррозионная стойкость топокомпозита более чем в 2,5 раза и по скорости коррозии, и по площади продуктов коррозии превосходит немодифицированный образец. Повышение коррозионной стойкости можно объяснить смещением равновесного потенциала коррозии в положительную сторону, снижением общего уровня напряжений, появлением в подложке барьеров (в виде оксидов и нитридов железа) для диффузии кислорода. 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. Пластина стали после отжига 620°С в течение 1 ч сохранила свою пластичность; адгезия и пластичность самого покрытия увеличились. Таким образом, предварительное модифицирование поверхности топокомпозита азотом целесообразно для практического применения.

Исследование эксплуатационных характеристик плазменных покрытий после лазерной обработки

Пантелеенко А.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Лазерному воздействию были подвергнуты покрытия, полученные плазменным напылением диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9. Для обработки использовалась установка лазерной наплавки «Комета-2» при следующих режимах 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.

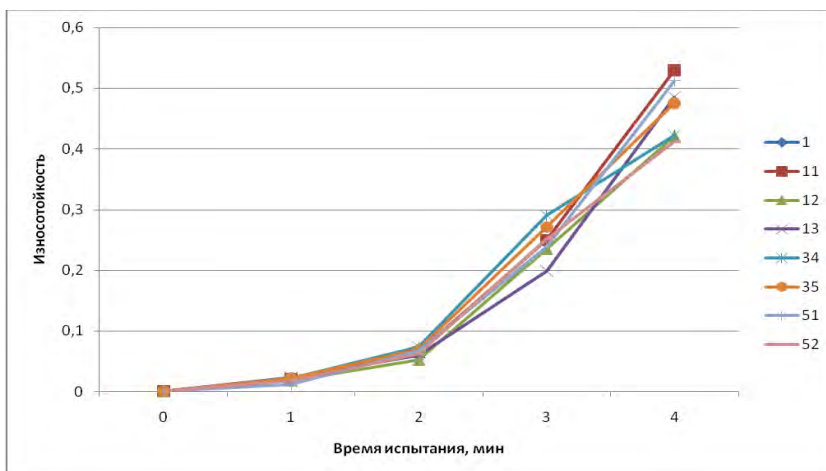


Рисунок 1 – Изменение износостойкости плазменно-напыленных покрытий после лазерной обработки

После лазерной обработки наблюдается существенное увеличение эксплуатационных характеристик полученных покрытий. Рост износостойкости после лазерной обработки составляет 2,5...3,2 раза (для различных режимов лазерной обработки увеличение износостойкости различно). Были также проведены испытания на адгезионную прочность методом изгиба образца с напыленным покрытием после лазерной обработки. Установлено, что после обработки высококонцентрированными источниками энергии адгезионная прочность покрытий сопоставима с когезионной прочностью образцов.

Износостойкие диффузионные слои со структурой Шарпи (часть 1)

Менделеева О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для эксплуатации в условиях трения и высоких удельных нагрузок требуется конструкционный материал со структурой композита – сталь с термически упрочненной, вязкой сердцевиной и износостойким диффузионным слоем на поверхности. Износостойкие структуры Шарпи содержат металлоподобные соединения, прочно удерживаемые в пластичной матрице твердого раствора. Такая матрица обладает высокой ударной вязкостью и пластичностью, и, следовательно, значительной демпфирующей способностью. И, хотя пластическая деформация в микрообъемах твердого раствора вокруг кристаллов упрочняющих фаз характеризуется высоким уровнем микронапряжений, поглощенная матрицей энергия (теплота пластического трения) инициирует рекристаллизационные процессы, благодаря которым состояние структуры отличается малой дефектностью и близко к равновесному. За период приработки пары трения происходит частичное удаление с поверхности более мягкого материала матрицы (твердого раствора) и формируется микрорельеф с выступающими кристаллами соединения. Коэффициент трения значительно снижается за счет уменьшения площади контакта поверхностей, а также высоких значений микротвердости и нормального модуля упругости металлоподобных соединений, стойких к истиранию. При наличии смазки коэффициент трения снижается до величин, близких к нулю, т.к. в структурах Шарпи возникает эффект «гидропланирования»: смазка при высоких скоростях вращения, находится в условиях всестороннего сжатия.

Структуру Шарпи можно получить в диффузионных слоях на основе твердого раствора. Основным критерием выбора насыщающего элемента является его растворимость в основном металле сплава и способность образовать металлоподобное соединение с компонентами сплава. В таких системах при равновесных условиях ХТО формируется диффузионный слой с поверхностной зоной соединения, отделенной границей раздела от других зон, расположенных ниже. Чтобы при температуре ХТО не происходила кристаллизация упрочняющей фазы в виде отдельной зоны диффузионного слоя, следует изменить технологические параметры ХТО и спровоцировать кристаллизацию изолированных кристаллов соединения в микрообъемах пересыщения твердого раствора или его распад в процессе последующего охлаждения или термической обработки. Упрочнение поверхности при формировании структуры Шарпи эффективнее в диффузионных слоях на основе многокомпонентных твердых растворов.

Износостойкие диффузионные слои со структурой Шарпи (часть 2)

Менделеева О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Примеры технологических решений ХТО: 1. Если насыщающий элемент испытывает большее сродство к легирующим элементам сплава, а не к основному металлу, то в результате встречной диффузии легирующих элементов к поверхности происходит кристаллизация соединений. Образование изолированных кристаллов соединений возможно при большей скорости диффузии насыщающего элемента по сравнению с компонентами сплава или при термоциклическом режиме ХТО. Пример: *карбидизация сталей (при температуре ХТО структура диффузионного слоя: дисперсные включения карбидов в аустените)*. 2. Если насыщающий потенциал среды хотя бы частично перекрывает область гомогенности соединения, но соединение имеет температуру кристаллизации ниже температуры ХТО, то микрообъемы твердого раствора с максимальным содержанием насыщающего элемента формируются не на поверхности насыщения, а на некотором удалении от нее. В таких микрообъемах образуются изолированные дисперсные кристаллы соединения. Пример: *хромирование низкоуглеродистых сталей в высокохромистых средах (структура диффузионного слоя: дисперсные включения σ -фазы в феррите)*. 3. Если в процессе ХТО изменять мощность диффузионного источника, то кристаллы соединения, образовавшиеся в период насыщения при избыточном потенциале среды, будут частично растворяться в «диффузионный» период за счет отвода насыщающего элемента от поверхности вглубь изделия. Такая технология позволяет получать диффузионные слои большой толщины, избежать образования сетки вторичной фазы (металлоподобного соединения) и значительно повысить прочностные характеристики диффузионного слоя за счет присутствия большого количества дисперсных сфероидных кристаллов. Пример: *вакуумная цементация (при температуре ХТО структура диффузионного слоя: дисперсные включения карбидов в аустените)*. 4. Если насыщающий элемент ограниченно растворим в основном металле и при температуре ХТО формируется пересыщенный по насыщающему элементу твердый раствор, то при старении происходит его распад с выделением изолированных дисперсных кристаллов фазы более богатой насыщающим элементом. Пример: *старение зоны внутреннего азотирования сталей, легированных нитридообразующими элементами (структура диффузионного слоя: дисперсные включения нитридов в феррите)*.

Опыт применения гартцинка для термодиффузионного цинкования

Гегеня Д.В., Богданчик М.И.

Белорусский национальный технический университет

Особый интерес для экономики предприятий Республики Беларусь представляют отходы горячего цинкования, которые в отличие от иных отходов цинковой промышленности, не могут быть повторно возвращены в процесс горячего цинкования и никак не перерабатываются. Отходы горячего цинкования можно успешно применять для создания импортозамещающих смесей для термодиффузионного цинкования.

Цель работы заключается в установлении возможности термодиффузионного цинкования из отходов горячего цинкования, а именно гартцинка.

Для проверки возможности термодиффузионного цинкования из сред на основе гартцинка проводилось термодиффузионное цинкование стальных образцов из стали 08сп в электропечи с вращающейся ретортой при температуре 420°C и 2 часа выдержки. Металлографический анализ показал, что диффузионный слой, полученный в результате цинкования в порошковых смесях цинка и гартцинка, состоит из трех зон: на поверхности расположена зона δ -фазы; под ней – тонкая темная прослойка Γ -фазы, затем идет зона α -фазы. Данные микроструктуры показывают, что диффузионный слой полученный в смеси цинка, после двух часов обработки, аналогичен микроструктуре слоя, полученного в смеси гартцинка. Изучение кинетики насыщения показало, что формирование диффузионного слоя в среде гартцинка, схоже с формированием в среде цинка, и после двух часов обработки толщина диффузионных слоев достигает 60 мкм. Можно сделать вывод, что насыщающая способность гартцинка соответствует цинку. Микротвердость слоев, полученных с применением смеси на основе гартцинка, сопоставима с микротвердостью образцов, полученных в смеси цинка. Это явление можно объяснить одинаковым или близким фазовым составом микроструктур полученных покрытий.

Результаты показывают, что комплекс защитных свойства диффузионных слоев и скорость насыщения, получаемых в смеси на основе измельченного гартцинка, аналогичны традиционным смесям на основе цинка. К преимуществам этих смесей можно отнести более высокую температуру обработки без введения дополнительных компонентов в смесь и дешевизну; также смеси данного типа – это один из вариантов переработки накопившегося на предприятиях Республики Беларусь отхода горячего цинкования – гартцинка.

Применение комплекса ANSYS для проектирования устройства фрезерования резца

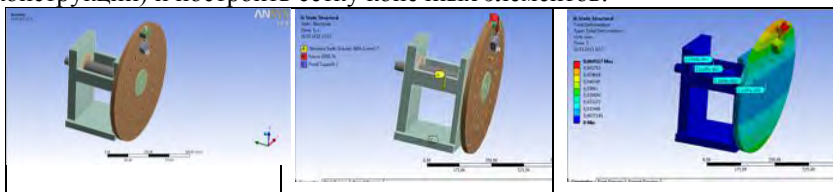
Белорусский национальный технический университет
Мельниченко В.В, Касьянов К.В.

Исследование поведения конструкции при выполнении фрезерования резца предполагает выполнение следующих действий:

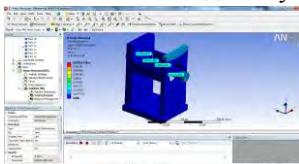
1. Создание модели в ANSYS с последующим экспортом модели;
2. Задание параметров материала, из которых состоит объект;
3. Разбиение области на конечные элементы;
4. Задание краевых условий и нагрузок;
5. Решение и анализ результатов с помощью постпроцессора.

Задача: Рассчитать конструкцию для фрезеровки резцов на прочность.

Описание конструкции: Данная конструкция предназначена для фрезерования резцов. На рисунке изображен один резец для упрощения модели. После создания графической модели в ANSYS выбран метод анализа StaticStructural, затем – материал устройства. Для выбора материала необходимо импортировать созданную модель, сгенерировать контакты между частями конструкции (генерируются автоматически как bonded- связанные тела или вручную, в зависимости от особенностей конструкции) и построить сетку конечных элементов.



Затем необходимо нагрузить конструкцию. В данном случае задать силу и ее направление, с которой фреза деформирует резец, и определить неподвижную опору. После того как заданы условия нагрузки можно



переходить к решению. В данном примере нам необходимо знать деформацию и нагрузку (total deformation, maximum principal stress). Закончив с выбором анализа, запускаем расчет (Solve). После выполнения расчетов, в постпроцессоре представлено графическое решение и значения деформации и напряжения в любой точке конструкции.

О проектировании многокомпонентных суперсплавов

Мельниченко В.В., Астрашаб Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Современная аэрокосмическая техника предъявляет очень высокие требования к используемым материалам. К стандартным требованиям легкости и высокой прочности зачастую прибавляется и жаропрочность. Например, в газотурбинных и ракетных двигателях температура превышает 1000°C, и в этих условиях материалу надо работать при экстремальных механических нагрузках. Температура в газотурбинных установках постоянно растет, и потому теплофизики разрабатывают новые соединения, которые должны заменить никелевые суперсплавы. Обычные металлы и сплавы с такой задачей не справляются. Возникает потребность в новом классе твердых, нехрупких, коррозионно- и износоустойчивых, а самое главное — жаропрочных материалов. Исследователи из Университета Тохоку (Япония) разработали два новых класса суперсплавов, свойства которых значительно превосходят характеристики никелевых соединений. Японские ученые заметили, что суперсплавы на базе кобальта в сочетании с алюминием, вольфрамом и танталом (например, Co–8,8Al–9,8W–2Ta) а также на базе иридия (Ir–10Al–10W) имеют не только более высокие температуры размягчения, но и большую твердость, чем традиционные промышленные никелевые суперсплавы. Ученые Европейского космического агентства (ESA) разработали авиационный суперсплав, который вдвое легче, чем обычные суперсплавы на основе никеля, при аналогичных качественных показателях. Интерметаллическое соединение аллюминида титана с такими характеристиками получено в условиях гипергравитации. Новый сплав выдерживает температуру до 800 градусов по Цельсию и обеспечит снижение веса лопаток реактивных турбин на 45% по сравнению с традиционными материалами. По данным ESA, снижение веса самолета на 1% дает экономию топлива в 1,5%, что, соответственно, снижает затраты авиакомпаний и вред, наносимый окружающей среды. Новый класс металлических сплавов обладает уникальным сочетанием необычных и полезных качеств — это крепкие, устойчивые к нагреву, гибкие и эластичные материалы. Они состоят из титана, циркония, ванадия, ниобия и тантала — элементов, относящихся к так называемым переходным металлам. А необходимая "приправа" к смеси — небольшое количество кислорода. Получение сплава с заданными заранее свойствами требует проведения огромного числа опытов. В ряде случаев количество опытов можно существенно сократить, применив технологию активного эксперимента, применив метод симплексного планирования.

УДК 621.78.

Использования вторичных ресурсов в виде ультрадисперсных частиц в покрытии электродов для улучшения сварочно-технологических свойств

Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Комаров О.С.,
Сенченко Г.М.

Белорусский национальный технический университет

Качество шва при электродуговой сварке напрямую зависит от сварочно-технологических свойств электродов, в частности, от устойчивости горения дуги.

В работе ставили задачу повышения устойчивости горения дуги за счет введения в состав покрытия сварочных электродов комплекса вторичных материалов с ультрадисперсными частицами.

В качестве таких материалов использовали: алюминат натрия – NaAlO_2 (отход при полировке отражателей ламп) с ультрадисперсными частицами Al_2O_3 ; отработанный полиэтиленгликоль (ПЭГ-200), который применяется при распиливании слитков полупроводникового кремния и содержит ультрадисперсные частицы кремния и карбида кремния.

На поверхность покрытия электродов марки «Стандарт РЦ» диаметром 4 мм наносили отработанный ПЭГ-200, алюминат натрия NaAlO_2 , а также совместно то и другое. Перед применением электроды сушились (120C°).

Оценку стабильности горения дуги осуществляли визуально. Наиболее легко возбуждалась, устойчиво и с малым количеством брызг горела дуга у электрода, с нанесенным на его поверхность покрытия из смеси 50% ($\text{NaAlO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) + 50% (ПЭГ-200 + $\text{SiC} + \text{Si}$). Визуальный осмотр показал, что во всех случаях швы получили ровные, без раковин, с равномерными крупными чешуйками, без наплывов, с хорошей отделяемостью шлаковой корки. Металлографический анализ металла швов показал, что применение электрода для сварки с совместным дополнительным покрытием позволило измельчить структуру. Испытания на разрыв показали, что σ_b для всех образцов было не ниже минимального значения σ_b предусмотренного стандартом на метал шва, выполненного электродом Э46. Следует отметить, что разрушение во всех случаях происходило по разупроченному участку зоны термического влияния.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что использование вторичных ресурсов с ультрадисперсными частицами в составе покрытий сварочных электродов, не ухудшили механические свойства сварных соединений, позволило измельчить зерно металла шва, улучшить стабильность горения дуги, и параллельно решить экологическую проблему по утилизации отходов.

**Износостойкие композиционные материалы,
полученные индукционным нагревом**

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что ускорение процессов производства влечет за собой снижение его себестоимости. Для реализации поставленной задачи было решено использовать вместо стандартной термической технологии производства данного типа материалов высокоэнергетические способы нагрева и синтеза композитов с помощью индукционного нагрева. В качестве объекта исследований был выбран макроготерогенный композиционный материал на основе бронзы КЗМц, армированный чугунными сферическими гранулами диаметром 0,5-1,0 мм который и было необходимо синтезировать данными методами.

Эксперименты осуществлялись с помощью индукционного нагрева заранее подготовленной смеси используя стандартную индукционную печь ИСТ-0,06.

В результате проведенных экспериментов было выявлено, что материал имеет типичную для литых композиционных материалов структуру (рис. 1).



Рис.1 Композиционный материал полученный с помощью индукционного нагрева

При этом необходимо отметить, что разрабатываемая технология позволяет сократить время синтеза композиционного изделия (например термостабилизационной шпонки 220x45x50) с 5 часов при использовании стандартной схемы нагрева, до 25-35 минут при использовании индукционного нагрева.

Композиционные материалы с управляемой структурой

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Были проведены исследования композиционного материала полученного синтезом с использованием индукционного нагрева. Наибольшее внимание при оценке свойств композиционных материалов является зона раздела «чугун - медный сплав»; как результат этот участок и был выбран для исследований. Был проведен анализ распределения элементов по сечению шлифа (рис. 1), и выявлено расположение основных элементов по сечению шлифа (рис. 2).

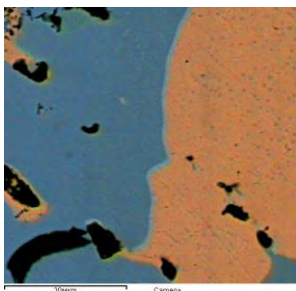
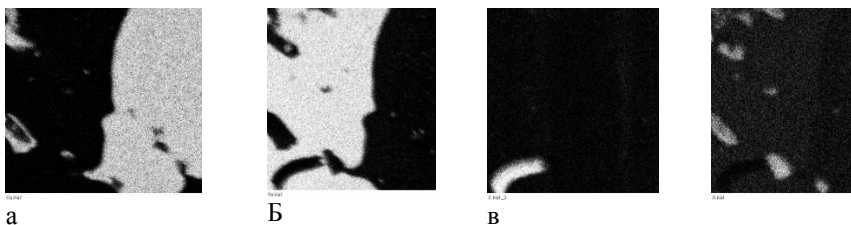


Рис. 1 Плоскость шлифа композиционного материала, полученного с помощью индукционного нагрева



а - медь, б - железо, в - углерод, г - кислород.

Рис.2 Распределение элементов по плоскости шлифа, представленного на рис.1

Как видно из сравнения полученных данных, потенциал материала полученного с помощью индукционного нагрева имеют больший потенциал и возможность развития данной технологии. Однако следует отметить некоторое насыщение кислородом в отличие от стандартной технологии.

**Методика подготовки образцов
на основе титана и нержавеющей стали**

Калиниченко М.Л., Зелезей А.Е.

Белорусский национальный технический университет

В ходе выполнения работы рассматривались альтернативные методы крепления материалов на основе титана и нержавеющей стали с помощью промышленных клеевых составов. В настоящее время в Республике Беларусь создание готовых изделий с помощью клеевых составов достаточно слабо представлено (за исключением сварочного производства корпусов автобусов МАЗ). При этом необходимо отметить, что процесс склейки является наиболее дешевым из всех процессов соединения металлов и неметаллов.

Целью работы была разработка технологии замены прессования пористых материалов на основе порошка титана и связь их с компактными материалами, на технологию склеивания с помощью современных промышленных клеев. Как вариант рассматривалась возможность крепления с помощью клеев спрессованной таблетки к компактному материалу. По анализу представителей крупных зарубежных компаний на рынке республики (BOSCH, 3M, HENKEL и др.) было предложено начать работу с материалами компании 3M, как наиболее приспособленными для склейки сложных сплавов. В качестве пористого материала использовался порошок титана марки ТПП5 (ТУ 14–22–57–98), а в качестве материала подложки коррозионно-стойкая сталь марки Х18Н9, и титановый сплав ВТ-1 (ОСТ 9045–72). Данные образцы являлись моделью для последующего изготовления фильтрующих элементов и взрывных размыкателей.

Методика проведения исследований. Подготовка поверхности экспериментальных образцов проводилась в соответствии со стандартными методиками разработанными компанией 3M для склейки металла. Для получения прочного соединения все поверхности в сухом, не окрашенном, без оксидных плёнок, масел, пыли, релизов и т.п. виде прошли обезжириванием раствором 3M Surfacecleaner 60/40 50/50 с последующей обработкой наждачной бумагой Scotch Brite и протиркой очистителем поверхности 3M. Такая обработка поверхности дает хорошую адгезию металлов к клеевым составам, а так же подходит для последующей пайки подготовленных поверхностей. Для изделий, которые не предполагается эксплуатировать в условиях повышенной влажности, обработку поверхности праймером 3M можно не проводить.

Анализ титановых порошков, используемых для фильтрационных элементов

Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время стабильным остается спрос на титансодержащие материалы [1]. В ходе выполнения работы было проведено исследование порошка титана марки ТПП5 (ТУ 14–22–57–98), промышленного использования для изделия различного назначения. Исследование образцов производилось с применением электронного микроскопа VEGA II LMU оборудованного микроанализатором INGA Energy 350 и приставкой «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV». Анализ показал высокую неоднородность зерен титанового порошка выпускаемого соответственно ТУ (Рис. 1).

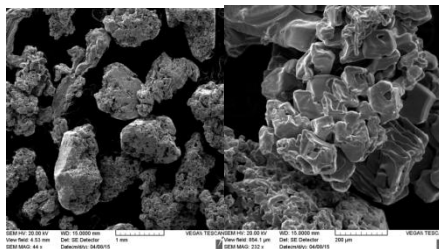


Рис. 1 – Форма порошкового титана ТПП-5 соответствующего ТУ 14-22-57-98

Однако спектральный анализ показал высокую чистоту и отсутствие примесей в изучаемом порошке (рис. 2), в результате можно утверждать, что данный порошок подходит для использования в качестве деталей имплантатов, фильтрующих элементов ответственного назначения и т.д.

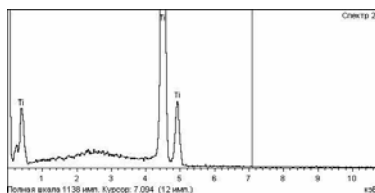


Рис. 2 – Спектральный анализ порошкового титана ТПП-5 с рис.1

Литература:

1. Bram, M.. Pulvermetallurgische Herstellung von poroesen Titan und NiTi-Liegierungen fuer biomedizinische Anwendungen / M. Bram // Forschungszentrum Juelich GmbH. – 2012. – Vol. 171. – 259 s.

Структура и свойства поверхности коррозионностойких сталей после биполярного импульсного электрохимического полирования

Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Паршуто А.Э., Королёв А.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Важнейшим условием получения качественных покрытий является выполнение соответствующих состоянию поверхности подготовительных операций. Электрохимическое полирование поверхности металлов и сплавов является в настоящее время одним из наиболее прогрессивных процессов подготовки поверхности для нанесения покрытий. Это связано с рядом существенных преимуществ процесса по сравнению с механическими методами финишной обработки. Одним из недостатков электрохимического полирования является зависимость электрических режимов обработки и составов электролита от типа обрабатываемого материала.

Для электрохимического полирования на постоянном токе применяются агрессивные, дорогостоящие электролиты, требующие специальных технологий по утилизации. В этой связи работы, направленные на разработку и исследование методов электрохимической обработки, обеспечивающих качественное полирование и очистку поверхности с применением нетоксичных, экологически безопасных и дешевых электролитов, являются актуальными как в научном, так и в практическом плане. Такого рода результаты возможны за счет применения миллисекундных импульсов положительной и отрицательной полярности, которые при правильном выборе параметров позволяют добиться эффективного полирования и очистки поверхности при электрохимической обработке с малыми энергетическими затратами.

В работе выполнялись исследования структуры и свойств поверхности коррозионностойких сталей после биполярного импульсного электрохимического полирования.

Установлено, что при использовании биполярных импульсов обеспечивается наиболее благоприятная морфология поверхности с минимальным количеством питтингов по сравнению с обработкой при положительных импульсах и при постоянном токе. Использование импульсных режимов обработки обеспечивает снижение общего съема металла по сравнению с обработкой на постоянном токе в 2-2,2 раза. При этом уменьшение удельных затрат энергии на снижение шероховатости поверхности достигает 4,7 раза. Рекомендуемая продолжительность обработки составляет 5–6 мин, поскольку дальнейшая обработка не приводит к значимому улучшению характеристик поверхности.

Исследование процесса электролитно-плазменной обработки биопсийных направителей

Кособуцкий А.А., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

Предложена инновационная методика, позволяющая увеличить пропускную способность при проведении биопсий, основанная на замене сменных направителей после проведения манипуляций при постоянно установленном на ультразвуковом полостном датчике устройстве крепления сменных направителей вместо многократной переустановки адаптеров с жёстко закреплёнными направителями (рисунки 1 и 2).



Рисунок 1 – Адаптер



Рисунок 2 – Набор направителей

Сменный направитель биопсийной иглы, изготовленный из стали 12X18H10T, представляет собой трубчатый стержень, на одном конце которого установлена коническая втулка, облегчающая ввод иглы в канал направителя, а на другом конце закреплена фиксирующая скоба. Сменный направитель является достаточно ответственным элементом, так как обеспечивает точность наведения биопсийной иглы на исследуемую область опухоли. Качество его поверхности должно соответствовать требованиям, предъявляемым к медицинским изделиям, контактирующим с мягкими тканями и слизистой оболочкой пациентов. Учитывая особенности использования сменных направителей для их финишной обработки была предложена технология электролитно-плазменной обработки. Для полирования был использован 6% раствор сернокислого аммония. Сменный направитель устанавливался в ванне вертикально, вниз фиксирующей скобой. В качестве токоподводящей оснастки использовалась проволока диаметром 1,5 мм из стали 12X18H10T. Температура в ванне поддерживалась в пределах 85–90 °С. Продолжительность обработки 10-12 мин. Согласно проведенным замерам шероховатость наружных поверхностей находится в пределах $Ra = 0,08-0,12$ мкм, что соответствует требованиям, заложенным в технических условиях. Использование сменных направителей при постоянно установленном устройстве крепления ускоряет в 5–8 раз процесс проведения биопсий и значительно снижает затраты на стерилизацию частей адаптера.

Особенности технологии массового изготовления металлических и керамических деталей сложных конфигураций

Григорьев Н.С., Ивашин Э.Я.

Белорусский национальный технический университет

РІМ-технология (powder injection molding) – литьё порошковых смесей, используется для производства металлических (МІМ) и керамических (СІМ) изделий сложного профиля с достаточно высокими требованиями по точности (9-10-й квалитет) практически без отходов материала и последующей механической обработки. По этой технологии металлический или керамический порошок со связующим при температуре около 170°С под давлением заполняет пресс-форму, где происходит его затвердевание. Затем в печи для дебайдинга происходит термо-каталитическое удаление связующего из заготовки при температуре 110...130°С. После этого происходит спекание заготовки в готовое изделие при температуре до 1650°С.

Наибольшее распространение для РІМ-технологии получили исходные материалы Catamold компании BASF (Германия). В качестве исходного сырья (гранулят, фидсток) используют смеси тонких порошков и термопластичного связующего (полиацеталь). Используются порошки низко- и высоколегированных стали, оксидной керамики и т.д. Сравнение РІМ-технологии с традиционными технологиями приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение РІМ-технологий с традиционными технологиями

Параметр	Механ. обработка	Порошковая металлургия	Литье	РІМ
Вес, г	–	0,5...2500	–	0,01...200
Минимальный допуск, %	<0,1	0,2...0,4	0,5...1	0,3...0,5
Плотность, %	100	92	99	96...99
Прочность, %	100	70	>95	>95
Толщина стенки, мм	1...100	2...20	2...20	0,5...15
Шероховатость поверхности Ra, мкм	0,16...5	2...5	5	1...2

Теория механизмов и машин

**Определение закона движения главного вала машины
с учетом динамической характеристики электродвигателя**

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М., Ратников А.В.
Белорусский национальный технический университет

Свойства электродвигателя в установившемся режиме движения характеризуются зависимостью скорости вращения от развиваемого вращающего момента. В инженерных расчетах широко используется линеаризованная форма механической характеристики асинхронного электродвигателя, учитывающая характеристики двигателя. Однако, такая форма характеристики не учитывает влияния электромагнитных переходных процессов в двигателе. Строгое рассмотрение переходных электромагнитных процессов в двигателях приводит к сложным нелинейным системам дифференциальных уравнений, решение которых затруднено. В этой связи наиболее результативными следует считать направление, основанное на приближенном описании электромагнитных переходных процессов системой линеаризованных дифференциальных уравнений. Целесообразность такого подхода основано на удовлетворительном совпадении результатов, полученных при использовании такого подхода, с экспериментальными данными.

Динамическая характеристика электропривода представляет собой дифференциальное уравнение, которое включает в себя статическую характеристику, а также производную от вращающегося момента по времени и электромагнитную постоянную времени. Для динамического исследования конкретного машинного агрегата с электроприводом дифференциальное уравнение динамической характеристики следует рассматривать совместно с дифференциальным уравнением движения звена приведения, которое учитывает переменный характер приведенного момента инерции и приведенного момента сил. В результате получается система дифференциальных уравнений, которая решается известными численными методами, например Хемминга.

Рассматриваемая методика использования на примере горизонтально-ковочной машины, включающей в себя кривошипно-ползунный механизм. Получены зависимости $\omega_d(\varphi)$ и $M_d(\varphi)$. Движущий момент M_d за цикл изменяется более чем в два раза. Следовательно, использование в учебной и инженерной практике допущения о постоянстве движущего момента далеко от реального положения дел. Кроме того, при учете динамической характеристики средняя скорость установившегося движения несколько отличается от своего номинального значения.

Автоматизация исследований деформации кольца самоцентрирующегося патрона

Крайко С.Э., Луцко Н.Я., Суханов Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Погрешность формы внутренней цилиндрической поверхности тонкостенного кольца, закрепленного в самоцентрирующемся патроне, определяется по формуле $\Delta_\phi = 2(|y_1| + |y_2|)$. Значение прогиба кольца в месте его контакта с кулачком

$$y_1 = \frac{Pr_{cp}^3}{4EI} \left(1 + \frac{\pi}{K} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{K} \right) \right) \operatorname{ctg} \frac{\pi}{K} - \frac{Pr_{cp}^3 K}{2EI\pi} + \frac{Pr_{cp}^3 \pi}{4EIK},$$

выпучивание кольца между кулачками

$$y_2 = \frac{Pr_{cp}^3}{4EI \sin \left(\frac{\pi}{K} \right)} \left(1 + \frac{\pi}{K} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{K} \right) \right) - \frac{Pr_{cp}^3 K}{2EI\pi}.$$

Построенная математическая модель показывает, что деформация кольца зависит от усилия закрепления на кулачке P , среднего радиуса кольца r_{cp} , модуля упругости материала кольца E , момента инерции сечения кольца относительно нейтральной оси I , количества кулачков K .

Для автоматизации исследований деформации кольца на основе приведенной математической модели построен программно-вычислительный комплекс в интегрированной среде разработки Delphi 7, предоставляющий информацию для анализа в числовом и графическом видах при различных значениях исходных параметров. Фрагмент варианта исследований имеет вид:



Разработанный инструментальный комплекс внедрен в учебный процесс по дисциплине «Информационные технологии» для демонстрации использования программных продуктов при исследовании технологических процессов.

Исследование собственных колебаний средств малой механизации

Николаев В.А., Кудин В.В., Янкевич С.Н.

Белорусский национальный технический университет

В рамках вибродиагностики и мониторинга обычно определяются частоты резонансов оборудования для снижения резонансных колебаний путем направленного сдвига резонансных частот колебательной системы относительно частот колебательных сил. При диагностике оборудования решаются задачи обнаружения дефектов отдельных элементов конструкций, например, корпуса, а также элементов крепления, по изменению частот и скоростей затухания собственных колебаний. Для решения этих задач поставляется встроенная в виброанализатор СД-21 программа "Удар", предназначенная для анализа затухающих колебаний механических систем, возбуждаемых однократным кратковременным ударным воздействием.

Для входа в программу «Удар» нужно выбрать команду «Прикладные программы» в основном меню виброанализатора СД-21. Далее необходимо выбрать раздел «Удар» и нажать клавишу «Ввод». После нажатия «Измерить» появится следующий экран, позволяющий выбрать вид представляемой информации: выбрав раздел «Только спектр», можно быстро просматривать спектры удара, определять частоты основных резонансов и их форму, а если выбрать раздел «Временной сигнал, спектр, декремент», можно просмотреть временной сигнал вибрации, возникающей при ударе, и затем спектр объекта, возбужденный этим ударом.

Был проведен анализ собственных частот колебаний элементов конструкции тележки, а именно её платформы и пантографа (подъемного механизма). Измерения проводились с использованием виброанализатора СД-21. Датчики крепились на платформе тележки в трех взаимно перпендикулярных направлениях, а так же на звеньях пантографа. Выбор точек приложения и направления действия ударного импульса осуществлялся так, чтобы преимущественно возбуждались колебания необходимых форм. Записанные результаты измерений обрабатывались программой VIBRO 12 и получены значения: частоты (Гц); декремента затухания; добротности колебательного контура; времени уменьшения максимума резонанса в "e" раз от начального (мс).

Анализ показал, что собственная частота колебаний платформы, имеющая высокую добротность, равна 3.03, 7.24 и 42.53 Гц. Собственная частота колебаний пантографа, имеющая высокую добротность, равна 3.03 и 8.94 Гц.

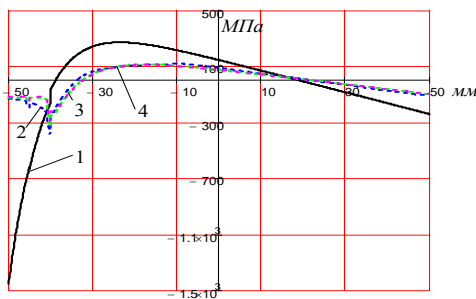
Применение метода переменных параметров упругости для определения остаточных напряжений

Пилипчук А.П.

Военная академия Республики Беларусь

В настоящее время для определения напряженного состояния поверхностного слоя применяются экспериментальные и расчетные методы. Расчетные методы анализа напряженно-деформированного состояния при лазерной обработке основаны на использовании положений термоупругости и термопластичности. В наиболее общей постановке процесс формирования остаточных напряжений после поверхностного упрочнения в принципе сводится к сложной задаче теории термопластичности. Для решения технических задач целесообразно пользоваться частными вариантами данной теории, что позволяет облегчить процесс решения, но при этом позволяет достаточно полно исследовать напряженное состояние. В данной работе для выявления закономерностей образования остаточных напряжений после поверхностного упрочнения предлагается использовать метод переменных параметров упругости. В основе данного метода лежит представление уравнений термопластичности как уравнений термоупругости, в которых параметры упругости зависят не только от температуры, но и от напряженно-деформированного состояния материала в данной точке тела.

На основе использования метода переменных параметров упругости определены температурные напряжения в многослойной пластине с покрытием на этапе нагрева. Результаты показаны на рисунке, 1 – упругий расчет; 2, 3, 4 – расчет по методу переменных параметров упругости.



Применение метода позволило решить задачу оценки напряженного состояния в детали с покрытием. Полученное решение можно использовать для выбора материалов покрытия, определения оптимальных способов и режимов поверхностного упрочнения.

**Развитие средств вибродиагностики как основа инноваций
в инженерной деятельности**

Авсиевич А.М., Авдонин А.В., Кудин М.В., Довнар С.С., Карабанюк И.А.
Белорусский национальный технический университет

Мы привыкли к тому, что состояние машины, как механической системы, контролируется по уровню давления, температуре, компрессии и т.д., т.е. по определенным диагностическим признакам и только после этого принимается решение о ее техническом состоянии и необходимости проведения наладочных или ремонтных работ. Сущность технической диагностики заключается в обнаружении и поиске дефектов, содержащихся в той или иной машине. Виброакустическая диагностика позволяет обнаруживать развитие дефектов на раннем этапе эксплуатации машины. Любое оборудование, имеющее вращающиеся или перемещающиеся звенья, создает механические колебания, являющиеся причиной дефектов и преждевременного износа. Комплекс параметров вибрации практически полностью характеризует техническое состояние машины, что позволяет прогнозировать возникновение неисправностей. Использование комплекса параметров вибрации для диагностирования состояния машины и называется вибродиагностикой. Получение и анализ самого частотного спектра, его временного сигнала, а также спектра огибающей высокочастотной вибрации с учетом изменения фазовых углов позволяют судить не только о выходе из строя отдельных узлов машины. Все это является важнейшей информацией для заключения о техническом состоянии машины. В вибродиагностике следует выделить такие задачи, как вибрационный мониторинг машин и оборудования, вибрационная диагностика, балансировка роторов на работающей машине, вибрационный модельный анализ, и т.д. Отличительной характеристикой задач вибродиагностики является использование в качестве данных не статических параметров, а динамических (виброперемещение, виброскорость и виброускорение). Все сказанное о вибродиагностике непосредственно связано с курсом «Колебания в машинах» для студентов инженерно-технического профиля. Совершенствование этого курса должно полностью отвечать запросам вибродиагностики и является теоретической базой по повышению эффективности производства за счет перевода оборудования на техобслуживание и ремонт по фактическому его состоянию. Внедрение на предприятии методов вибрационного мониторинга и диагностики позволит повысить качество выпускаемой продукции, конкурентноспособность и престиж предприятия, увеличивая тем самым финансовую устойчивость и привлекательность для инвесторов.

**MatLab как инструмент для исследования динамики
и динамического анализа машинного агрегата**

Кудин В.В., Макаренко Р.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В курсовом проектировании по теории механизмов и машин динамика машинного агрегата выполняется с использованием ЭВМ, однако, точность используемых численных методов недостаточна, в связи с тем, что обработка индикаторной диаграммы выполняется с шагом через 30 градусов по углу поворота кривошипа.

Было замечено, что повышение точности может быть обеспечено введением интерполяционного метода при сохранении шага обработки индикаторной диаграммы.

Воспользовавшись пакетом MatLab и, в частности, интерполяцией методом наименьших квадратов, получили зависимость изменения силы давления газов в виде полинома n -й степени. В результате индикаторная диаграмма двух- либо четырехтактного двигателя описывается сложной функцией n -го порядка. Последующая обработка по определению параметров динамической модели, как приведенного момента движущих сил, так и работы движущих сил может быть выполнена с любой, наперед заданной точностью. Точность расчета работы движущих сил повышается потому, что при интегрировании мы используем более мелкий шаг – 1 градус и менее. Эта возможность достигается путем использования полиномов 4-й степени. По результатам данной работы составлен программный пакет в среде MatLab, позволяющий студентам автотракторных специальностей выполнять динамический синтез и анализ более сложных машинных агрегатов (с использованием многоцилиндровых ДВС). Приведено подробное описание всех аспектов использования функций прикладного пакета MatLab.

По предложенной методике выполнены расчеты исследования динамики машинного агрегата, с использованием двухтактного и четырехтактного ДВС легкового автомобиля.

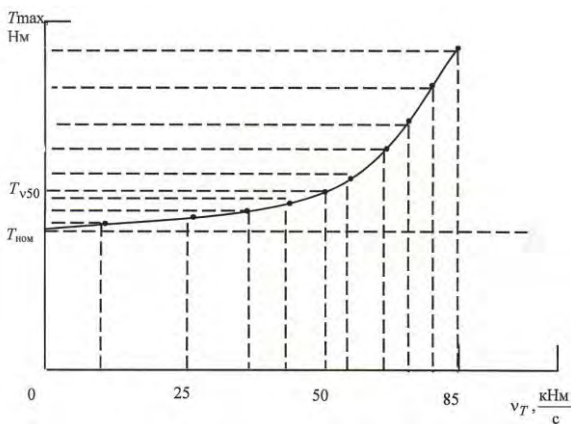
В результате проделанной работы были получены динамические характеристики и определен закон движения коленчатого вала двигателя. Анализ результатов показал, что использование предложенного пакета позволяет повысить точность расчетов, а также расширить тематику курсового проектирования до использования многоцилиндровых ДВС, что в итоге значительно повышает качество и самостоятельность выполнения проекта с использованием ЭВМ.

Проектирование приводов машин с учетом динамической чувствительности предохранительных устройств

Николаев В.А., Орлов С.И., Мосейчук О.О.

Белорусский национальный технический университет

Задавая в качестве исходных данных различные угловые скорости вращения ведомого вала ω_i перед резким стопорением, можно оценить динамическую нагруженность машинного агрегата при самом тяжелом режиме нагружения привода коэффициентом динамической чувствительности. Получаем изменения крутящего момента $T_i = f(t_i)$, который зависит от скорости нарастания T_{max} . Имея максимальные значения крутящих моментов при различных скоростях их нарастания V_{Ti} , получаем общую зависимость $T_{max} = f(V_T)$. Из ее анализа следует, что начиная с некоторой скорости, максимальный момент срабатывания значительно превышает момент настройки муфты, т.е. существенно увеличивается коэффициент динамичности;



данная зависимость носит степенной характер, как показано на рисунке. Количественно степень увеличения момента срабатывания может быть определена коэффициентом динамической чувствительности:

$$K_{д.ч.} = T_{V50} / T_{ном}$$

Скорость нарастания крутящего момента

50кНм/с принята как наиболее характерная для практических случаев использования фрикционных предохранительных муфт. Коэффициент динамической чувствительности характеризует влияние скорости нарастания крутящего момента на максимальный момент срабатывания предохранительной муфты и должен быть учтен при проектировании привода машины. Это позволяет решить вопрос о месте постановки предохранительной муфты или переносе ее в менее динамичную зону привода.

**Перспективы рекуперации механической энергии
в электромеханической трансмиссии средств малой механизации**

Шашко А.Е., Серик А.Л., Хурсевич С.В., Авсиевич А.М.
Белорусский национальный технический университет

Для средства малой механизации, работающего при частом чередовании режимов пуска и торможения, следует рассмотреть возможность создания системы рекуперации энергии. Для разработки эффективной системы рекуперации необходим детальный анализ режима эксплуатации объекта. Процесс рекуперации происходит при торможении, она эффективна при частой смене режимов разгона и торможения, а также при частом движении под уклон (накатом). Режим торможения может обеспечиваться различными способами. В мобильных транспортных средствах чаще всего при торможении двигатель отключается и включается дополнительное тормозное устройство, создающее дополнительный момент сопротивления. Вместо диссипации накопленной кинетической энергии при торможении ее целесообразно направить на вращение вала генератора. Средства малой механизации, как правило, приводятся в движение электродвигателем от аккумуляторов, поэтому для них следует рассматривать только тип рекуперации, предусматривающий преобразование механической энергии в электрическую.

Оптимальным для средств малой механизации является вариант конструкции, в котором будет использован привод типа «мотор-колесо», независимый для левого и правого колес. При этом в кинематической цепи между двигателем и колесом устанавливается минимальное количество передаточных звеньев. Приведенный момент инерции привода будет минимизирован, что будет способствовать повышенной управляемости трансмиссии и обеспечению большей плавности разгона и торможения. Установка устройства рекуперации приведет к увеличению приведенного момента инерции, что имеет положительные эффекты: снижаются динамические нагрузки в передаточных механизмах трансмиссии, исключается появление переменной составляющей движущего момента, которая может вызвать неблагоприятные процессы в двигателе и снижение его КПД.

Эффективным будет мехатронное устройство управления рекуперацией, которое обеспечит автоматическое регулирование передаточного отношения между колесом и валом генератора и разрыв кинематической связи привода в нужный момент. Оно сконструировать систему с переменными подключаемыми дополнительными маховыми массами, что, однако, может сделать систему чрезмерно громоздкой.

Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент

Зависимость адгезионной прочности покрытий от наполнителей модифицированных полимеров

Белоцерковский М.А., Макаревич И.В.

Белорусский национальный технический университет

Адгезионная прочность полимерного композиционного покрытия к подложке зависит от структуры частиц напыляемых порошков. Для повышения адгезии газопламенных покрытий использовалось объемное модифицирование полимера неорганическими добавками. Для исследований был выбран полимер – полиэтилен высокого давления низкой плотности (ПЭВД). В качестве неорганических добавок в полимер использовались порошки с размером частиц 200-300 мкм ситалла и 25-50 мкм алюминиевой пудры с процентным содержанием от 5% до 30%, которые смешивались с образованием композиционного состава. Производилось газопламенное напыление полимерных покрытий без наполнителя и модифицированных наполнителями, которые исследовались на адгезионную прочность композиционного покрытия к подложке.

Анализ результатов исследования (рисунок 1) показывает, что введение неорганических наполнителей ситалла и алюминиевой пудры в полиэтилен с процентным содержанием <15% способствует увеличению адгезии покрытия на 12...20%. Полимерные покрытия с содержанием ситалла >23% и алюминиевой пудры >20% имеют адгезионную прочность ниже, чем без наполнителей. При этом адгезионная прочность сцепления ситаллополимерных покрытий с подложкой выше, чем покрытий, напыляемых шихтой с алюминиевой пудрой.

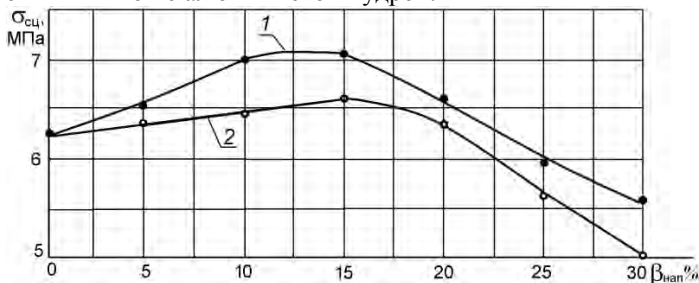


Рисунок 1 – Зависимость прочности сцепления $\sigma_{сц}$ полимерных покрытий из полимера ПЭВД от наполнителей в виде ситалла (1) и алюминиевой пудры (2) и их процентного содержания $\beta_{нап}$

Зависимость прочности композиционных покрытий от размеров частиц смеси полимерных порошков

Белоцерковский М.А., Макаревич И.В.

Белорусский национальный технический университет

Исследовалось влияние размера частиц полимера на прочность композиционного покрытия после газопламенного напыления из смеси полимерных порошков полиэтилентерефталата (■), полиэтилена (▲), полиамида (●) и ситалла 10 об.% в качестве наполнителя с размерами частиц напыляемого порошка до 350 мкм и при соотношении их размеров $d_{max}/d_{min}=1,5$. Установлено, что наибольшая адгезионная прочность полимерных покрытий достигается напылением порошков размерами частиц от 150 до 300 мкм (рисунок 1).

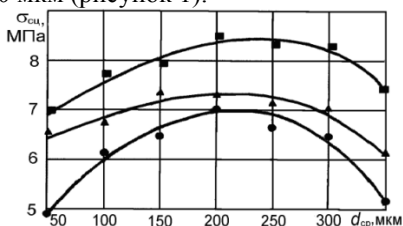


Рисунок 1 – Зависимость прочности сцепления на отрыв покрытий от размера частиц порошков

Результаты исследования показывают, что максимальная прочность сцепления покрытий на отрыв (рисунок 2) обеспечивается при соотношении между максимальным и минимальным диаметрами частиц в шихте $d_{max}/d_{min} < 1,5 \dots 2,0$. Наибольшей прочностью сцепления обладают полимерные покрытия на основе порошков полиэтилентерефталата.

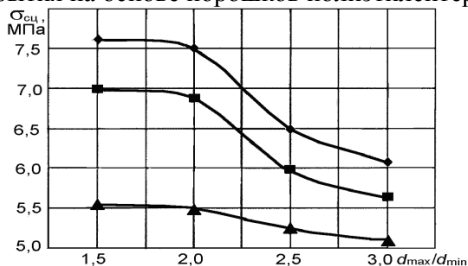


Рисунок 2 – Зависимость прочности сопротивления отрыву полимерных покрытий от соотношения размера частиц d_{max}/d_{min} порошков

**Проблемы обрабатываемости низкоуглеродистых сталей
после плазменной резки**

Василенко А.Г., Наумчик Н.А., Яцкевич О.К.
Белорусский национальный технический университет

Плазменная резка конструкционных сталей используется для получения заготовок из стальных листов толщиной 3...200 мм. Однако остается нераскрытым вопрос влияния режимов плазменной разрезки на физико-механические свойства поверхностей разреза. Целью данной работы стало изучение влияния режимов плазменной резки на геометрические характеристики реза стальных заготовок, а также структурные и фазовые превращения в приповерхностных слоях для оценки последующей обрабатываемости лезвийным инструментом.

В качестве объектов исследования выступали образцы стали 09Г2С размером 15×15×8 мм, полученные методом плазменной резки. Резка осуществлялась на установке Corsagas 7026. Скорость резки варьировалась в пределах от 440 до 3000 мм/мин при силе тока 40...100 А.

После плазменной резки с детали испарялось (уносилось) определенное количество материала и образовывался скол кромки. Были получены зависимости изменения площади сечения среза образцов и угла скола кромки от режимов резки.

При увеличении скорости резки угол скола кромки достигает максимальной величины на значениях скорости 1600...1700 мм/мин при силе тока 80 А. Найдены оптимальные значения тока 80А и скорости резки в диапазоне 2000...2300 мм/мин для низкоуглеродистых сталей на данной установке, обеспечивающие получение качественных сквозных резов с минимальными углами скола кромок и постоянными характеристиками ширины реза.

Подобранные таким образом режимы позволяют осуществлять процесс резания с минимальными тепловложениями в основной металл для предотвращения появления остаточных напряжений и коробления заготовки, а также для уменьшения степени упрочнения поверхностного слоя в областях прилегающих к резу в результате насыщения его азотом. Предлагаемые режимы плазменной резки низкоуглеродистых сталей позволяют повысить обрабатываемость полученных заготовок и увеличить стойкость режущего инструмента, используемого на последующих операциях механической обработки.

Способы установки горизонтальных рельсовых направляющих с циркуляцией тел качения

Глубокий А.С., Глубокий В.И.

Белорусский национальный технический университет

Рельсовые направляющие с циркуляцией тел качения имеют различные способы установки кареток и шин на базовые поверхности рабочего органа и базовой детали, которые зависят от направления подачи, величины и направлений нагрузок и конструкций базовых поверхностей. Горизонтальные схемы установки шин и кареток применяются в горизонтальных приводах подачи s_r токарных и многооперационных станков с ЧПУ (рисунок 1). Каретки и шины могут располагаться и в вертикальной плоскости. При этом они устанавливаются на базовой вертикальной плоскости (а) или на горизонтальных наружных или внутренних плоскостях (б, в). Такая установка направляющих применяется для подачи суппорта вертикальных токарных станков с ЧПУ.

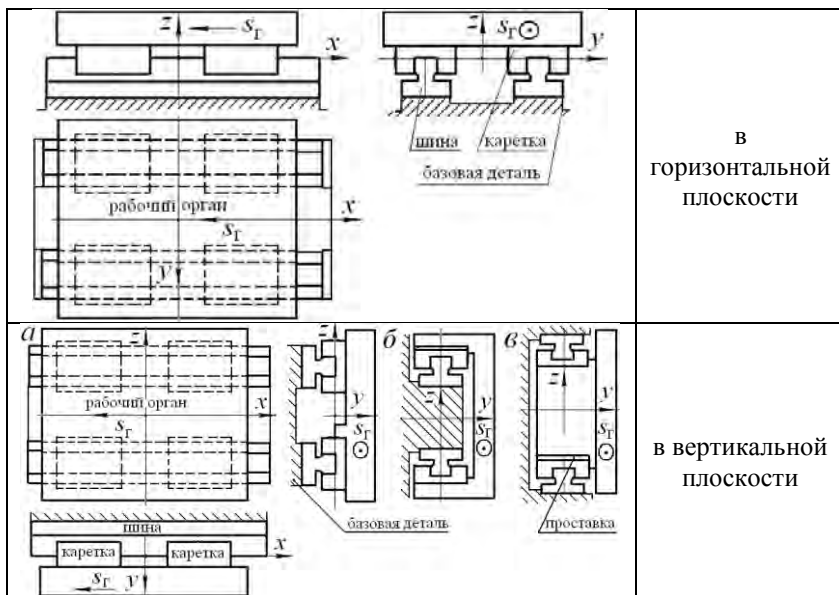


Рисунок 1 – Схема установки направляющих качения

УДК 621.793:666.3-492.2, 621.762

Разработка технологических основ механотермического получения диффузионно-легированных оксидных порошков

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К.
Белорусский национальный технический университет

Термодиффузионная обработка керамических материалов для плазменного напыления выполняется с целью повышения эксплуатационных характеристик покрытий на основе оксидной керамики. Целью данной работы являлась оптимизация режимов термодиффузионного легирования медью исходного керамического порошка на основе оксида алюминия и оксида циркония.

К параметрам процесса термодиффузионного насыщения, влияющим на качество получаемых порошков, относятся степень заполнения контейнера порошковой смесью, частота вращения контейнера, время изотермической выдержки, а также исходная грануляция порошков. Выбор оптимальной скорости вращения контейнера осуществляли исходя из полученного экспериментально соотношения: $n=(2-5) \cdot R^{0,5}$, где n – частота вращения, мин^{-1} , R – внутренний радиус контейнера, мм. Более низкие значения скорости при степени заполнения контейнера 80% ведут к спеканию смеси и неравномерному распределению добавок в основной массе порошка. При превышении частоты вращения 100 мин^{-1} происходит налипание порошка на стенки контейнера вследствие действия центробежных сил.

Оптимальная грануляция исходного порошка оксида алюминия (Al_2O_3) и модифицирующих добавок оксида циркония (ZrO_2) и меди была определена на основе моделирования движения диффузионно-легированных частиц оксида алюминия и оксида циркония в плазменных струях. Наиболее близкими кинематическими и температурными характеристиками обладают частицы Al_2O_3 размером 100 мкм и частицы ZrO_2 размером 80 мкм. Частицы легирующего элемента (меди) должны быть в 4...5 раз меньше основной керамической частицы, чтобы в итоге получить конгломерат, представляющий собой крупное ядро, равномерно покрытое более мелкими включениями.

Наиболее оптимальными режимами получения керамических порошков на основе оксида алюминия методом диффузионного легирования являются: степень заполнения объема контейнера 50%, время изотермической выдержки 2 часа, температура нагрева 1100°C , скорость вращения $40...50 \text{ мин}^{-1}$.

Особенности траектории движения режущих лезвий при сверлении шнековыми сверлами

Дечко Э.М.

Белорусский национальный технический университет

Интенсификация технологических процессов неразрывно связаны с проблемами образования и удаления сливной стружки из зоны резания. Это предопределяют непрерывный поиск способов дробления сливных стружек.

Известна классификация методов дробления [1], включающая, в частности, вибрационное резание. Вибрационное резание по частоте колебаний подразделяется на низкочастотное (до 200 Гц), вызывающее количественное изменение условий стружкообразования, высокочастотное (200...15000 Гц) и ультразвуковое (от 15000 Гц), которые оказывают качественное влияние на механизм стружкообразования [2].

Установлено, что при сверлении отверстий шнековыми сверлами наблюдаются следующие стадии: 1) при врезании в заготовку – предварительное раскручивание спиральных канавок и удлинение сверла; 2) в процессе резания – продольные и крутильные колебания режущих лезвий относительно их рабочего положения; 3) после прекращения сверления – лезвия возвращаются в исходное положение. В процессе экспериментов при сверлении Ст45 углы предварительного раскручивания спирали сверла составляли $3,5...8^{\circ}$, амплитуда крутильных колебаний относительно рабочих положений лезвий составляла $2...4^{\circ}$. Крутильные колебания сверла реализуют низкочастотный (~150 Гц) вибрационный режим при глубоком (до 40 d) сверлении, что обеспечивает эффективное дробление стружки и высокую работоспособность шнековых сверл [3, 4, 5].

Литература:

1. Ахметшин, Н.И. Вибрационное резание металлов / Н.И. Ахметшин [и др.] – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 80 с.
2. Подураев, В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1974. – 590 с.
3. Дечко, Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях / Э.М. Дечко – Мн.: Выш. школа, 1979. – 232 с.
4. Дечко Э.М., Воронович А.В., Шмачков В.В. Условия стружкоотвода для специальных спиральных сверл // Машиностроение: Республ. межвед. сб. научных трудов. – 2009. – вып. 24, т.2. – С. 55–56.
5. Дечко Э.М., Колесников Л.А., Брилевский В.В. Депланация шнековых сверл // Машиностроение: Республ. межвед. сб. научных трудов. – 2009. – вып. 24, т.2. – С. 108–111.

МКЭ-анализ динамики крупногабаритного многоцелевого станка «Travelling column»

Довнар С.С.

Белорусский национальный технический университет

Проведен МКЭ-анализ динамики несущей системы уникального по высоте станка (более 7 м). Это – станок (МЗОР) типа «Travelling column» с высокой подвижной стойкой, по которой может перемещаться суппорт с горизонтальным ползуном длиной 4,5 м. В торце ползуна телескопически смонтированы фрезерный и расточной шпиндельные узлы.

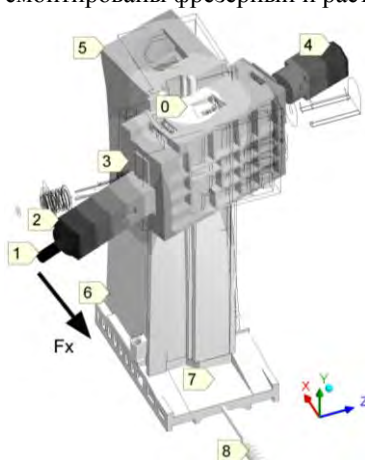


Рисунок 1 – Резонансные крутильные колебания станка (общестаночная мода М3) на частоте 27,8 Гц: 1 – расточной шпиндель; 2 – фрезерный шпиндель внутри горизонтального ползуна (ось Z); 3 – вертикальный суппорт (ось Y); 4 – главный двигатель; 5, 6 – стойка; 7 – салазки (ось X); 8 – образ продольного привода; О – центр крутильных колебаний вокруг вертикальной оси.

Выполнен статический, модальный и гармонический МКЭ-анализ. Построена амплитудно-частотная характеристика станка. Обнаружены два изгибных резонанса суппорта на стойке (M1, M2) на низких частотах 11,7 и 12,5 Гц. Самый мощный резонанс М3 выявлен на частоте 27,8 Гц. Он заключается в крутильных колебаниях стойки вместе с суппортом и ползуном (рисунок 1).

Из-за сочетания обстоятельств частота моды М3 почти постоянна при движении суппорта. Виртуальная замена чугунной стойки на стальную или алюминиевую слабо влияет на резонансные частоты. Несущая система станка демонстрирует большую инвариантность резонансов.

Найдено три интервала для эксплуатации станка: статический I (0-8 Гц), межрезонансный II (32-65 Гц) и зарезонансный III (>105 Гц). Интервал III перспективен для ВСО. Здесь зарезонансное демпфирование колебаний обеспечивает динамическую жесткость 500-600 Н/мкм, несмотря на сублильность несущей системы станка.

МКЭ-анализ пруткового станка-автомата для вихревого точения

Довнар С.С., Каханчик Е.И., Мищенко С.Н., Ратько Е.Ф.
Белорусский национальный технический университет

С помощью МКЭ проведен модальный и гармонический анализ проектируемого пруткового станка-автомата. Станок оснащен (рисунок 1) головкой для вихревого точения («В» на шпиндельной бабке 1). Пруток «П» протягивается справа налево, не вращаясь. Его поддерживает направляющая коробка 2 на станине «С». Для прутка требуется получение точного диаметра. Поэтому вибрации станка должны быть минимальными.

Благодаря модальному МКЭ-анализу найдена группа общестаночных резонансов. Они располагаются в частотной области от 65 до 175 Гц.

В ходе гармонического МКЭ-анализа исследовано динамическое возбуждение станка круговой силой на шпинделе и оппозитной парой сил на резце и прутке. С помощью АЧХ проанализированы в динамике варианты поддержки прутка. Найдены критические опоры и места недостаточной жесткости. Даны рекомендации по оптимизации несущей системы станка.

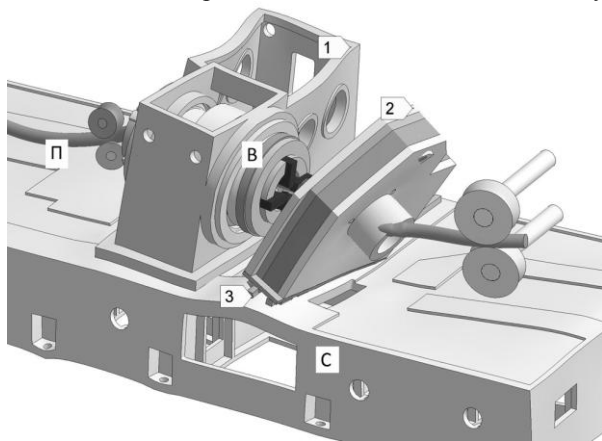


Рисунок 1 – Резонансные колебания станка на частоте 131,2 Гц (возле устойчивой шпиндельной бабки 1 направляющая коробка 2 раскачивается на потолке 3 стружечного прохода станины «С»; $\times 160000$)

Установлено, что основной проблемой несущей системы является раскачивание тонкой направляющей коробки (рисунок 1). Эффект выражен потому, что коробка вынужденно была смонтирована на потолке стружечного прохода в станине. Рекомендовано ввести в кинематику станка движение поджима коробки и подающей стойки к шпиндельной бабке (вдоль оси прутка, на время обработки). Это создает «мост» через стружечный проход и обеспечивает динамическую жесткость станка.

Устройство к токарному станку для обработки пустотелых деталей

Ивашин Э.Я., Акунец В.П.

Белорусский национальный технический университет

Известно устройство для токарной обработки нежестких пустотелых деталей на оправке, в котором коэффициент линейного растяжения материала оправки больше коэффициента линейного растяжения материала детали. Нагревательным элементом в этом устройстве служит деталь, через которую пропускают электрический ток. Для повышения производительности и упрощения конструкции нагревательный элемент выполнен в виде индуктора ТВЧ, снабженного приводом перемещения в направлении, перпендикулярном оси вращения оправки и установленного на задней бабке станка (рисунок 1). При черновой обработке между индуктором 4 и оправкой 2, на которой закреплена деталь 3, устанавливают минимальный зазор. Включают индукционный нагрев ТВЧ и ведут черновую обработку детали. Затем, при получистовом проходе, температуру нагрева снижают за счет частичного отвода индуктора 4 от внутренней поверхности оправки 2. Чистовую обработку детали производят, отводя индуктор на максимальное расстояние t к центру.

Применение предлагаемого устройства позволяет упростить конструкцию путем исключения токосъемных элементов и повысить производительность станка за счет сокращения времени нагрева.

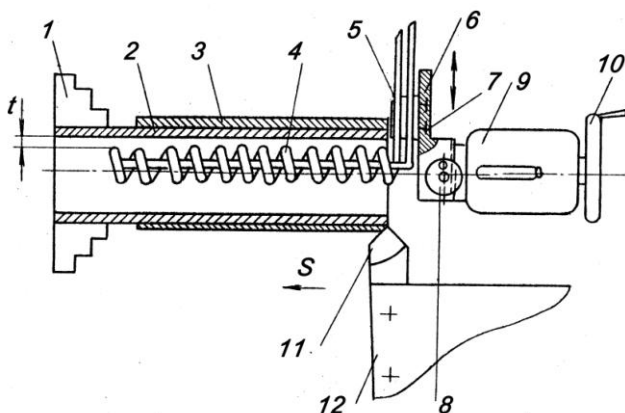


Рисунок 1 – Общий вид устройства

Лазерные технологии финишной обработки деталей инструментальной оснастки

Колесников Л.А., Корниевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

К финишным методам обработки посредством лазерного излучения можно отнести очистку поверхности от загрязнений, полирование, шлифование, формирование микрорельефа (текстур). Для операций, связанных с удалением материала, предпочтительней использовать т.н. фемтосекундные лазеры, с длительностью импульса порядка $5 \dots 100 \times 10^{-12}$ с.

В последние годы повышенное внимание уделяется автоматизации полирования в инструментальной промышленности. Связано это с тем, что при изготовлении штампов и пресс-форм на операции полирования приходится 12...15% себестоимости и до 30...50% времени изготовления. При полировании сфокусированный луч лазера сканирует поверхность детали. При этом тонкий (0.05...0.2 мм) поверхностный слой материала расплавляется. Поверхностное натяжение выравнивает поверхность расплава, и он тут же застывает. В результате шероховатость обработанной поверхности падает до Ra 0.05 μm .

Можно выделить две разновидности лазерного полирования металлов: макро- и микрополирование. Макрополирование обычно осуществляется волоконным лазером Nd:YAG непрерывного действия мощностью 40...500 Вт. Чаще всего используется для обеспечения высокой производительности при относительно невысоких требованиях к шероховатости обработанной поверхности. При микрополировании используется импульсное излучение от волоконных Nd:YAG и эксимерных лазеров. Обычно длительность импульса 20...1000 ns, частота до 25 kHz. Микрополирование используется для обработки хорошо подготовленных поверхностей, например, после шлифования, тонкого фрезерования и т.д. Сравнительная характеристика микро- и макрополирования представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение параметров лазерного макро- и микрополирования

	макрополирование	микрополирование
Глубина плавления, μm	20...100	0.5...5
Скорость обработки, $\text{с}/\text{см}^2$	7...60	1...10
Исходная шероховатость	Ra=0.4...10 μm	Ra=0.5...0.8 μm
Достигаемая шероховатость	~Ra 0.5 μm	~Ra 0.05 μm

Глубинное шлифование с непрерывной правкой шлифовального круга

Корниевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Под термином «непрерывная правка» понимается метод профилирования алмазным роликом фасонных шлифовальных кругов в процессе шлифования. Одно из основных его преимуществ является повышение скорости съема металла. Также повышается размерная точность, уменьшается тепловое воздействие на изделие при уменьшении и стабилизации сил шлифования. Кроме того, непрерывная правка круга снимает ограничения, налагаемые при периодической правке на длину шлифования износом круга, что позволяет обрабатывать методом глубинного шлифования детали недоступной ранее длины, или несколько коротких изделий за один проход.

Для проведения непрерывной правки станок оснащается приспособлением, смонтированным на шлифовальной бабке, подающей алмазный ролик на шлифовальный круг со скоростью, равной скорости износа шлифовального круга, что обеспечивает параллельность обработанной поверхности направлению движения стола станка. Рекомендуемая подача алмазного ролика – 1...2 мкм на оборот круга, при скорости шлифования 30...33 м/сек.

Например, при обработке быстрорежущей стали Р6М5 (HRC 66) кругом из электрокорунда при подаче 0,002 мм/оборот и скорости стола 1 м/мин, скорость съема составила около 50 см³/мин. При непрерывной правке круг изнашивается быстрее, чем при периодической; при описанных условиях скорость износа круга достигала 0,39 мм на 100 мм длины шлифования. Однако значительно возрастает производительность. Так, при обработке вязкой никелевой стали двукратному повышению скорости износа круга сопутствует десятикратное повышение скорости съема. По оценкам экспертов, реализация непрерывной правки круга при глубинном шлифовании может повысить производительность обработки более чем на 100% при снижении себестоимости от 30 до 70%.

Единственный недостаток глубинного шлифования с непрерывной правкой круга по сравнению с периодической – ухудшение шероховатости обработанных поверхностей, объяснимое отсутствием затупленных зерен и засаливания круга. При необходимости шероховатость может быть уменьшена введением дополнительного выхаживания.

Выбор наклона концевой сферической фрезы при пятиосевой обработке

Кочергин А.И., Ратько Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Пятиосевая фрезерная обработка используется в производстве сложных и точных деталей в авиационной и автомобильной промышленности, при изготовлении пресс-форм и штампов, медицинского оборудования. Для обеспечения заданной точности необходимо обеспечить максимально равномерную нагрузку при обработке поверхности сложной формы. Для этого необходимо точно знать силы резания в каждой точке траектории обработки, чтобы правильно выбрать ориентацию (наклон) фрезы. Силы резания определяются, исходя из мгновенной толщины стружки. Для определения толщины при произвольном угле наклона фрезы следует совместить 3D-модель фрезы с 3D-моделью заготовки для каждой точки траектории и, используя Булевы операции, извлечь общий для них объем (фактически, снимаемый слой металла, стружка), рисунок 1. Затем, совмещая 3D-модели дисков со снимаемым объемом металла, сформировать его послойные сечения, перпендикулярные к оси фрезы. В результате получив области взаимодействия фрезы с обрабатываемой деталью при различных углах наклона фрезы.

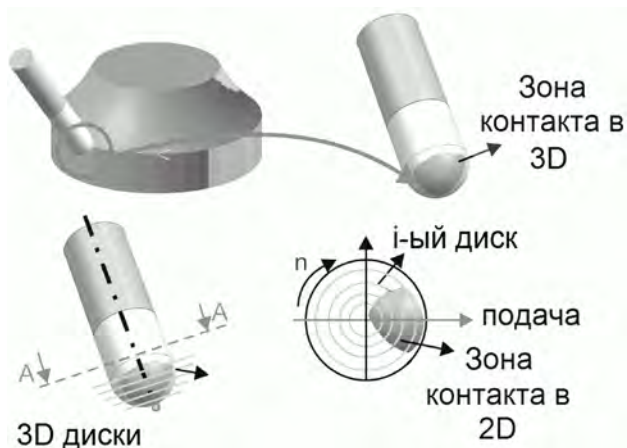


Рисунок 1 – Схема построения зоны контакта фрезы и детали

Виды опор ходовых винтов передач винт-гайка качения

Макаревич И.В., Глубокий В.И.

Белорусский национальный технический университет

В приводах подач могут применяться различные схемы установки подшипников в опорах ходовых винтов передач винт-гайка качения. Схемы ходового винта с одной опорой 1, воспринимающей нагрузки в обоих направлениях и с консольным его вторым концом 2 приведены на рисунке 1. Эта схема допускает небольшую сжимающую нагрузку и не допускает высоких частот вращения. Применяется в вертикальных приводах подач, при небольшом ходе и при затруднениях с установкой второй опоры. Схемы ходового винта с одной фиксирующей опорой 1, воспринимающей осевую нагрузку в обоих направлениях и второй – плавающей 2 – приведены на рисунке 2. Эта схема имеет высокий запас устойчивости по критической частоте вращения и осевой силе и применяется при средних тяговых усилиях. Схемы ходового винта с двумя фиксированными опорами 1 и 2, воспринимающими осевую нагрузку в двух направлениях приведены на рисунке 3. Эти схемы применяются при большом ходе, и обеспечивают высокий запас устойчивости по критической частоте вращения и продольной нагрузке, а также наивысшую жесткость.

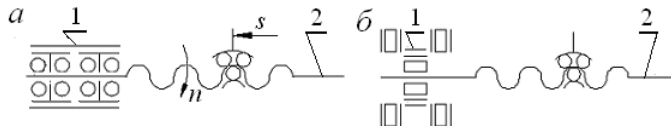


Рисунок 1 – Схемы ходового винта с одной фиксирующей опорой 1 и со свободным вторым концом 2

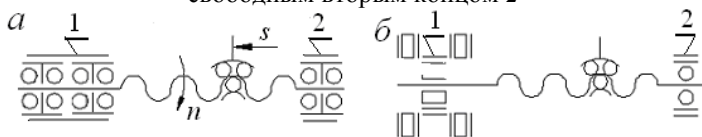


Рисунок 2 – Схемы винта с фиксирующей 1 и плавающей 2 опорами

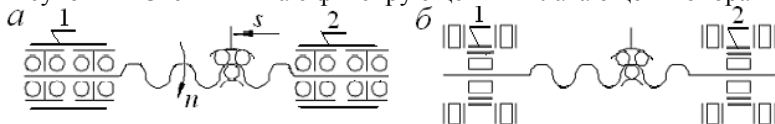


Рисунок 3 – Схемы ходового винта с двумя фиксирующими опорами 1 и 2

Литература:

1. Шариковинтовые приводы Rexroth. – Варшава, 2010. – 128 с.

Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих машин

Ивашин Э.Я.¹, Протасевич В.А.², Шунько С.И.³

¹Белорусский национальный технический университет,

²УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

³ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Традиционно детали рабочих органов почвообрабатывающих машин изготавливают из стали 65Г ГОСТ 4543-71. Однако при ее закалке до высокой твердости (60...65 HRC) детали проявляют склонность к хрупкому разрушению при ударных нагрузках. При традиционной термообработке (закалка и последующий высокий отпуск) получают достаточно высокий показатель вязкости ($0,9...1,1 \text{ МДж/м}^2$) при невысокой твердости (40...44 HRC). По этой причине ресурс, например, дисков лушильников не превышает 1...1,5 сезонов, что составляет приблизительно 15...17 га.

Сравнительный анализ сталей, пригодных для массового применения по параметру качество–цена, позволил остановить выбор на экономно легированной стали пониженной прокаливаемости 60ПП ТУ 14-1-1926-76 РФ. Проведены сравнительные исследования влияния способа термообработки этой стали для получения максимальных прочностных свойств поверхностных слоев применительно для работы в условиях абразивного износа с ударными нагрузками.

В качестве оптимальной технологии термообработки, пригодной для использования в массовом производстве, выбрана технология объемной поверхностной термической обработки. Особенностью такой термической обработки является нагрев в печи либо ТВЧ и интенсивное закалочное охлаждение с высокой скоростью при использовании в качестве охладителя динамического потока быстродвижущейся воды.

По результатам наших исследований объемная поверхностная термическая обработка стали 60ПП ТУ 14-1-1926-76 РФ позволяет получить твердость $56 \pm 2 \text{ HRC}$, вязкость порядка $KCU \approx 1,0 \text{ МДж/м}^2$, прочность $\sigma_b \approx 2200 \text{ МПа}$, предел текучести $\sigma_t \approx 1850 \text{ МПа}$ и обеспечивает оптимальное распределения свойств по сечению. Полевые испытания опытных образцов дисков лушильников показали увеличение ресурса деталей в 2...3 раза, что позволяет снизить расход запасных частей, производить импортозамещение и обеспечивает получение значительного экономического эффекта.

Обзор рынка и рейтинг стран в станкостроении

Якимович А.М., Карабанюк И.А.

Белорусский национальный технический университет

Ежегодно ведущие страны-производители и потребители в машиностроении отправляют отчетные данные в статистические центры для сравнительного анализа и подведения итогов на рынках торговли оборудованием. Когда это необходимо, специалисты исследовательской группы разрабатывают оценку, основанную на информации из ряда источников, в том числе данные импорта и экспорта из торговых партнеров страны, предоставившей информацию.

При расчете мировых итогов выявляются топ-20 стран в сфере потребления и производства, на которых приходится порядка 95% от мировой торговли. Это позволяет судить о состоянии рынка по сравнительно небольшому числу представителей, составлять прогнозы на следующий год и выявлять тенденции развития.

По результатам исследований был получен рейтинг 10-ти лучших стран-производителей продукции станкостроения [1]. Это: 1. Германия (14.7 млрд), 2. Япония (12.3 млрд), 3. Китай (8.7 млрд), 4. Италия (5.7 млрд), 5. Южная Корея (5.3 млрд), 6. США (4.9 млрд), 7. Тайвань (4.5 млрд), 8. Швейцария (3.2 млрд), 9. Испания (1.2 млрд), 10. Австрия (1.1 млрд).

Также на основании предоставленных отчетов были выявлены ведущие мировые производители станков и станочных систем, а также их комплектующих [2]. Ими стали: 1) Trumpf (Германия), 2) Shenyang Group (Китай), 3) Amada (Япония), 4) DMGT (Китай), 5) Komatsu (Япония), 6) DMG MoriSeiki A.G. (Германия), 7) DMG MoriSeikiCo. Ltd (Япония), 8) Schuler (Германия), 9) Jtekt (Япония), 10) Okuma (Япония), 11) MAG (США), 12) Makino (Япония), 13) Doosan (Южная Корея), 14) Haas (США), 15) GF Mach'gSolutions (Швейцария).

Литература:

1. Интернет-портал «GardnereSearch» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gardnerweb.com/research> – Дата доступа 10.02.2015.
2. Интернет-портал «Machinetoolscoreboard» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.metalworkinginsider.info> – Дата доступа 10.02.2015.

Экономика и организация машиностроительного производства

Повышение эффективности создания новой техники машиностроительных предприятий

Адаменкова С.И.

Белорусский национальный технический университет

Повышение эффективности создания новой техники на машиностроительном предприятии связано как с повышением качества технической подготовки производства, так и с ускорением сроков разработки новых моделей машин.

Календарные сроки подготовки производства новой техники планируются предприятием в календарном план-графике подготовки производства. Недостатки план-графиков: наличие субъективного подхода к установлению сроков выполнения отдельных этапов работ и срока подготовки производства по машине в целом; отсутствие четко увязанных и регламентированных временных взаимосвязей выполнения работ между структурными подразделениями.

Оба названных недостатка обусловлены одной причиной – отсутствием обоснованных норм времени по конкретным этапам (комплексам) конструкторской и технологической разработки новой техники.

Установление укрупненных норм времени возможно с использованием следующих подходов:

а) исходя из анализа фактических затрат времени на разработанные ранее машины – аналоги с учетом поправочных коэффициентов;

б) эмпирически (методом опроса), исходя из опыта работы ведущих проектировщиков машиностроительного предприятия и их мнения о рациональных сроках создания машины с поправкой на перспективные планы предприятия по обновлению товарного ассортимента.

Однозначная ориентация на фактически сложившиеся сроки разработки машин в большинстве случаев невозможна из-за неприемлемой в настоящих условиях их продолжительности. Поэтому при разработке укрупненных норм трудоемкости на новую машину (в рабочих днях) и дифференцированных норм трудоемкости на стандартные комплексы работ конкретного проектного подразделения необходимо использовать оба из названных выше подходов.

Для оптимизации увязки выполнения отдельных комплексов проектных работ и снижения сроков разработки новой машины в целом целесообразно составлять календарный план-график с использованием методов параллельного и параллельно-последовательного ведения работ структурными проектными подразделениями машиностроительного предприятия.

Распределение загруженности производственных мощностей с использованием системы прогнозирования Excel

Бутор Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Для большинства промышленных предприятий маркетинговое управление и планирование становятся одним из условий выживания и успешного функционирования. При этом от руководства предприятия требуется вовремя предупредить возможные сбои и срывы в работе. Это достигается с помощью планирования.

В последнее время все более широкое распространение получают экстраполятивное (экономическое и прочее развитие происходит гладко и непрерывно) и альтернативное (внешняя и внутренняя среда бизнеса подвержена постоянным изменениям) виды планирования.

Самым простым способом прогнозирования рыночной ситуации, которую предприятию нужно отразить при моделировании бизнес-плана, является экстраполяция, т.е. распространение тенденций, сложившихся в прошлом, на будущее. В большинстве своем все методы прогнозирования можно применить к объему продаж (соответственно, плану на загрузку производственных мощностей) и получения прибыли на основе методов сглаживания и выравнивания временных рядов, возможности их использования в маркетинговом анализе, а также необходимые исходные данные и временные ограничения, что проще всего выполнить при помощи систем прогнозирования Excel.

Прогнозирование, например, объема продаж на основе анализа временных рядов (трендовых, сезонных, циклических и случайных) предполагает, что происходившие изменения в распределении загрузки производственных мощностей могут быть использованы для определения этого показателя в последующие периоды времени.

Мерой качества прогноза служит коэффициент, характеризующий отношение числа подтвердившихся прогнозов к общему числу сделанных прогнозов. Очень важно осуществлять расчет этого коэффициента не по окончании прогнозируемого срока, а на этапе планирования.

Стремясь оптимизировать загрузку цехов и адаптировать производство к новым проектам, различные службы предприятия с помощью систем прогнозирования Excel могут переопределять политику заказа, производственные мощности и календари, политику производства. Проще говоря, как только вносятся изменения на уровне цеха, начинается корректировка текущего рабочего процесса производства в целом.

Методология внедрения корпоративных информационных систем на промышленных предприятиях

Гребенников И.Р.

Белорусский национальный технический университет

Внедрение корпоративной информационной системы (КИС) на промышленном предприятии требует значительных затрат финансовых и трудовых ресурсов (средняя стоимость составляет около 1 млн. долл. США и занимает не менее одного года). Причем, по данным исследований зарубежных консалтинговых компаний, не менее половины компаний отмечают превышение начальных бюджетов и сроков внедрения. Подобные явления приводят к справедливым опасениям со стороны руководства предприятий о целесообразности внедрения КИС.

В общем случае внедрение КИС на предприятии можно представить в виде следующих этапов:

1. Диагностика – на данном этапе производится описание бизнес-процессов предприятия, анализируются необходимые направления автоматизации, разрабатываются общие требования к системе. По завершению данного этапа у предприятия будет документ, в котором проанализированы все аспекты автоматизации и который не является продуктоориентированным;

2. Выбор системы на основе требований. На данном этапе проводится тендер по выбору системы и поставщика;

3. Анализ. На данном этапе проводится анализ соответствия реализованных в системе бизнес-процессов конкретным требованиям пользователей. По каждому бизнес-процессу разрабатывается функциональная спецификация;

4. Программирование. На данном этапе осуществляется доработка системы с учетом требований, изложенных в функциональных спецификациях;

5. Развертывание системы и обучение ключевых пользователей. На данном этапе осуществляется тестирование системы при непосредственном участии ключевых пользователей, а также перенос данных из предыдущих систем;

6. Запуск в эксплуатацию. Обычно данный этап намечается на начало финансового года;

7. Техническая поддержка.

При правильном планировании на каждом из этапов риск неуспешного внедрения сводится к минимуму.

Оценка интенсивности труда конструктора машиностроительного предприятия при создании новой техники

Ефимчик Е.В., Адаменкова С.И.

Белорусский национальный технический университет

Целью конструкторской подготовки производства на машиностроительных предприятиях республики является ускорение обновления ассортимента продукции предприятий за счет создания новой техники, соответствующей или превосходящей по качественным характеристикам лучшие мировые аналоги в своем товарном сегменте рынка.

Введение укрупненных трудовых норм времени на создание конкретной машины, а также дифференцированных норм на отдельные комплексы работ конструкторских бюро (КБ) позволит: создать объективные предпосылки для планирования оптимальной длительности конструкторской подготовки производства при формировании календарного план-графика разработки новой (план НИОКР) техники на предприятии; оценить реальную загрузку конструкторских бюро (КБ машин и КБ агрегатов и узлов) с учетом фактической численности работающих в этих подразделениях.

Оценка фактической загрузки работников основных конструкторских бюро может быть произведена путем расчета коэффициента (K_i в процентах) интенсивности работы КБ в периоде (месяц, квартал, год) как отношения нормативной трудоемкости работ, фактически выполненных сотрудниками КБ в периоде к нормативной трудоемкости плановых работ.

Степень интенсивности труда конструкторов должна учитываться при разработке системы их премирования. Можно предложить следующую шкалу премирования конструкторского бюро за интенсивность труда в периоде:

- 1) $K_i > 100\%$, основное КБ работало с повышенной интенсивностью; премия: (+0,5%) на каждый 1% роста интенсивности труда (сверх 100%);
- 2) $K_i = 100\%$, КБ работало с плановой интенсивностью; премия – 10%;
- 3) $K_i < 100\%$, сотрудники КБ были недозагружены; премия – 0%.

Сумма премирования основного КБ определяется исходя из процента премирования, определенного по вышеуказанной выше шкале (в процентах), умноженного на сумму должностных окладов сотрудников КБ за период. Сумма премирования основного КБ за интенсивность труда в периоде распределяется между конструкторами в соответствии с решением, принятым руководителем основного КБ с учетом фактической загрузки конкретных конструкторов в отчетном периоде.

Внедрение в практику работы конструкторских служб предприятия системы трудовых норм

Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Результативность деятельности в отчетном периоде конструкторской службы машиностроительного предприятия по разработке новой техники характеризуется:

а) качеством разработки конструкторской документации. Оценка качества конструкторской документации (КД) основных конструкторских бюро (КБ) по факту выполнения отдельных этапов работ или КД новой машины в целом осуществляется руководством конструкторской службы предприятия, а по машине в целом – Научно-техническим советом предприятия (или иным аналогичным органом);

б) соблюдением конструкторской службой и ее структурными подразделениями плановых сроков выполнения этапов конструкторских работ либо окончания работ по машине в целом, заложенных в календарном план-графике разработки новой техники на предприятии. Для установления объективных и обоснованных календарных сроков разработки новой техники на предприятии нужна система соответствующих трудовых нормативов выполнения проектных работ. В связи с ее отсутствием планируемые в настоящее время на белорусских машиностроительных предприятиях сроки разработки новой техники субъективны и носят директивный характер.

Система трудовых норм, связанных с работой КБ в ходе конструкторско-технологической подготовки производства новой техники, должна включать: укрупненные нормы трудоемкости конструкторской подготовки новой техники; дифференцированные нормы трудоемкости конструкторских работ; нормативную численность проектировщиков на стандартном комплексе конструкторских работ.

Применение в практике работы конструкторских служб предприятия системы трудовых норм позволит создать объективные предпосылки для планирования длительности конструкторской подготовки производства при формировании календарного план-графика разработки новой техники на предприятии; планировать реальную загрузку КБ с учетом фактической численности работающих в этих подразделениях; устанавливать «узкие места» и осуществлять их своевременную «расшивку» за счет перевода из других недозагруженных КБ; провести оптимизацию численности сотрудников в конкретных КБ, исходя из их плановой загрузки; установить степень интенсивности работы конкретного КБ.

Оценка эффективности организационно-экономических методов санации промышленного предприятия

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблема поиска путей санации неплатежеспособных белорусских предприятий является первоочередной задачей современной практики хозяйственной деятельности.

Применение эффективного санационного механизма создает возможность перевода кризиса в управляемый режим и позволяет осуществлять его регулирование. Реализовать санационный механизм позволяют различные организационно-экономические методы санации. Разработка методов санации должна проводиться в рамках финансово-экономической политики предприятия с выделением приоритетов его развития.

Выбор наиболее действенных и результативных организационно-экономических методов санации должен сопровождаться оценкой их эффективности. Такой расчет позволяет не только оценить различные альтернативные методы, но и определить целесообразность всего процесса санации. Эффективность санации определяется путем соотнесения результатов и затрат на ее осуществление.

Результаты санации должны быть оценены:

- возможностью устранения неплатежеспособности и восстановления финансовой устойчивости предприятия;
- размером дополнительной прибыли. Дополнительная прибыль в этом случае получается за счет нормализации хозяйственной деятельности предприятия при соответствующей финансовой поддержке.

Затраты на осуществление санации определяются путем разработки бюджета санации. Эти затраты могут рассматриваться как инвестиции в saniруемое предприятие с целью получения прибыли в предстоящем периоде.

Не менее важным является анализ рисков реализации санации, который должен включать процедуру выявления управляемых и неуправляемых факторов риска и оценку их значимости для достижения поставленных целей. Также анализ рисков включает и методы снижения рисков или уменьшения связанных с ним неблагоприятных последствий.

Таким образом, сравнение эффективности различных организационно-экономических методов санации позволяет выбрать наиболее оптимальный вариант ее осуществления.

**Анализ опыта внедрения концепции бережливого производства
промышленными предприятиями**

Зеленковская Н.В., Груздева Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Бережливое производство – концепция управления производственным предприятием, основанная на постоянном стремлении к устранению всех видов потерь, представляющая собой прорывный подход к менеджменту и управлению качеством, обеспечивающий долговременную конкурентоспособность без существенных капиталовложений. Бережливое производство предполагает вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого сотрудника и максимальную ориентацию на потребителя.

При опросе 46 компаний, внедряющих концепцию бережливого производства, были выявлены следующие проблемы:

1) мотивация персонала (46% опрошенных), а именно: низкий уровень исполнительской дисциплины; отсутствие заинтересованности в улучшениях среди рабочих и среднего звена ИТР; отсутствие понимания рабочими производственного процесса; недостаточность средств для мотивации; слабость мотивационной системы или же ее отсутствие; низкие темпы обучения и вовлечение работников; нежелание изменений и сопротивление им и т.п.;

2) управление запасами (41%), а именно: ритмичность поставок; рост незавершенного производства по причине срыва сроков производства работ; отсутствие современного логистического транспорта в необходимом количестве; восприятие запасов как необходимости; отсутствие объективной системы нормирования; непрозрачная и несбалансированная система планирования и учета в производстве; выпуск заготовок большими партиями и др.;

3) работа с поставщиками (41%), а именно: срывы сроков поставок материалов и комплектующих; отсутствие системы оценки и выбора поставщика; длительные закупочные процедуры; случаи несвоевременного предоставления исходных данных для проектирования; слабая дисциплина поставок; несогласованное повышение цен; отсутствие методики жизненного цикла и др.;

4) обслуживание оборудования (39%), а именно: износ; технологическое устаревание оборудования и др.;

5) качество выпускаемой продукции (33%);

6) разработка новой продукции (30%);

7) организация рабочих мест (28%);

8) работа с клиентами (22%).

Классификация связей между субъектами агломерата

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Многообразие связей внутри агломерата приводит к необходимости их классификации. Связи могут относиться к одному из трех факторов: фактор синергии, рыночный фактор, фактор лояльности. Кроме того, внутри каждого фактора, связи могут делиться на информационные, договорные и институциональные, по степени интеграции. Таким образом, можно выделить девять видов связи между субъектами агломерации, отличающиеся друг от друга объединяющим фактором и степенью взаимной интеграции.

Следует подчеркнуть, что, сила связей между компаниями в агломерате растет от информационных до институциональных. И в тоже время, в устойчивых объединениях более сильная связь, должна содержать и более слабые. Например, институциональная связь должна включать в себя и соответствующие договорную и информационную связи. Кроме того, следует учитывать, что от фактора лояльности к фактору синергии растет роль неформальных отношений. Если для создания договорной связи между предприятиями, повышающей их взаимную лояльность, достаточно заключения соответствующего договора, то для усиления синергетического эффекта юридически оформленного соглашения может быть недостаточно.

Таблица – Реализация видов связи в агломерате

Фактор лояльности	Рыночный фактор	Фактор синергии
Институциональные		
Тресты, концерны холдинги, финансовые группы	Картели, синдикаты, корпорации,	Ассоциации, кластеры, консорциумы
Договорные		
Договора поставки или купли-продажи продукции, финансовые договора	Посреднические договора или договора о сотрудничестве, договора о совместной предпринимательской деятельности, договора ВЭД	Договора на предоставление услуг, лизинговые договора, договора о совместной предпринимательской деятельности
Информационные		
Совещания топ-менеджеров, обмен финансовыми и другими отчетами	ERP II, круглые столы, конференции, внутренняя социальная сеть, совместное исследование рынка	Каталоги компетенций, тренинги, семинары, ERP II, внутренняя социальная сеть

Подходы в проектировании кластера

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость проектирования структуры кластера может возникнуть в следующих ситуациях: создание кластера; оптимизация работы кластера; обоснование целесообразности организации кластера; обоснование целесообразности вхождения в состав кластера; поиск более эффективных форм агломерации национальной экономики.

При традиционном подходе проектирование структуры кластера сводится к выбору субъектов кластера на основе территориального и отраслевого критериев. В качестве основных показателей используются показатели развития соответствующего региона или отрасли. Данный подход подразумевает, что в любом промышленно развитом регионе любые близкорасположенные предприятия, принадлежащие одной отрасли, могут образовать успешный кластер. Этот метод проектирования структуры кластера представляется ошибочным, потому что не учитывает объединяющие факторы и особенности внешней и внутренних сред предприятия с точки зрения основных законов агломерации.

В предлагаемом подходе проектирования структуры кластера при выборе наиболее перспективных для агломерации компаний и предприятий, необходимо использовать представление об объединяющих факторах агломерата: фактор лояльности, фактор синергии и рыночный фактор. Согласно этому представлению все предприятия-кандидаты должны соответствовать фактору синергии, как определяющему фактору в кластере. Наличие остальных факторов также желательно, так как они повышают устойчивость кластера.

Современный уровень развития кластеров соответствует второму укладу, которые характеризуются наличием национального барьера. Все субъекты кластера являются резидентами одного государства. Национальные кластеры, в подавляющем числе случаев нацелены на внешние рынки. Поэтому составляющая рыночного объединяющего фактора в образовании такого кластера велика, и является таким же необходимым условием, как и наличие фактора синергии.

То есть в настоящее время для кластерообразующих компаний, выпускающих конечный продукт, обязательно наличие фактора синергии и рыночного фактора. Для компаний – поставщиков услуг, сырья и комплектующих, достаточно наличия фактора синергии, в то время, как фактор лояльности увеличивает устойчивость кластера, но не является определяющим в его образовании.

Генезис затратного механизма процессов обновления орудий труда

Королько А.А., Королько А.С.

Белорусский национальный технический университет

Материальной основой изменения затрат и результатов производства является кругооборот основных средств. Основными элементами этого кругооборота являются орудия труда, характеризующие степень обновления оборудования и во многом обуславливающие эффективность производства.

Переход на новые формы хозяйствования, основанные на принципах рыночных отношений, создает предпосылки рационализации этих процессов. Однако важно выявить основные негативные стороны существующего хозяйственного механизма и проанализировать факторы низкой эффективности создаваемой новой техники и процессов обновления орудий труда. При этом возникает задача обоснования концепции эффективного антизатратного механизма процессов обновления и развития технических систем.

Негативную роль в снижении эффективности и росте затрат сыграла унаследованная от периода преимущественно экстенсивного развития народного хозяйства оценка производственно-хозяйственной деятельности предприятий на основе стоимостных валовых показателей.

Затратная методология ценообразования формируется также под непосредственным влиянием стоимостной оценки производственно-хозяйственной деятельности, функционирующей при отсутствии воздействия конкурентно-рыночного механизма. При этом возникает опережающий рост стоимости средств труда по сравнению с их отдачей и соответствующее увеличение затрат.

На замедлении кругооборота средств производства оказывают прямое влияние такие факторы, как централизованная аккумуляция средств на развитие технического потенциала, преимущественно использование амортизационного фонда для нужд расширенного воспроизводства и накопления, рост запасов и соответствующее повышение дефицита материальных ресурсов.

При замедлении выбытия и обновления действующих в производстве орудий труда вследствие повышенной доли капитальных вложений в новое строительство, возникла дифференциация условий труда в новых и традиционных отраслях на действующих и новых предприятиях. Это вызвало необходимость компенсации неравенства. Убыточность компенсировалась прямыми и косвенными способами.

**Теоретические аспекты сущности качества технических систем
производственного назначения**

Королько А.А., Королько А.С.

Белорусский национальный технический университет

Развитие рыночных отношений на современном этапе существенным образом определяют значимость повышения конкурентоспособности продукции. Повышение качества технических систем, участвующих в общественном производстве и выполняющих функции орудий труда, непосредственно связано с их экономической эффективностью. Качество продукции является одной из составляющих ее потребительской стоимости. В отличие от потребительской стоимости, оцениваемой с точки зрения удовлетворения потребности с учетом всех факторов и условий, в которых существует потребность, качество связано с удовлетворением потребности лишь в отношении целевой функции, т.е. назначения продукции. Из этого следует, что задача создателей новых видов продукции заключается в достижении оптимального уровня ее качества для наиболее полного удовлетворения существующих личных и общественных потребностей при учете всех факторов и условий, в которых они существуют.

Кроме того, машины должны не только повышать производительность труда, но и значительно облегчать его. В этом и заключается основной принцип использования технических систем производственного назначения. Такой подход к сущности качества машин непосредственным образом определяет конечные цели их применения и ориентируют создателей новой техники на их реализацию.

Формирование уровня качества технических систем производственного назначения представляет собой сложную динамическую систему, иерархия которой определяется конечными целями применения средств труда.

Эффективность применения машинной техники во многом определяется группой факторов, характерных для сферы эксплуатации оборудования на предприятии.

При этом могут проявляться факторы регионального характера, включающие природно-климатические условия, демографическую обстановку, развитие инфраструктуры, национальные особенности, традиции и другие.

В контексте и ними и частично под их влиянием на результаты эксплуатации техники воздействует система производственно-технологических и социально-экономических условий в конкретном месте использования техники.

Согласование тактического и стратегического планирования на промышленном предприятии

Короткевич Л.М., Олиферко Н.П.

Белорусский национальный технический университет

Согласование плановых решений – процедура построения взаимоувязанной системы планов различных звеньев иерархической структуры управления экономической системой. При этом может применяться как декомпозиционный подход к построению системы моделей, так и композиционный подход. Согласованность планов требует единой функции цели для всей системы, согласованности «входов» и «выходов» «локальных планов» и др.

На сегодняшний день процесс планирования на ОАО «МАЗ» осуществляется следующим образом: центральный плановый отдел формулирует цели. Высшее руководство рассматривает вопросы прибыли, капиталовложений и расширения сбыта. Далее стратегические цели, утвержденные высшим руководством, в более детализированной форме по мере продвижения на низшие уровни структуры предприятия включаются в планы подразделений.

Таким образом, планирование на предприятии является централизованным и носит декомпозиционный характер, который заключается в разработки общей стратегической цели предприятия и последующим её делением на подцели для каждого производственного подразделения. Существующая модель планирования на предприятии имеет ряд недостатков: слабый учет тенденций развития товарно-денежных отношений; возрастание роли плана как самоцели деятельности по принципу «план любой ценой»; отсутствие поля для маневрирования действий предприятия и негибкость системы планирования ситуации; методологическая слабость планирования, не учитывает резервы, инициативу, разнообразие микроуровня; значительные затраты сил, времени и средств на разработку, согласование, утверждение, уточнения, поддержание стабильности плановых показателей.

Справиться с данной проблемой позволит внедрение децентрализованной модели планирования с использованием композиционного подхода.

Данная модель планирования позволит добиться большей согласованности тактических и стратегических планов предприятия, поскольку менеджеры структурных подразделений, как правило, располагают более точной и детализированной информацией по вверенным им направлениям деятельности, чем высшее руководство.

Проблемы подготовки и переподготовки кадров для предприятий машиностроения

Короткевич Л.М., Фурсевич И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшим направлением совершенствования системы формирования кадров на предприятии машиностроения является увязка планирования и управления персоналом со стратегией хозяйственной деятельности, повышением ее эффективности в целом.

Необходимо применять модульную систему обучения, которая позволит, особенно в перспективе, при ускорении технических и структурных изменений в экономике, более гибко реагировать на потребности предприятий машиностроения в квалифицированных рабочих кадрах. Речь должна идти не о единственном акте подготовки рабочих кадров по профессиям, необходимым для регионов, а о внедрении модульной методологии на правах юридически оформленного непрерывного метода обучения рабочих кадров.

Модульная система профессионального обучения, будучи более гибкой, чем традиционная система, быстрее реагирует на стремительную смену технологий, потребности рынка труда. Система предусматривает индивидуальный подход, тесный психологический контакт между обучающим и обучаемым, что позволяет выявлять способности последнего. Обеспечивая большую эффективность с точки зрения качества приобретаемых трудовых навыков, она требует меньше затрат (из-за сокращения сроков обучения).

Отметим преимущества модульной системы обучения: гибкость, адаптивность к меняющимся рыночным условиям; универсальность, позволяющая обучать группы работников, отличающихся по уровню знаний и подготовки; возможность самостоятельного индивидуального обучения работников машиностроительного предприятия; эффективность, ориентация на конечный результат.

Проблемы подготовки, переподготовки и повышение квалификации рабочих кадров, способных конкурировать в условиях рыночных отношений, по ряду важных причин приобретает особую актуальность. Во-первых, сказываются неблагоприятные тенденции на рынке рабочей силы. Во-вторых, обостряется конкуренция за рабочие места внутри трудовых коллективов. В-третьих, профессиональное образование и квалификация в личностном плане не просто выступают характеристиками того или иного рабочего, но и становятся для него гарантией социального благополучия, условиям его конкурентоспособности на рынке труда.

**Управление экономической устойчивостью предприятия
при реализации инновационных стратегий**

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Модернизация промышленных предприятий и активизация их инновационной активности должны рассматриваться с позиций обеспечения их экономической устойчивости. Экономическая устойчивость (ЭУ) – это способность предприятия поддерживать такую динамику показателей, оценивающих его производственный, маркетинговый, финансовый, кадровый потенциалы, которая обеспечивает эффективную работу предприятия в настоящем и гарантирует ее в будущем при любых возмущениях внутренней и внешней среды.

Управление ЭУ предприятия рассматривается как нахождение компромисса между его статической и динамической устойчивостью. Статическая устойчивость подразумевает устойчивое финансовое состояние и предполагает отказ от высокорисковых проектов; она связана с сохранением прежней структуры формирования и использования ресурсов. Динамическая устойчивость связана с интенсивным типом развития и реализацией инновационных проектов; при этом на каждом этапе реализации проекта предприятие должно находиться в равновесном состоянии. Это обеспечивается согласованием между показателями текущей и перспективной эффективности, ликвидности и риска. Задача обеспечения ЭУ будет состоять в поддержании оптимальных значений уровней устойчивости, при которых связанные с их обеспечением затраты будут гарантировать приемлемый уровень эффективности инновационных проектов. Для поддержания ЭУ нужно, чтобы генерируемый в будущем свободный денежный поток (FCFF) обеспечивал установленные целевые значения рентабельности авансированного, собственного капитала, рентабельности продаж; формирующие интегральный поток отдельные потоки от производственной, финансовой и инвестиционной деятельности обеспечивали приемлемые значения показателей структуры капитала, активов и интегрального денежного потока, влияющего на финансовое состояние предприятия; денежный поток обеспечивал приемлемый уровень риска по отношению к используемым критериям принятия решения (уровень операционного рычага, запас финансовой прочности, безубыточный объем производства); денежный поток должен также обеспечивать приращение экономической добавленной стоимости (ΔEVA), гарантируя прирост стоимости предприятия.

Корпоративный веб-сайт и его особенности

Лавренова О. А.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и повсеместного проникновения сети Интернет происходит существенная трансформация традиционных способов ведения бизнеса. Сеть Интернет позволяет, например, практически полностью исключить посредников и обеспечить взаимодействие компании с клиентами напрямую, а также провести оптимизацию расходов за счет переноса части транзакций в виртуальное пространство. В такой ситуации наличие эффективного корпоративного сайта имеет чрезвычайно большое значение для компании, так как именно корпоративный веб-сайт реализует информационное обеспечение практически всех сторон деятельности компании в режиме 24x7x365, а развитие мобильных технологий для веб-сайтов обеспечивает широкий охват аудитории, независимо от географии и времени доступа к веб-сайту.

Изучение эволюции применения веб-технологий для ведения бизнеса позволяет выявить несколько поколений веб-сайтов: от набора статических веб-страниц до интегрированных веб-систем, в которых сайт становится частью единой информационной системы и инфраструктуры компании. Эксперты отмечают, что стремительное развитие ИКТ приводит к такому же стремительному устареванию технологических решений при разработке корпоративного веб-сайта. Как следствие, веб-сайт из эффективного бизнес-инструмента уже на этапе своего создания может превратиться в набор устаревших сервисов. В связи с этим стратегически важной становится задача выбора не только технологической платформы, но и компании-разработчика, которая обеспечит создание сайта и его поддержку на протяжении всего жизненного цикла. Анализ показывает, что первым шагом при создании эффективного корпоративного веб-сайта является не разработка его дизайна, а выработка концепции присутствия компании в сети Интернет как части общей стратегии развития компании.

Корпоративная концепция присутствия в сети Интернет необходима и в случае создания нового сайта, и при модернизации уже существующего. Концепция охватывает широкий круг вопросов: от общей стратегии веб-сайта, включая формулировку целей и задач, описание целевой аудитории, требования к дизайну, контенту и функционалу, до вопросов технической инфраструктуры, интеграции и продвижения сайта. Благодаря этому корпоративный веб-сайт будет способен наиболее полно удовлетворить потребности бизнеса и обеспечить конкурентные преимущества компании.

Системы электронных денег и основные требования к ним

Насонова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Эмиссия и обращение электронных денег организуются при помощи систем электронных денег. Система электронных денег представляет собой модель с набором подсистем, позволяющих электронной стоимости перемещаться под контролем системного администратора, контролирующего безопасность создания, обращения и уничтожения стоимости в рамках системы. Модель системы электронных денег состоит из трех отдельных операционных областей:

- 1) области взаиморасчетов (клирингово-взаиморасчетной области);
- 2) эмиссионной (эмиссионно-эквайринговой области);
- 3) области использования (розничной области).

Состав участников системы электронных денег будет зависеть от особенностей ее организации. В общем случае можно выделить следующих участников системы электронных денег: эмитент; держатель/платательщик электронных денег; получатель электронных денег; банки-агенты; системный администратор.

Наиболее важную роль в системах электронных денег играет эмитент. В разных системах электронных денег эмитенты играют различную роль. Можно выделить эмитентов электронных денег, которые играют роль денежных посредников, и эмитентов, выступающих в роли лишь поставщиков сервисных услуг. Эмитенты, которые выступают в роли денежных посредников, выполняют банковские функции.

В зависимости от способа хранения и перевода денежной стоимости системы электронных денег можно подразделить на «балансовые», которые функционируют на основе счетов, открытых как в кредитных, так и некредитных институтах, с помощью которых осуществляется перевод стоимости, и «символьные», которые функционируют, в основном, без привязки к каким-либо персональным счетам на основе хранения стоимости непосредственно на электронном устройстве.

Требования к системам следующие: оффлайновая совместимость; поддержка микроплатежей; двусторонность окончательность расчетов; портативность; делимость.

Системы электронных денег находятся в непрерывном развитии, поэтому некоторые из требований, предъявляемых к ним, – такие как безопасность, анонимность, удобство использования, – будут удовлетворены в ближайшем будущем.

Оценка конкурентоспособности промышленного предприятия

Плясунков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Под конкурентоспособностью предприятия предлагается понимать способность предприятия быть более эффективным по сравнению с предприятием-конкурентом.

Конкурентоспособность предприятия предлагается определять по следующей формуле (1):

$$КСП_{2,1} = P_{2A} / P_{1A}, \quad (1)$$

где $КСП_{2,1}$ – конкурентоспособность оцениваемого предприятия по отношению к предприятию-конкуренту;

P_{2A} , P_{1A} – рентабельность активов соответственно оцениваемого предприятия и предприятия-конкурента.

Если $КСП_{2,1} > 1$, то оцениваемое предприятие более конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент. Если $КСП_{2,1} = 1$, то оцениваемое предприятие и предприятие-конкурент имеют одинаковую конкурентоспособность. Если $КСП_{2,1} < 1$, то оцениваемое предприятие менее конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент.

Рентабельность активов предлагается определять по формуле (2):

$$P_A = \Pi_{ч} / A, \quad (2)$$

где $\Pi_{ч}$ – чистая прибыль предприятия,

A – активы предприятия.

В свою очередь чистая прибыль предприятия определяется: выручкой от реализации продукции, которая зависит от конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя; затратами на производство и реализацию продукции, которые зависят от эффективности управления затратами; налогами из выручки и прибыли от реализации продукции, которые зависят от законодательства в области налогообложения.

Рентабельность активов определяет насколько эффективно используются ресурсы предприятия. То предприятие, которое более эффективно использует свои ресурсы, и является более конкурентоспособным.

Конкурентоспособность предприятия – это относительный показатель, так как если сегодня одно предприятие лучше использует свои ресурсы, чем другое, то завтра ситуация может измениться. Поэтому предприятие постоянно должно повышать эффективность использования своих ресурсов, чтобы быть более конкурентоспособным, чем другие предприятия. Этому в том числе может способствовать создание эффективной системы управления конкурентоспособностью предприятия.

Оценка конкурентоспособности промышленной продукции

Плясунков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Конкурентоспособность продукции – комплексная многоаспектная характеристика, отражающая способность продукции в течение периода ее производства соответствовать по качеству требованиям конкретного рынка (рынков), адаптироваться по соотношению качества и цены к предпочтениям потребителей, обеспечивать выгоду производителю при ее реализации.

Для комплексной оценки конкурентоспособности новых изделий предлагается использовать систему показателей, включающую:

- коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя ($K_{\text{КСП, потреб}}$);
- коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения производителя ($K_{\text{КСП, производ}}$).

Коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя показывает, во сколько раз максимальная цена, за которую можно реализовать изделие, превышает фактическую цену его реализации.

$$K_{\text{КСП, потреб}} = \frac{U_{2\text{ВП}}^{\text{омн}}}{U_2^{\text{омн}}},$$

где $U_{2\text{ВП}}^{\text{омн}}$ – верхний предел отпускной цены оцениваемого изделия, отражающий потребительскую ценность товара или стоимостную оценку качества товара, т.е. максимальную цену, которую покупатель считает возможным заплатить за товар;

$U_2^{\text{омн}}$ – отпускная цена оцениваемого изделия.

Коэффициент конкурентоспособности продукции с точки зрения производителя показывает, во сколько раз фактическая отпускная цена реализации при выходе изделия на рынок превышает минимальную отпускную цену, рассчитанную затратным методом.

$$K_{\text{КСП, производ}} = \frac{U_2^{\text{омн}}}{U_{2\text{НП}}^{\text{омн}}},$$

где $U_{2\text{НП}}^{\text{омн}}$ – нижний предел отпускной цены оцениваемого изделия.

Если $K_{\text{КСП, потреб}} > 1$ и $K_{\text{КСП, производ}} > 1$, то покупка и реализация новой продукции выгодны и потребителю, и производителю. Выполнение этих условий необходимо для разработки, производства и успешной реализации новой продукции.

Управление затратами на оборудование

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Экономически обоснованный срок службы оборудования и требуемые текущие затраты на его эксплуатацию во многом определяют конкурентоспособность, рентабельность, прибыльность и экономическую устойчивость машиностроительного предприятия. Оптимальным сроком использования средней единицы технологического оборудования будет такой, при котором общие суммарные эксплуатационные затраты не будут превышать затрат на его приобретение в 1,2 раза. Что же касается затрат на эксплуатацию, то в жизненном цикле изделия машиностроения в пересчете на одну усредненную машину они составляют немного более 50% и включают в себя: 1) условно-постоянные (косвенные) затраты: амортизационные отчисления, затраты на техническую подготовку ремонта, затраты на организационную подготовку ремонта, управленческие затраты; 2) переменные (прямые) затраты: мобильные ремонтные работы (техническое обслуживание и текущий ремонт), стационарные ремонтные работы.

Управление текущими затратами должно включать в себя не только оперативное планирование затратами по текущему ремонту, но и стратегическое планирование ожидаемого уровня ремонтных работ с учетом оптимизации производственной мощности, однородности структуры парка оборудования и разработки амортизационной политики.

В настоящее время воспроизводство важнейшей части основных средств требует привлечения дополнительных финансовых средств. Экономически обоснованное соотношение той части прибыли, которая должна дополнять амортизационные средства и самих амортизационных отчислений можно рассчитать исходя из окупаемости капиталовложений в основные средства:

$$\frac{P_t}{A_t} = \frac{r}{n * \left(1 - \frac{1}{(1+r)^T}\right)} - 1,$$

где P_t – доля прибыли в текущем году, направляемая на воспроизводство, A_t – амортизация текущего года, r – ставка дисконта, n – принятая для данного оборудования норма амортизации, T – период эксплуатации.

Повысить же уровень окупаемости можно за счёт увеличения левой части равенства (т.е. перевести его в неравенство), а так же за счет изменения стоимости оборудования (например, переоценки).

Экономический потенциал предприятия

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Жизненный цикл предприятия можно подразделить на 2 периода, каждый из которых будет включать в себя по два этапа: 1-й период (этап создания и этап роста), 2-й период (этап зрелости и этап упадка). В первом периоде наиболее актуальными являются вопросы организации эффективно функционирующего предприятия, здесь же закладывается производственный потенциал предприятия (ППП). Во втором периоде, когда мощность ППП уже определена, для поддержания его динамического развития и укрепления положения в отрасли, следует максимально сбалансировать внутреннюю и внешнюю среды посредством оптимизации экономического потенциала предприятия (ЭПП).

Таким образом, под производственным потенциалом предприятия следует понимать совокупность средств и условий, необходимых для его эффективного функционирования. ППП определяется следующими пятью составляющими: 1) производственной (основные средства), 2) информационной (нематериальные активы), 3) материальной (оборотные средства), 4) кадровой (трудовые ресурсы), 5) технико-технологической. Производственный потенциал определяет производственную программу, производственную мощность, расходы предприятия, его ценовую политику, и, как следствие, доход и прибыль предприятия в целом.

ЭПП, в свою очередь, – это совокупность средств и условий, необходимых для его качественного развития предприятия. Экономический потенциал определяется следующими составляющими: 1) производственным потенциалом, 2) качеством и конкурентоспособностью продукции, 3) конкурентоспособностью предприятия, 4) особенностями внешнеэкономической деятельности, 5) спецификой инвестиционной деятельности. ЭПП определяет конкурентные преимущества, экономическую самодостаточность, и, как следствие, инновационность предприятия.

При этом нельзя связывать ППП только с процессом производства и внутренней средой предприятия. Он меньше зависит от внешней среды, чем ЭПП, однако влияние внешней среды на производственный потенциал тоже существенно. Большинство машиностроительных предприятий Беларуси находятся во второй фазе своего жизненного цикла. При невысоком уровне их производственной мобильности и резервов, успешность их деятельности напрямую зависит от мощности производственного потенциала и сбалансированности экономического.

**Оценка рыночной активности предприятия
на рынке производственно-технической продукции**

Торская И.В., Тацевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Предприятия, производящие продукцию производственно-технического назначения и выходящие с ней на рынок, должны учитывать специфику данного рынка, на котором и покупатель и продавец ставят перед собой одинаковые экономические цели, направленные на максимизацию создаваемой ими добавленной стоимости. Достижению этой цели должно способствовать завоевание соответствующей рыночной позиции, для чего предприятие должно обладать определенным рыночным потенциалом, в составе которого можно выделить, в том числе, производственно-технологический, трудовой, инновационный, маркетинговый. Однако рыночный потенциал предприятия является лишь статической «массой». Реальная сила предприятия на рынке проявится лишь при определенном уровне стратегической активности руководства, специалистов и всего персонала предприятия, которая придаст имеющейся массе ускорение.

Под рыночной активностью предлагается понимать выбор стратегии на осуществлении предприятием такой деятельности, которая приводит к формированию устойчивой стратегической рыночной позиции как на внутреннем, так и на внешнем рынках путем применения доступных форм реализации конкурентных преимуществ и выпуска изделий, не уступающих по своим характеристикам конкурентным аналогам.

Завоеванная устойчивая рыночная позиция позволит предприятию наращивать добавленную стоимость и на этой основе повышать качество своего трудового, научно-технологического и финансового потенциала. Этот результат и станет оценкой проявленной рыночной активности. При этом рост такого элемента добавленной стоимости, как заработная плата, может стать результатом появления на предприятии новых рабочих мест, роста квалификации работников, повышения уровня их мотивированности. В основе роста величины амортизации основных средств и нематериальных активов могут лежать расширение производственных мощностей, техническое перевооружение, модернизация производства, усиление бренда предприятия. Растущая же в составе добавленной стоимости прибыль через формируемые на ее основе фонды будет создавать долгосрочную основу для дальнейшего развития предприятия и роста лояльности его сотрудников.

Разработка эффективной ценовой политики промышленного предприятия

Горская И.В.

Белорусский национальный технический университет

Ценовая политика должна охватывать все вытекающие из целей предприятия мероприятия по поиску, выбору и реализации эффективного соотношения между ценой и качеством товара и по решению связанных с этим проблем потребителей. Современный этап развития рыночной экономики требует сводить роль цены не к покрытию издержек, а к определению на ее основе ценности товара в глазах его потребителей. Это означает переход от затратного механизма ценообразования к ценностному, являющемуся его полностью зеркальным отражением.

Под ценностью на промышленных рынках понимается выраженное в денежной форме значение технических, экономических и социальных преимуществ, которые получает покупатель в обмен на сумму, которую он платит за предлагаемый поставщиком товар либо услугу. Маркетинговый подход к созданию потребительской ценности должен базироваться на следующих положениях: покупатель в конкурентной среде отдает предпочтение тому предложению, которое он считает для себя особенно ценным; ценность, осознаваемая потребителем, представляет собой его оценку способности товара (услуги) удовлетворять его потребность; предприятие-поставщик товаров (услуг) заинтересовано не просто в факте заключения разовой сделки, а в формировании круга лояльных потребителей, совершающих повторные сделки.

На рынках товаров длительного пользования при разработке ценовой политики важное значение приобретает способность производителя правильно формировать цену потребления товара, включающую в себя наряду с ценой приобретения еще и цену эксплуатации за период полезного использования. В цену приобретения входит не только собственно цена покупки, но и издержки, связанные с оформлением договора, экспедированием товара, оценкой товара до его приобретения. Издержки эксплуатации следует разделять на издержки владения (включая издержки по страхованию и уплате налогов, издержки по выплате процентов кредиторам) и издержки использования, к которым относятся издержки по монтажу и установке, по обучению персонала пользованием товаром и оплате его труда в процессе эксплуатации, по поддержанию товара в работоспособном состоянии, по замене и утилизации товара. Обеспечиваемое производителем товара снижение издержек эксплуатации создает дополнительную потребительскую ценность.

Оценка мультипликационного эффекта при использовании иностранных инвестиций

Хрусталёв С.Б., Ивашутин А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Использование иностранных инвестиций на предприятиях в национальной экономике связано с вопросами повышения эффективности функционирования и оптимизации экономических рисков. Первый аспект этой проблемы требует оценки мультипликационного эффекта, т.е. расчёта экономических последствий для отдельного предприятия и для экономики в целом при привлечении дополнительных иностранных инвестиций.

Оценку мультипликационного эффекта необходимо рассматривать для двух уровней: непосредственно для предприятия, привлекающего иностранные инвестиции, и для экономики в целом, получающей экономические выгоды от данных инвестиций. Оценка для первого уровня не представляет больших трудностей. В качестве мультипликатора можно принять отношение дополнительной добавленной стоимости, формируемой на предприятии под воздействием дополнительных иностранных инвестиций, к самим инвестициям. За основу расчётов можно принять концепцию эффекта финансового рычага, модифицировав её с точки зрения соотношения между национальным и иностранным капиталом в структуре собственного капитала.

Оценка же мультипликационного эффекта на макроуровне, по нашему мнению, является более важной, но и более сложной для практической реализации. Формула расчёта мультипликатора может быть той же, т.е. отношение дополнительной добавленной стоимости к дополнительным иностранным инвестициям. Но добавленную стоимость необходимо рассчитать не только для конкретного предприятия, но и для смежных секторов экономики. Для реализации этого подхода разработана соответствующая методика и алгоритм, в основе которых лежит принцип выделения «толкающих» и «тянущих» связей анализируемого предприятия. Оценка проводится итерационным методом с использованием сетевых принципов анализа экономических систем. Методика оценки может быть реализована как в полном объёме, но для этого необходима качественная статистическая информация о структурных взаимосвязях в экономике, так и в сокращённом виде. В этом случае выделяются лишь предприятия-поставщики и предприятия-покупатели (или конечные потребители) для анализируемой компании. Возможен также промежуточный вариант оценки, когда менеджеры выделяют два-три уровня предприятий на входе и на выходе.

Горные машины

Зависимости для оценки размерно-плотностных свойств измельченного верхового торфа

Кислов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Обычно исследователи для проведения опытов, связанных с изменением ряда независимых переменных (факторов), варьируют каждой переменной по очереди. Современные статистические методы математического планирования экспериментов указывают на необходимость варьирования сразу всеми факторами по заранее составленным планам. Тогда с увеличением количества факторов i дисперсия D при оценке изучаемых зависимостей уменьшается по закону $1/(i + 1)$, т.е. точность экспериментов повышается.

При определении оптимальных режимов работы пневмоуборочных машин и пневмотранспортных установок необходимы данные об объемной и размерной характеристиках измельченного торфа и отдельных его фракций. Однако определение плотности γ торфяных частиц и их эквивалентных диаметров d_e в зависимости от определяющих факторов (степени разложения R торфа, его влажности w , среднего размера d фракций и степени механической переработки λ) связано с трудоёмкими опытами и значительными затратами времени. Так, для получения зависимости $\gamma = f(R, d, w)$ при изменении R от 10 до 35 % (торф верховой), d от 0,75 до 17,5 мм, w от 20 до 50 % и $\lambda = \text{const}$ в случае применения традиционной методики экспериментирования потребовалось выполнить 128 опытов. При использовании методики планирования экспериментов достаточно выполнить $N = 2^1 = 2^3 = 8$ опытов в трехкратной повторности.

Применение методов планирования экспериментов позволило установить с наименьшей затратой времени зависимость эквивалентного диаметра d_e частиц и их плотности γ от степени разложения R верхового торфа, его механической переработки λ и среднего размера d смеси торфяных частиц:

$$\begin{aligned} d_e &= [0,7 + 2,3 \cdot 10^{-3} (R - 2d) + \lg \lambda^{0,04}] \cdot d, \\ \gamma &= 0,645 \cdot R^{0,103} \cdot d^{-0,064} (1 - 2,3 \cdot 10^3 \cdot w)^{-0,92}. \end{aligned}$$

Формулы применимы при $R=10 + 35$ %, $\lambda=15 + 660$, $d = 0,75 + 17,5$ мм.

Кроме лабораторных исследований и установления математических моделей изучаемых зависимостей планируемый эксперимент может с успехом применяться в поисковых работах, в производственных условиях при неполном знании механизма технологического процесса, а также для

подтверждения, развития и упрощения уже известных математических описаний.

УДК 629.331

Удельные энергозатраты при работе исполнительных органов проходческого комбайна ПКС-8

Кислов Н.В., Казаченко Г.В., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Комбайны серии ПК предназначены для проведения подготовительных и очистных горных выработок. Результаты испытаний комбайна ПК-8 и эксплуатация комбайнов серии ПК на калийных рудниках позволили оценить энергозатраты на их работу и установить удельную энергоёмкость исполнительных органов.

В результате обработки опытных данных В.И. Зайкова получены формулы вида $e_p = c_1 \cdot v_n^{-c_2}$ для оценки удельных энергозатрат e_p в зависимости от скорости v_n комбайна ПК-8. Параметр $c_2 = 0,5$ характеризует интенсивность убывания e_p по мере увеличения v_n . Параметр c_1 представляет удельные энергозатраты при скорости $v_n = 1$ м/ч и принимает следующие значения: при резании калийной руды внутренним буром $c_1 = e_{p1} = 8,35$ кВт·ч/м³; при скальвании целиков $c_1 = 1,56$; при погрузке измельченной породы $c_1 = 0,36$ кВт·ч/м³. Решение составленного уравнения баланса мощности привода буров дало поступательную скорость комбайна $v_n = 7,5$ м/ч при удельном расходе энергии $e_p = 3,62$ кВт·ч/м³.

В общем случае на удельные энергозатраты при резании горных пород влияет большое число факторов, важнейший среди которых – толщина h стружки, величина которой зависит от конструктивных параметров органа разрушения и режимов резания. При работе буров комбайна $h_i = f(v_n, w_i, z_i)$, где v_n – скорость комбайна, м/ч; w_i – угловая скорость буров, рад/с; z_i – число резцов в линии резания. В этом случае при резании породы бурами комбайна ПКС-8 $e_{p1} = 0,297 \cdot h_1^{-0,5}$ (внутренний) и $e_{p1} = 0,289 \cdot h_2^{-0,5}$ (внешний бур). Эти зависимости учтены при решении уравнения баланса мощности, затрачиваемую на работу буров комбайна ПКС-8. Оказалось, что установленная мощность двух электродвигателей по 110 кВт используется при скорости комбайна $v_n = 12,2$ м/ч, при этом центральным буром – 132,4 кВт, внешним буром – 74,5 и погрузчиком – 13,1 кВт. Эта скорость положена в основу расчета затрат мощности на привод бермовых фрез и отрезных коронок ленточного конвейера и передвижения комбайна ПКС-8 в рабочем режиме.

В результате исследования предлагается метод разбивки общих энергозатрат по элементам комбинированного исполнительного органа и оценки

затрат мощности на работу механизмов комбайнов.

УДК 629.735

Возможности увеличения ресурса карьерной техники

Тарасов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Для экскавации горной массы в карьерах используются экскаваторы с зубчато-реечным напором типа ЭКГ, и их среднестатистический износ по сроку службы превышает 1,1÷2,5 раза.

Наибольшее количество отказов металлоконструкций экскаваторов приходится на отказ рукояти (30%).

Повышение надежности оборудования на стадии эксплуатации возможно путем обоснования рациональных режимов эксплуатации и определения остаточного ресурса. Ресурс рукояти определяется приведенным числом циклов нагружения с учетом усталости материала и действиям нагрузок, зависящих от скорости подъема ковша при черпании горной массы.

Изменения этой скорости приводит к возникновению дополнительных нагрузок в подъемных канатах, вызывающих отказы оборудования. Наибольшее количество отказов связано с возникновением предельных нагрузок вследствие низкой квалификации машинистов со стажем работы от 1-5 лет.

Методы определения расчетных нагрузок на рабочем органе экскаватора в зависимости от характеристик разрабатываемого забоя представлены в работах Зеленина А.Я., Домбровского Н.Г., Шарипова Р.Х. и др.

Усилия, возникающие в подъемном канате экскаваторов при черпании горной массы:

$$F_{\Pi} = F_{\kappa+p} \cdot e^{0,014 \frac{K_F \cdot E}{H_B \cdot K_p} \cdot K_v},$$

где $F_{\kappa+p}$ – усилие от массы ковша и рукояти; K_F – коэффициент сопротивления породы копанию; E – емкость ковша; H_B – высота до оси напорного вала экскаватора; K_p – коэффициент разрыхления горных пород; K_v – коэффициент увеличения напряжения при изменении скорости подъема ковша, значение коэффициента равняется абсолютному значению скорости подъема ковша.

Определено, что при черпании горной массы со скоростью больше 0,55 м/с напряжения, возникающие в рукояти, превышают допустимый предел.

УДК 621.719.048.7

Комплексная диагностика горного оборудования

Тарасов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Важное требование к оборудованию подготовительных горных выработок – высокая эксплуатационная надежность.

Возможности методов и средств неразрушающего контроля и спектрального анализа продуктов износа в смазывающем масле позволят уменьшить затраты на ремонт и перейти на систему обслуживания по фактическому состоянию.

Метод функциональной диагностики – вибрационный контроль состояния машины (обработка, анализ и представление результатов измерения вибраций) разработан довольно основательно. Основная цель – оценка степени опасности повреждения на основе данных вибрации.

Диагностика электромеханического оборудования рассмотрена в работах Краповского Ю.М., Генкина М.Д., Мухортикова С.Г. и др.

При контрольных измерениях СКЗ абсолютной виброскорости (V_c , мм/с) корпусов подшипников электропривода и пиковых значениях виброускорения подшипников редуктора (a_p , м/с²) были определены параметры виброакустического сигнала машинных агрегатов проходческого комбайна. Сделан вывод об интервале измерений и характере принимаемых мер.

Состояние смазывающего масла в узлах горнопроходческого оборудования обычно оценивалось с точки зрения влияния продуктов износа на трущиеся поверхности. Применяемые методы спектрального анализа основаны на способностях атомов молекул поглощать или испускать электромагнитное излучение при изменении внутренней энергии вещества.

Определены предельные значения и основные металлы, применяемые для диагностирования технического состояния редукторов: железо, никель, хром, медь, кремний.

Анализ имеющихся данных функциональной диагностики свидетельствует, что не имеется какого-то одного универсального метода, пригодного для всех видов оборудования и условий эксплуатации.

К наиболее перспективным следует отнести методы вибродиагностики с использованием параметров колебаний и анализа состава и количества

механических включений в смазочных материалах в зависимости от наработки.

УДК 622.331

Аспирационные системы в технологии производства брикетов

Березовский Н.И., Борисейко В.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе представлены некоторые результаты изучения зарубежного опыта по оптимизации дальнейшего развития энергоисточников с учетом экономических и экологических аспектов, обозначено особое положение торфа, как топлива в Беларуси. С целью увеличения конкурентоспособности торфяного топлива через снижение себестоимости, предложены усовершенствования базовой технологии отечественных производителей торфяных топливных брикетов, которые позволят значительно снизить потери электроэнергии, воды, готового качественного сырья, и одновременно уменьшить выбросы пыли в окружающую среду.

Ученых и промышленников многих стран мира все чаще беспокоит вопрос, какие виды топлива обеспечат в ближайшем будущем и в перспективе получение электроэнергии и тепла для глобальной промышленности и стремительно быстро строящегося объема жилья. Так, например, в Германии, несмотря на то, что возобновляемые источники имеют большую долю получения энергии, ископаемые источники по-прежнему доминируют. И это еще будет оставаться так долгое время. Основные потребности энергии покрываются электростанциями, которые сжигают дешевый бурый уголь.

В Беларуси есть все предпосылки получения значительной доли энергии из торфа. Торфяные брикеты являются более подходящим топливом, чем уголь, по ряду экологических и экономических показателей.

Предложенная сухая система аспирации взамен мокрой системы в технологии производства торфобрикетов, позволит обеспечить удельную экономию электроэнергии на тонну брикетов 4,7 кВт*ч, воды – 0,83 м³. Это, в свою очередь, при внедрении на всех брикетных заводах республики позволит экономить около 7 млн. кВт*ч/год и 1,245 млн. м³/год воды и выпустить без дополнительных затрат около 1000 тонн брикетов в год.

Литература:

1. Научно-популярный журнал «Bild der Wissenschaft», 5-2014.
2. Письмо Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь №12-17/22-П «О сжигании деревянных шпал».
3. Наумович В.М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов. – М.: Изд-во «Недра», 1971. – 279 с.

**Направление повышения эффективности производства
керамического пористого кирпича**

Воронова Н.П., Грибкова С.М.

Белорусский национальный технический университет

Перспективным направлением рационального использования твердых горючих ископаемых является их комплексная переработка, в результате которой извлекаются наиболее полно входящие в них органические и минеральные компоненты, и на этой основе производится несколько видов продукции различного качества и назначения. Это равнозначно расширению сырьевой базы промышленности, увеличению ассортимента и улучшению показателей работы предприятий по переработке. К таким технологиям можно отнести производство строительных материалов с использованием различных отходов промышленности, местных видов топлива.

Опыт показывает, что неудачное конструктивное решение или неправильный режим обработки приводит к низкому качеству полученного продукта. В связи с этим весьма актуальной задачей является разработка рациональных режимов процессов производства и переработки на основе математического моделирования.

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 предприятий по производству строительных материалов позволяет рекомендовать проведение исследований по разработке технологических параметров производства кирпича керамического поризованного пустотелого с применением фрезерного торфа, топливных дробленых брикетов, древесных опилок.

Анализ проведенных исследований [1] показывает, что изделия предложенных составов после обжига соответствуют стандартам и экономический эффект от внедрения разработанной технологии составляет в сумме 154.760.000 руб.

Литература:

1. Березовский, Н.И. Использование местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в производстве пористых строительных материалов: монография / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, С.М. Грибкова, Б.В. Лесун. – Минск: БНТУ, 2014. – 128 с.

Результаты проведенных испытаний при производстве пористых строительных материалов

Грибкова С.М.

Белорусский национальный технический университет

На ОАО «Минский завод строительных материалов» были проведены испытания по замене древесных опилок фрезерным торфом низинного типа (степень разложения 30%, влажность 45%, зольность 25%) по выпуску опытных партий блоков керамических поризованных пустотелых 2,12 НФ с использованием глины месторождения «Лукомль-1» с последующим определением качественных показателей.

Для проведения испытаний были использованы следующие составы образцов:

состав 1: глина месторождения «Лукомль-1» - 88%; торф фрезерный – 6%; песок аглопоритовый – 6%. Параметры формования: давление прессования – 1,75-1,95 МПа, глубина вакуума – 0,092 МПа;

состав 2: глина месторождения «Лукомль-1» - 84%; торф фрезерный – 10%; песок аглопоритовый – 6%. Параметры формования: давление прессования – 1,76-1,88 МПа, глубина вакуума – 0,092 МПа.

По результатам испытаний в таблице 1 приведены технические характеристики керамического кирпича:

Таблица 1

Технические характеристики керамического кирпича

Состав образца	Размеры блока-сырца, мм	Масса блока-сырца, кг	Размеры обожженного изделия, мм	Масса обожженного изделия, кг	Средняя плотность изделия, кг/м ³
1	270×129×143	5,42	252×120×137	3,91	944
	270×129×145	5,55	253×121×138	3,93	930
	270×130×143	5,44	251×120×137	3,91	948
	270×130×145	5,52	252×120×138	3,92	939
2	270×131×143	5,39	246×117×135	3,635	935
	270×131×144	5,50	246×119×137	3,66	913
	270×130×142	5,39	244×117×135	3,625	940
	270×130×145	5,50	245×117×139	3,500	878

Следует отметить, что полученные изделия по основным техническим характеристикам (плотность, прочность, масса, морозостойкость) соответствуют требованиям стандарта СТБ 1160-99 «Кирпич и камни керамические».

**Комплексная малоотходная технология добычи и переработки
нерудных строительных материалов**

Березовский Н.И., Костюкевич Е.К.

Белорусский национальный технический университет

При использовании силикатного сырья или утилизации вскрышных пород в агломерации замена импортных видов топлива на местные являются актуальной проблемой, а использование топлива с низкой теплотворной способностью требует разработки новых способов по обогащению, усреднению и определению оптимальных сырьевых составов с целью более эффективного их сжигания в агломерируемом слое шихты.

Авторами предложен комплексный метод определения теплофизических характеристик различных материалов, с помощью которого исследован торф кусковой, измельченный, фрезерный и брикетированный. В результате получены аналитические зависимости коэффициента теплопроводности для рассмотренных разновидностей торфа. Так, в цехе теплоизоляционных материалов ОАО «Минский завод строительных материалов» проведены промышленные испытания щебня и песка аглопоритовых с использованием фрезерного торфа ОАО «Торфобрикетный завод Усяж» и выпущена опытная партия аглопорита в количестве 230 м³. В процессе проведения испытаний контролировались следующие технологические параметры: дозировка компонентов шихты, влажность компонентов шихты, гранулированный состав шихты, влажность шихты, скорость движения машины, высота слоя спекаемой шихты, разрежение в вакуум-камерах агломерационной машины. Определялись визуально характеристика коржа со стороны разгрузки машины, качественные показатели полученного аглопорита.

Предлагаемая комплексная малоотходная технология добычи и переработки нерудных строительных материалов, в частности вскрышная порода (суглинки) при добыче силикатного песка на карьере «Фаниполь» Минского района может использоваться в технологии получения некоторых пористых строительных материалов на основе аглопорита и керамического кирпича на ОАО «Минский завод строительных материалов», также в качестве импортозамещающих материалов. Авторами показана возможность использовать местные виды топлива на основе фрезерного торфа, топливных брикетов и древесных опилок. Это позволит не только уменьшить себестоимость аглопорита и керамического кирпича, но и получить значительный экономический эффект при выпуске единицы продукции.

**Обобщенный коэффициент производительности питателей
с тяговым рабочим органом.**

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

На предприятиях по обогащению полезных ископаемых широкое применение нашли питатели с тяговым рабочим органом. Производительность таких питателей рекомендуется рассчитывать по зависимости $Q = B \cdot h \cdot v \cdot \rho_n \cdot k_{\text{общ}}$, кг/с, где B и h соответственно ширина и высота разгрузочного окна, м; v - скорость перемещения тягового рабочего органа, м/с; ρ_n - насыпная плотность транспортируемого материала, кг/м³; $k_{\text{общ}}$ - обобщенный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства транспортируемых материалов и тип питателя. Целью исследований являлось определение влияние на $k_{\text{общ}}$ размера смеси частиц $d_{\text{см}}$, мм, влажности ω и геометрических размеров шибберного окна. Исследуемым материалом является фрезерный торф степени разложения $R=32\%$ низинного типа. Исследования выполнялись на лабораторной модели ленточного питателя. Коэффициент $k_{\text{общ}}$ определялся как $k_{\text{общ}} = Q/B \cdot h \cdot v \cdot \rho_n$.

По экспериментальным данным получены зависимости $k_{\text{общ}}$ от влажности торфа ω в диапазоне от 5% до 50%, размера частиц $d_{\text{см}}$ в диапазоне от 0,3 мм до 7 мм и отношения высоты шибберного окна к его ширине питателя h/B в диапазоне от 0,1 до 0,5. С увеличением влажности $k_{\text{общ}}$ уменьшается от 0,98 до 0,87. Это объясняется уменьшением заполнения площади шибберного окна материалом за счет слипания частиц. Аналогичное влияние на $k_{\text{общ}}$ оказывает размер частиц $d_{\text{см}}$. С увеличением $d_{\text{см}}$ от 0,2 мм до 7 мм $k_{\text{общ}}$ уменьшается от 0,99 до 0,89. Это объясняется тем, что в площади шибберного окна более крупные частицы образуют больше пустот между ними, а также создают большую турбулентность потока, чем мелкие. Влияние высоты слоя материала, показывает, что с увеличением h , $k_{\text{общ}}$ возрастает в нашем случае от 0,89 до 1,1. Возрастание $k_{\text{общ}}$ обусловлено уменьшением проскальзывание материала по ленте питателя за счет увеличения силы трения между ними. Результаты данной работы позволяют с большей точностью проводить проектные расчеты питателей с тяговым рабочим органом с учетом физико-механических свойств материала.

Осадители пылевых выбросов камерного типа

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Сухое пылеулавливание производственных выбросов на предприятиях, как правило, осуществляется в двух или трехступенчатой очистке, при которой в первой ступени улавливается основная масса грубодисперсной фракции пыли, а в последующих - тонких фракций. В качестве осадителей на первой ступени применяют циклоны центробежного действия и осадители камерного типа, которые по сравнению с первыми имеют преимущества в простоте конструкции, низкой стоимости, небольших затратах энергии и в возможностях улавливания абразивной пыли. При правильно подобранном осадителе можно достичь эффективность пылеулавливания 70-98% частиц размеров более 30-50 мкм.

Анализ устройств и работы различных типов осадителей показал, что наибольшую эффективность пылеулавливания имеют осадители инерционного типа, работающие на резком изменении направления пылегазового потока.

В данной работе предложена методика расчета такого осадителя и получены зависимости для определения его основных параметров. Так длина осадительной камеры $\ell \geq H \frac{\omega}{\omega_0}$, где H – высота камерного осадителя; ω_0 – скорость осаждения частиц, м/с; ω – скорость потока, м/с. Размер осаждаемых частиц определяется по зависимости $d = 0,034 \frac{\rho_v H^2}{\rho \ell^2} \omega^2$, м, где ρ_v и ρ соответственно плотность частиц и несущей среды, кг/м³. С учетом параметров несущей среды и осаждаемых частиц длину осадителя рекомендуется определять $\ell = 0,18 H \omega \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho d}}$, м. Установлено, для того чтобы снизить развитие турбулентности потока в осадителе при его вертикальном вводе, размеры рабочего пространства камеры осадителя следует увеличить в 1,5-2,0 раза по сравнению с размерами свободной струи.

С целью уменьшения габаритных размеров камерного осадителя предложено применить дополнительное устройство в виде щита-отражателя, установленного перед отводящим патрубком.

В результате выполненного исследования установлены особенности работы камерных осадителей для выделения грубодисперсных фракций пылей, предложена методика его расчета и разработана конструктивная схема с фонтанирующей струей запыленного воздуха.

**Методы исследования энергоемкости разрушения
горных пород резанием**

Нагорский А.В., Нагорский П.Д.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе приведен аналитический обзор известных стендовых методов исследования удельной энергоемкости разрушения горных пород резанием и оборудования для их реализации с целью обоснованного выбора наиболее рационального метода исследования, представляющего наибольшие экспериментальные возможности. Такие исследования обычно проводятся на монолитных блоках горной породы различных размеров, вырезаемых из пластов природной залежи, или на искусственно воспроизводимых блоках, создаваемых путем связывания хрупкой основы горной породы твердеющим связующим материалом. В качестве стендового механического оборудования чаще всего используют промышленные металлообрабатывающие продольно-строгальные или токарно-карусельные станки, реже – специальные экспериментальные установки, позволяющие моделировать различные схемы резания монолитной горной породы единичным или групповым унифицированным резовым инструментом. В случае применения строгального станка представляется возможность реализовывать последовательную, шахматную или перекрестную схемы резания с различными шагами и глубинами резания и диапазоном изменения скорости резания от 0 до 12,5 м/с. Шаг и глубина резания породы регулируются перемещением режущего инструмента, установленного в специальной каретке, в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Монолитный блок горной породы при этом закрепляется в кронштейнах стола строгального станка. Исследование режимов резания горной породы с серповидным изменением глубины реза, характерным для исполнительных органов большинства горных машин с вращательным движением режущего инструмента, реализуется на карусельных станках и специальных экспериментальных стендах маятникового типа. Достижимые при этом скорости резания могут изменяться в интервале от 0,2 до 4,8 м/с. Для исследования силового взаимодействия породы и резового инструмента при различных схемах и режимах резания и последующего определения удельной энергоемкости разрушения породы обычно применяют трехкомпонентные тензометрические динамометры. Производительность для каждой схемы резания определяют путем сбора и взвешивания породы, разрушенной резанием по этой схеме.

Моделирование и оптимизация процессов бурения

Казаченко Г.В., Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью работы является разработка методов и алгоритмов теоретического расчета оптимальных режимных параметров буровых установок в процессах шнекового бурения вертикальных скважин для конкретных горно–геологических условий, характерных для определенных интервалов бурения. В качестве критерия оптимизации определяемых режимных параметров принимается максимально возможная механическая скорость проходки заданного интервала бурения в установившемся режиме бурения. Для возможности реализации такой разработки создана замкнутая математическая модель установившегося рабочего процесса шнекового бурения вертикальных скважин. В основу созданной математической модели положено условие обязательного соблюдения в установившемся процессе бурения одновременно двух балансовых соотношений: материального баланса по объему разрушаемой долотом на забое скважины и транспортируемой шнековым ставом из скважины породы, и энергетического баланса между установленной мощностью буровой установки и суммарными затратами мощности на выполнение всех операций проходки скважины. Оптимизируемыми режимными параметрами, определяющими установившийся процесс в конкретных геолого–технических условиях бурения, в математической модели являются осевая скорость подачи и число оборотов шнековой бурильной колонны. Варьируемыми при оптимизации процесса по заданному критерию являются конструктивные параметры долота, бурильной колонны и буровой установки, а также в некоторых частных случаях и режимные параметры последней, т. е. коэффициент наполнения межвиткового пространства транспортирующего шнека разрыхленной породой, максимальная глубина заданного интервала бурения. Горно-геологические и горно-технические условия бурения в заданном интервале моделируются путем задания сопротивления разрушению породы долотом, плотности породы в массиве залегания, коэффициента ее разрыхления, коэффициентов трения разрыхленной породы о транспортирующую винтовую поверхность шнека и о цилиндрическую поверхность стенки скважины. Численное решение замкнутой системы уравнений с варьируемыми параметрами рабочего процесса шнекового бурения, представляется перспективным для разработки табличных номограмм оптимальных режимов высокопроизводительного бурения для конкретных горно–геологических условий, которые могут найти широкое применение как в практическом бурении, так и в горном машиностроении.

Влияние размерно-плотностных характеристик измельченного торфа на относительное скольжение фаз при пневмотранспорте

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Значения коэффициента относительного скольжения $\varepsilon = \mathcal{Q}_m / \mathcal{Q}_e$, где \mathcal{Q}_m и \mathcal{Q}_e – действительные скорости частиц материала и воздуха, определялись обработкой экспериментальных зависимостей перепада давления на участке пневмотранспортного трубопровода с вполне установившимся течением аэросмеси от приведенной (отнесенной ко всему поперечному сечению трубопровода) скорости воздуха при известной производительности по материалу по методике, изложенной в [1].

В качестве интегрального параметра, характеризующего размерно-плотностные характеристики измельченного торфа (эквивалентный диаметр и плотность торфяных частиц), использовалось значение приведенной скорости витания $\mathcal{Q}_{сп}$.

Анализ полученных результатов показал следующее. С увеличением скорости несущей воздушной фазы коэффициент относительного скольжения в вертикальных трубопроводах возрастает, в горизонтальных трубопроводах незначительно снижается.

Размерно-плотностные характеристики транспортируемых частиц оказывают на относительное скольжение воздушной и твердой фаз более существенное влияние, чем диаметр трубопровода и массовая производительность по материалу. В области взвешенного пневмотранспорта при одинаковой скорости воздуха частицы с меньшей скоростью витания достигают большей скорости и в вертикальных, и в горизонтальных трубопроводах. При этом с возрастанием скорости воздуха разница значений коэффициента относительного скольжения для частиц с разной скоростью витания практически не изменяется для разных значений массовой производительности по транспортируемому материалу.

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. научно-техн. конф., Минск, 20-23 февраля 2009 г. / Часть 1. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 106–109.

Влияние диаметра трубопровода и массовой производительности на относительное скольжение фаз при пневмотранспорте измельченного торфа

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Значения коэффициента относительного скольжения воздушной и твердой фаз $\varepsilon = \mathcal{Q}_m / \mathcal{Q}_b$, где \mathcal{Q}_m и \mathcal{Q}_b – действительные скорости частиц материала и воздуха, определены на основе обработки экспериментальных данных по пневмотранспорту измельченного торфа по методике [1].

Получены зависимости $\varepsilon = f(\mathcal{Q}_b)$ при пневмотранспорте одного и того же образца в трубопроводах разных диаметров и при пневмотранспорте разных образцов в трубопроводе одного диаметра при разных массовых производительностях по транспортируемому материалу.

Как при вертикальном, так и при горизонтальном пневмотранспорте одного и того же образца измельченного торфа в трубопроводах разных диаметров значения коэффициента относительного скольжения незначительно уменьшаются с увеличением диаметра.

В области устойчивого вертикального и горизонтального пневмотранспорта зависимость $\mathcal{Q}_m = f(\mathcal{Q}_b)$ линейна с незначительным разбросом значений, что позволяет считать не существенным влияние диаметра пневмотранспортного трубопровода на коэффициент относительно скольжения.

Увеличение массовой производительности по транспортируемому материалу при неизменном значении скорости воздуха вызывает соответствующее увеличение коэффициента относительного скольжения. Это увеличение наиболее существенно для частиц с малыми значениями скорости витания. Изменение массовой производительности оказывает более значительное влияние на коэффициент относительного скольжения, чем изменение диаметра трубопровода, как при вертикальном, так и при горизонтальном пневмотранспорте.

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. научно-техн. конф., Минск, 20-23 февраля 2009 г. / Часть 1. – Минск: БНТУ, 2009. – С. 106–109.

**Анализ конструктивных особенностей приводов гусениц
проходческих комбайнов**

Горноста́й М.С.

Белорусский национальный технический университет

На рудниках ОАО «Беларуськалий» при разработке Старобинского месторождения калийных солей в настоящее время широко применяются проходческие комбайны с основным исполнительным органом в виде осных роторов, а также с планетарно-дисковым исполнительным органом.

Гусеничный движитель проходческого комбайна предназначен для подачи комбайна на забой во время проходки выработки, отгона комбайна из выработки и для осуществления маневров машиной. Движитель состоит из рамы комбайна, гусеничных тележек (правой и левой) с индивидуальными гидромеханическими приводами на каждую гусеницу.

Анализ конструктивных особенностей приводов гусениц проходческих комбайнов показывает, что они обеспечивают значительное передаточное отношение, поэтому включают в себя от 4 до 7 ступеней цилиндрических передач. Эффективность редукторов может составлять 0,8-0,9. Учитывая, что проходческие комбайны представляют собой тихоходные мобильные машины, этот показатель не влияет на их общую эффективность. Сложность конструкций отражается на стоимости изготовления, а также показателях надежности изделий.

Представляется актуальной задача по модернизации конструкции гидромеханического привода горных машин для подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Одним из перспективных вариантов модернизации привода гусениц рассматривается использование циклоидальных редукторов, которые могут обеспечивать одной ступенью волновой передачи передаточное отношение до 119, а двухступенчатой – до 12000. Успешной реализации данного предложения может способствовать типоразмерный ряд циклоидальных редукторов, разработанных на Барановичском станкостроительном заводе. КПД одноступенчатого редуктора – 92,5%, двухступенчатого – 85%. Высокая нагрузочная способность: выдерживает 5-кратные пиковые перегрузки. Циклоидальные редукторы обладают высокой надёжностью до 20000 часов непрерывной работы редуктора при постоянной нагрузке с вероятностью безотказной работы до 90%. Многопарность зацепления обеспечивает низкий уровень шума 65...70 дБ.

Работа выполнена под руководством старшего преподавателя Басалая Г.А.

Интенсификация добычи фрезерного торфа способом экскавации залежи полосами от картовых канав

Джежора И.В.

Белорусский национальный технический университет

Исследования посвящены технологическим процессам разработки торфяных месторождений по добыче торфа для получения твердого топлива. Существенным недостатком поверхностно-послойного способа разработки торфяных месторождений является снижение эффективности полевой сушки фрезерного торфа на технологических картах из-за невозможности поддержания требуемой нормы осушения по мере сработки слоя, и по этой причине – уменьшение итоговых объемов добычи по сравнению с балансовыми.

Наращивание объемов добычи фрезерного торфа до настоящего времени проводилось путем освоения новых производственных площадей в рамках действующих торфопредприятий. Однако данный путь неперспективный, так как в основном к началу настоящего столетия все пригодные для промышленных разработок торфяные месторождения Республики Беларусь освоены или являются биосферными заповедниками.

Цель исследования – интенсификация добычи фрезерного торфа на разрабатываемых производственных площадях. Задачей исследования является повышение эффективности, а также уменьшение энергозатрат на разработку торфяных месторождений со сложным гидрогеологическим режимом при поверхностно-послойной добыче торфа.

Поставленная задача решается тем, что предлагаемый способ разработки торфяных месторождений, включающий операции по сводке древесной растительности, возведению осушительной сети и водоотводящих каналов, добычу фрезерного торфа, ремонт осушительной сети и технологических полей, включает дополнительную операцию при ремонте осушительной сети и технологических полей, при которой производят экскавацию части торфяной залежи на максимальную глубину полосами шириной до одной четверти от ширины карт вдоль картовых канав с равномерной укладкой ее на поверхность карт и последующим их профилированием. Экскавацию части торфяной залежи проводят на завершающем этапе разработки месторождения, когда норма осушения меньше минимально допустимой и она не может быть достигнута очередным углублением картовых канав. Работы по наращиванию поверхности карт могут проводиться поэтапно с экскавацией залежи более узкими полосами, однако ширина B_K технологической площадки должна соответствовать эксплуатационным параметрам

машин, применяемых на основных операциях добычи фрезерного торфа, т.е. фрезеров, ворошилок и валкователей.

К достоинством данного способа следует отнести то, что добыча фрезерного торфа на технологических площадках с наращенными слоями может проводиться одновременно с выращиванием болотообразующих растений на приканавных полосах. Это снижает степень отрицательного влияния длительных разработок месторождения на окружающую среду и ускоряет процесс восстановления природного ландшафта.

УДК 004.9

Задача многокритериальной оптимизации при исследовании воздействия антропогенных факторов на экологическую безопасность региона

Лесун Б.В., Пацей Н.Е.

Белорусский национальный технический университет

При создании новых объектов вопрос их рентабельности является актуальным как при обосновании необходимости их создания, так и при поддержке его состояния, реконструкции, а также при принятии решения о его ликвидации. В настоящее время немаловажным фактором, влияющим на рентабельность объекта народного хозяйства, становится его влияние на экологическую безопасность региона, в котором он размещается. Несомненно важным является вопрос увеличения рентабельности. Он может рассматриваться в следующих аспектах:

1. данные об экологической безопасности объекта могут стать важным фактором при привлечении инвестиций (особенно иностранных);
2. увеличение экологической безопасности непосредственно связано с рентабельностью создаваемого объекта в случае применения ресурсосберегающих технологий, что с одной стороны ведет к сокращению экологической нагрузки, оказываемой объектом;
3. взаимосвязь между рентабельностью и экологической безопасностью наблюдается при обеспечении и поддержки требуемых уровней показателей экологической безопасности, что ведет к минимизации влияния объекта на здоровье людей.

Возможность комплексного рассмотрения этих аспектов и анализа влияющих на них факторов даст возможность управления средствами повышения рентабельности объекта. При этом очевиден конкурирующий характер критериев: минимальные вложения, максимальная выгода, минимальное время возврата инвестиций. Имея это в виду, делаем вывод о целесообразности применения оптимизационного подхода к моделированию.

Анализ фракционного состава руды при фрезеровании горной породы комбайном с планетарно-дисковым исполнительным органом

Басалай Г.А., Басалай И.А.

Белорусский национальный технический университет

Объект исследования – проходческо-очистной комбайн.

Цель работы – увеличение производительности проходческо-очистного комбайна, а также снижение энергозатрат при подземной разработке калийных месторождений.

Проведение подземных горных выработок с помощью комбайнов является наиболее прогрессивным способом, так как при этом обеспечивается высокая скорость проходки и максимальная механизация работ при значительном упрощении организации и повышении безопасности труда рабочих. При подземной разработке Старобинского месторождения калийных солей в настоящее время широко применяются проходческие комбайны серии ПК-8 (ПК-8МА, ПКС-8М и КРП-3), а также проходческо-очистные комбайны: «Урал-10А» и «Урал-61», а также КПО-10,5.

Авторами проведен комплекс исследований по анализу режимов работы планетарно-дискового исполнительного органа проходческо-очистного комбайна в условиях отработки второго горизонта на Первом руднике ОАО «Беларуськалий». При этом выполнены лабораторные исследования фракционного состава руды от проходческо-очистного комбайна «Урал-10А». В результате установлено, что фракционный состав руды, образуемый на четырех режимах подачи комбайна на забой, можно разделить на три группы: крупная, мелкая и пылевидная.

Массовая доля первой (крупной группы) с размером руды от 5 до 40 мм составляет 63 %;

Средняя группа – мелкая с частицами от 0,5 до 5 мм с содержанием до 28,2 % – образуется с дополнительным расходом энергии.

Пылевидная составляющая (8,2 %) менее 0,5 мм негативно влияет на работу систем и механизмов комбайна, а также создает большую нагрузку на работу пылеосадительной системы.

Таким образом перспективным направлением снижения доли пылевидной и мелкой фракций в руде при работе комбайна является повышение эффективности фрезерования массива планетарно-дисковым исполнительным органом. В частности, более эффективное фрезерование забоя по внешнему контуру выработки обеспечивает применение дополнительных резцов, закрепленных на кронштейнах, закрепленных на рукоятях с возможностью осуществления опережающего снятия слоя породы по контуру внешних траекторий резцов режущих дисков.

Строительные и дорожные машины

Пути совершенствования механизации и обеспечение надежной работы машин по сбору твердых коммунальных отходов

Вавилов А.В., Гречуха А.И., Ашуйко И.И., Борисенок А.С.,
Лобанов Е.А., Ильченко Е.С., Стаховец А.В., Сенкевич В.И.,
Родопольский А.И., Щербин Д.В.
Белорусский национальный технический университет

Поставлена задача: твердые коммунальные отходы (ТКО) использовать для получения конкретных полезных продуктов, а не пополнять городские свалки, загрязняя окружающую среду.

Для успешного ее решения необходимо существенно снизить затраты на сбор ТКО. Рассмотрим решение задачи на примере сбора отходов стекла.

В Беларуси ежегодно образуется около 200 тыс. тонн битого стекла. Примерно треть от этого объема могут переработать белорусские предприятия. Однако, из-за отсутствия эффективного отлаженного сбора битого стекла отработанная стеклотара вместе с другими ТКО пополняет городские свалки, а для удовлетворения своих потребностей республика вынуждена заводить стекломойные заводы, затрачивая валюту.

В последнее время ситуация в республике стала меняться в лучшую сторону. В частности, почти повсеместно в городах республики появились специальные контейнеры для сбора стеклотары. Однако отсутствие системы машин для эффективного сбора стекла от этих контейнеров и транспортировки его на перерабатывающие предприятия сдерживает процесс утилизации.

Нами обоснован фрагмент системы машин для эффективного сбора стекломойной тары и доставки ее на переработку.

Учитывая стесненные условия дворовых территорий города для сбора заполненных контейнеров во дворах и доставки их на промежуточный пункт сбора предлагается задействовать маневренную машину – небольшой коммунальный МАЗ, оборудованный манипулятором легкой серии грузоподъемностью до 1 тонны и с вылетом до 3,5 метров. Промежуточный пункт сбора необходим, поскольку такая машина из-за небольшой вместимости кузова может максимально собрать только 8 контейнеров объемом $0,9 \text{ м}^3$ каждый и при этом транспортная составляющая может быть эффективной только при плече доставки до 5-7 км (промежуточный пункт сбора представляет выравненную заасфальтированную площадку на незаселенной территории города). На этом пункте сбора действует вторая машина уже большей грузоподъемности, оборудованная манипулятором, с помощью которого осуществляется перегрузка ТКО.

Дополнительные функциональные возможности погрузчика ВМЕ-3085

Вавилов А.В., Власовец А.А., Барвинский Е.Д., Гребенек Е.О.,
Дашко А.Л., Кореньков К.И., Малашицкий Д.Э., Рыжко М.П.
Белорусский национальный технический университет

На предприятии ВМЕ-Дизель разработан, а на заводе МАЗ-МАН изготовлен погрузчик ВМЕ-3085, грузоподъемностью 3 т. Новый погрузчик выгодно отличается от ряда уже выпускаемых другими предприятиями погрузчиков такой грузоподъемности (таблица 1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики погрузчиков грузоподъемностью 3 тонны

Наименование характеристики	Ед. изм.	ВМЕ-3085	Амкодор-330СЕ Беларусь	Амкодор-332С Беларусь	Volvo L50G Швеция
Грузоподъемность	т	3,2	3	3,4	2,9
Номинальная вместимость ковша	м ³	1,75	1,65	1,9	1,5
Масса ковша	кг	615		780	
Вырывное усилие г/ц ковша	кН	85	74	80	72
Высота разгрузки ковша при 45°	мм	2890	2750	2700	2865
Высота по кабине	мм	3050	3200	3400	2980
Макс. рабочая скорость	км/ч	6,5	5/5	5,7	5/5
Макс. транспортная скорость	км/ч	40	34/34	34	40/40

На предприятии ВМЕ-Дизель к погрузчику ВМЕ-3085 производится уже 10 видов легкоъемного рабочего оборудования различного назначения, в основном, для аграрного сектора. Нами для расширения функциональных возможностей такого погрузчика и применения его в дорожной отрасли и коммунальном хозяйстве, разрабатываются конструктивные схемы следующего дополнительного рабочего оборудования: снегоочиститель для дорог низких технических категорий, бульдозерный отвал с изменяемой геометрией, раскалывающий рабочий орган, челюстной захват и др.

Программируемые контроллеры

Антоневич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Одним из ключевых элементов автоматики является ПЛК (программируемый логический контроллер). В последнее время появился целый класс инструментов визуального проектирования для ПЛК. Во многих случаях применение промышленных ПК не оправдано экономически и технически сложно. Практическое применение ПЛК на производстве сопряжено с повышенной опасностью ошибки в монтаже; некачественное заземление, неправильно выполненная система аварийного отключения и т.д. могут привести к тяжелым последствиям.

Программируемый контроллер — это программно управляемый дискретный автомат, имеющий некоторое множество входов, подключенных посредством датчиков к объекту управления, и множество выходов, подключенных к исполнительным устройствам. ПЛК контролирует состояния входов и вырабатывает определенные последовательности программно заданных действий, отражающихся в изменении выходов. Благодаря стандартизации языков программирования прикладная программа оказывается переносимой. ПЛК предназначен для работы в режиме реального времени в условиях промышленной среды и должен быть доступен для программирования неспециалистом в области информатики. Современные ПЛК помимо простых логических операций способны выполнять цифровую обработку сигналов, управление приводами, регулирование, функции операторского управления и т. д. В стандарте МЭК и очень часто в литературе для обозначения контроллеров применяется сокращение ПК (программируемый контроллер). Конструкция ПЛК может быть самой разнообразной — от стойки, заполненной аппаратурой, до миниатюрных ПЛК. Помимо «классических» дискретных и аналоговых входов-выходов многие ПЛК имеют специализированные входы-выходы. Последние ориентированы на работу с конкретными специфическими датчиками, требующими определенных уровней сигналов, питания и специальной обработки. Входы-выходы ПЛК не обязательно должны быть физически сосредоточены в общем корпусе с процессорным ядром. В последние годы все большую популярность приобретают технические решения, позволяющие полностью отказаться от прокладки кабелей для аналоговых цепей. Входы-выходы выполняются в виде миниатюрных модулей, расположенных в непосредственной близости от датчиков и исполнительных механизмов. Соединение подсистемы ввода-вывода с ПЛК выполняется посредством одного общего цифрового кабеля.

**Системное и прикладное программное обеспечение
программируемых логических контроллеров**

Антоневич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Системное программное обеспечение (СПО) непосредственно контролирует аппаратные средства программируемого логического контроллера (ПЛК). СПО отвечает за тестирование и индикацию работы памяти, источника питания, модулей ввода-вывода и интерфейсов, таймеров и часов реального времени. Система исполнения кода прикладной программы является составной частью СПО. Система исполнения включает драйверы модулей ввода-вывода, загрузчик кода программ пользователя, интерпретатор команд и отладочный монитор. Код СПО расположен в ПЗУ и может быть изменен только изготовителем ПЛК.

Код прикладной программы размещается в энергонезависимой памяти, чаще всего это электрически перепрограммируемые микросхемы. Изменение кода прикладной программы выполняется пользователем ПЛК при помощи системы программирования и может быть выполнено многократно.

Правильно составленная пользовательская программа не должна содержать бесконечных циклов. В противном случае управление системе исполнения не будет передано, и, соответственно, нормальное функционирование контроллера будет нарушено. Для преодоления данной проблемы служит контроль времени цикла. Контроль осуществляется при поддержке аппаратно реализованного «сторожевого таймера». Если фаза пользовательского кода выполняется дольше установленного порога, то ее работа будет прервана. Таким образом, достигается предсказуемое поведение ПЛК при ошибках в программе и при «зависании» по причине аппаратных сбоев. Обслуживание сторожевого таймера выполняется в рабочем цикле ПЛК.

Вошедшие в стандарт языки созданы на основе наиболее популярных языков программирования, наиболее распространенных в мире контроллеров. Если взять любой контроллер, работающий в современном производстве, то его программу можно перенести в среду МЭК 61131-3 (международная электротехническая комиссия) с минимальными затратами. Контроллеры традиционно работают в нижнем звене автоматизированных систем управления предприятием (АСУ) — систем, непосредственно связанных с технологией производства (ТП). ПЛК обычно являются первым шагом при построении систем АСУ. Появился целый класс программного обеспечения реализующего интерфейс человек—машина (ММ). Это так называемые системы сбора данных и оперативного диспетчерского управления (Supervisory Control And Data Acquisition System — SCADA).

Модернизация мостового крана

Бежик А.А., Ефимченков В.В., Кузменков А.Г.
Белорусский национальный технический университет

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.

К преимуществам мостовых кранов следует отнести: простоту конструкции; высокую надежность в работе; хорошую устойчивость; постоянность грузоподъемности и высоты подъема груза. Также к преимуществам можно отнести небольшую стоимость эксплуатации и хороший обзор машинистом рабочей зоны.

Значительная часть конструкций мостовых кранов опираются на подкрановые конструкции. Недостаток – возможность возникновения перегрузки концевых балок крана и подкрановых конструкций при поднятии краном груза возле одной из ниток подкрановых путей. В этом случае одна из сторон крана догружается, вызывается перегрузка, а другая разгружается. Основную нагрузку в этом случае воспринимает узел крепления ходового колеса к концевой балке. Для снижения влияния перегрузки, увеличения прочности и долговечности конструкции крана, применяемые конструктивные решения вызывают увеличение материалоемкости, а в конечном счете, и стоимость машины. 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.

Узел крепления ходового колеса к концевой балке мостового крана содержит вал, опирающийся на подшипники, смонтированные в стаканы, прикрепленные к концевой балке посредством горизонтальных пазов. Возможно в стенках концевой балки с внешних её сторон изготовить кольцевые проточки соосно с валом колеса, в которые по посадке по внутреннему и наружному своим диаметрам можно установить стаканы с подшипниками.

С упрощением конструкции узла крепления ходового колеса к концевой балке грузоподъемного крана можно снизить металлоёмкость крана, стоимость его, время простоя в ремонте и повысить производительность работы крана.

**Стационарно-прицепной бетононасос производительностью 120 м³/ч
с гидравлической раздаточно-распределительной стрелой**

Бежик А.А., Кузменков А.Г., Ефимченков В.В.

Белорусский национальный технический университет

Для современного строительства качество работ и точность сроков сдачи объектов являются важнейшими критериями оценки. Новые строительные материалы, и, в первую очередь, строительные смеси, инновационные технологии в работе с ними обеспечивают эффективное выполнение поставленных задач. Растущий спрос на быстрое и экономичное строительство долговечных сооружений ставит перед строителями серьезные задачи. Одно из основных направлений технических разработок в этом направлении является проектирование и производство высокопроизводительных насосов для бетона, цемента и композитных строительных растворов.

Для транспорта и укладки строительных бетонных смесей, цементных и гипсоцементных растворов на объектах применяют специальное строительное насосное оборудование. В зависимости от решаемых задач и объема строительных работ применяют либо стационарные бетононасосы, либо мобильные автобетононасосы. Данное оборудование различается по производительности и имеет широкий диапазон рабочего давления. По мощности же подачи они мало отличаются.

Необходимо стремиться создавать комплекты для усовершенствования процесса подачи бетона в высотном строительстве, значительно снизив затраты на рабочую силу, облегчив монтажные работы и увеличив высоту подачи смеси.

Облегчение монтажных работ возможно за счет применения разборной башни из разборных секций вне здания. Использование разборной секции позволит транспортировать даже очень габаритные секции в места, труднодоступные для спецтранспорта, при этом повышается эффективность монтажных работ за счет уменьшения трудоемкости транспортировки и сборки секции по месту установки фермы опоры, уменьшаются расходы на транспортировку и облегчается сборка крупногабаритных секций. Увеличить высоту подачи смеси возможно за счет наращивания высоты башни, для чего необходим точный расчет анкерного крепления к колонне, крепления фундаментной рамы, сварных швов металлоконструкции. Установка башни вне здания, применение выносных опор и крепления башни непосредственно к зданию уменьшит время, затраты и облегчит её демонтаж после постройки здания.

Направления развития гидравлических передач машин строительного комплекса

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из возможных направлений развития объемных гидравлических передач ходового и технологического оборудования строительных и дорожных машин являются объемные моноблочные гидравлические передачи с внутренним делением потока мощности. В объемных гидравлических передачах данного класса поток мощности от ведущего к ведомому звеньям передается механическим путем, и корректируется для получения заданных параметров посредством передачи части потока мощности гидравлическим путем. При технической реализации объемных гидравлических передач с внутренним делением потока мощности ведущий вал насоса связан с блоком цилиндров, либо наклонной шайбой гидромотора, а ведомый вал связан соответственно с наклонной шайбой, либо блоком цилиндров гидромотора. При нулевой подаче насоса рабочие полости гидромотора запираются, и весь поток мощности передается механическим путем с одинаковыми скоростями вращения ведущего и ведомого звеньев. При увеличении подачи насоса поток рабочей жидкости обеспечивает вращение ведомого вала гидромотора в обратную сторону, позволяя бесступенчато изменять передаточное отношение объемной гидравлической передачи.

Авторами предложено направление построения структурных схем объемных гидравлических передач 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 плоскостей наклонной шайбы и гидрораспределителя насоса. Это позволяет использовать конструктивные схемы насосов с неподвижным блоком цилиндров и вращающимися наклонной шайбой и цапфовым гидрораспределителем при формировании рациональных схем объемных гидравлических передач.

Разработка и реализация структурных схем гидравлических передач с использованием предложенных решений позволит создать гамму объемных моноблочных гидравлических передач с внутренним делением потока мощности, обеспечивающих потребности транспортного и дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем при- водов ходового и технологического оборудования.

**Моноблочные исполнения многопоточных насосных агрегатов
строительных и дорожных машин**

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из возможных направлений развития объемных гидравлических систем отбора мощности на привод рабочих органов технологического и ходового оборудования является реализация модульного принципа построения моноблочных насосных агрегатов различного функционального назначения на базе универсального качающего и гидрораспределительных модулей. При неизменной структуре качающего модуля гидрораспределительный модуль обеспечивает одно- и многопоточное исполнение моноблочного насосного агрегата, исполнение насосного агрегата с переменным объемом, перераспределением объемов секций и реверсированием потоков рабочей жидкости двухпоточного насосного агрегата.

Качающий модуль насоса может быть выполнен на базе аксиально-поршневого насоса традиционной конструктивной схемы с наклонной шайбой, либо наклонным блоком цилиндров. Предложен способ фазового регулирования рабочего объема аксиально-поршневого насоса, состоящий в изменении относительного положения продольных плоскостей наклонной шайбы и полукольцевых пазов опорно-распределительного диска гидрораспределителя насоса. При неизменном геометрическом ходе поршня изменяется его эффективный ход, определяемый положением фаз всасывания и нагнетания. При повороте наклонной шайбы, либо гидрораспределителя на 90° объем насоса изменяется от максимального до нулевого значений, и при дальнейшем повороте от 90° до 180° насос реверсируется. Механизм поворота наклонной шайбы, либо гидрораспределителя относительно оси гидромашины может быть выполнен в виде червячной передачи с приводом червяка от автономного электродвигателя.

Многопоточное исполнение насосного агрегата достигается интегрированием в конструкцию насоса дискретного гидрораспределителя, обеспечивающего деление потока рабочей жидкости насоса. Конструктивная схема дискретного гидрораспределителя позволяет изменять параметры подачи рабочей жидкости по магистралям потребителей.

Реализация модульного построения гаммы насосных агрегатов позволит сократить номенклатуру выпускаемых гидравлических аппаратов при обеспечении потребностей дорожно-строительного машиностроения в гидравлических аппаратах систем приводов ходового и технологического оборудования.

**Методы снижения остаточных сварных напряжений
в металлоконструкциях грузоподъемных кранов**

Гарост М.М.

Белорусский национальный технический университет

При разработке сварных металлоконструкций грузоподъемных кранов, наряду с рациональным конструктивным оформлением сварных узлов и совершенствованием технологии сварки, необходимо учитывать, что сварные соединения характеризуются определенной структурной неоднородностью прочностных свойств по сечению, упругими и пластическими остаточными сварочными деформациями и напряжениями, отклонением геометрических размеров от расчетных. Это снижает качество, надежность и долговечность сварных конструкций. Для достижения заданных эксплуатационных характеристик конструкции применяют дополнительную технологическую обработку сварных соединений: термическую обработку; механическую обработку сварных швов и зоны сплавления шлифованием или фрезерованием; аргонодуговое оплавление зоны перехода от сварного шва к основному металлу; дробеструйную обработку; проковку; обработку взрывом, применение напаяк в околошовной зоне из материала с температурой плавления и модулем упругости меньшими, чем основного металла и др.

Одним из наиболее эффективных методов для распределения остаточных напряжений является ультразвуковая ударная обработка (УУО). Суть этого метода заключается в том, что энергия ультразвука передается и трансформируется в обрабатываемое изделие посредством перемещающихся вдоль оси колебательной системы стержневых ударных элементов (инденторов) с малой (относительно несущей частоты стохастического ударного импульса) волновой длиной. УУО позволяет создать в зоне обработки благоприятные сжимающие напряжения, снизить концентрацию внешних напряжений и остаточные сварочные напряжения растяжения в сварном соединении за счет формирования плавного сопряжения сварного шва с основным металлом. Наибольший эффект повышения сопротивления усталости сварных соединений под воздействием УУО достигается посредством формирования канавки в зоне сплавления металла шва с основным металлом.

Канадскими специалистами разработаны и проверены ряд новых технических средств контроля остаточных напряжений: ультразвуковой компьютерный комплекс для измерения остаточных напряжений; технологии и оборудование для ультразвукового упрочнения; экспертная система для оценки усталости и оптимизации сварных элементов.

**О требованиях ГОСТ 32578-2013 к материалам
для металлоконструкций грузоподъемных кранов**

Гарост М.М., Передня Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Современные требования по надежности грузоподъемных кранов (ГПК) требуют использования, наряду с новыми технологическими и материаловедческими принципами, межгосударственных и международных стандартов. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 03.12.2013 принят межгосударственный стандарт ГОСТ 32578-2013 «Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Требования к материалам», который планируется ввести и в Республике Беларусь. ГОСТ 32578 устанавливает минимальные требования, предъявляемые на стадии проектирования к материалам металлических конструкций ГПК всех типов для предотвращения их хрупкого разрушения в условиях эксплуатации.

Согласно ГОСТ 32578 основными факторами, которые должны быть учтены при выборе материала для сварной металлической конструкции с целью защиты ее от возможного хрупкого разрушения, являются минимальная допустимая температура эксплуатации, толщины элементов, уровень концентрации напряжений и максимальные значения номинальных напряжений. Обобщенной характеристикой этих факторов является комплексный показатель Z_{Σ} , который вычисляется как сумма частных показателей

$$Z_{\Sigma} = Z_1 + Z_2 + Z_3,$$

Значения показателей Z_1 , Z_2 и Z_3 вычисляются по указаниям таблицы 2 ГОСТ 32578. В соответствии с ГОСТ 32578 узлы по группам концентрации напряжений делятся на три группы. Если в конструкции применяется несколько марок стали, видов проката, поковок и отливок, то расчет показателя Z_{Σ} производится отдельно для каждой группы элементов, изготовленных из одного материала по одной технологии.

Вычисленное для конкретной конструкции или группы элементов значение показателя Z_{Σ} определяет требуемый уровень хладостойкости используемого материала (таблица 1 ГОСТ 32578). Для успешной конкуренции как на внутреннем, так и на международном рынке ГПК отечественным предприятиям необходимо использовать действующие ТНПА, стандарты EN и ISO.

**Фрагмент предварительной оценки остаточного ресурса
грузоподъемного крана с истекшим сроком службы**

Савицкий В.П.

Белорусский национальный технический университет

В действующих с 1-го января 2013 года новых Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (далее – Правила) все еще актуальной остается проблема оценки остаточного ресурса грузоподъемных кранов с истекшим сроком службы. Так, в п.370 Правил сказано: «Краны, отработавшие нормативный (назначенный) срок службы, <...> подлежат экспертизе промышленной безопасности, в которую входят техническое диагностирование и при необходимости оценка остаточного ресурса...». Остаточный ресурс грузоподъемного крана с истекшим сроком службы нами рассмотрен ранее (см. журналы «Промышленная безопасность», 2007, №3; 2011, №4; 2015, №3). В опубликованных материалах предлагается с целью повышения точности расчетов использовать не постоянную за весь срок эксплуатации грузопереработку, а весь период работы грузоподъемного крана разбивать на этапы, например, хотя бы на три.

В связи с вышеизложенным, рассмотрим фрагмент предварительной оценки остаточного ресурса на следующем конкретном примере. Взят козловой кран грузоподъемностью 12.5 т, с пролетом 25.0 м. Режим работы крана и его механизмов средний.

Этап 1, характеристика: число лет эксплуатации 14.8, 2 смены. Коэффициенты использования крана: суточного 0.67, годового 0.69. Данные о массах (тонны) грузов 1.00, 2.00, 2.50, 4.70, 9.00, 3.50; вероятности их появления 0.135, 0.117, 0.302, 0.179, 0.029, 0.238. Получено: число циклов нагружений 254644, класс использования U5 (Таблица 1 Правил). Коэффициент нагружения 0.11; класс нагружения Q1, группа режима работы – А4.

Этап 2. Число лет – 3, работа в одну смену. Получено: число циклов нагружений 282382, класс использования U5. Коэффициент нагружения 0.116; класс нагружения Q1, группа режима работы – А4.

Этап 3. Число лет эксплуатации 1.8, работа в одну смену. Получено: число циклов нагружений 284071, класс использования U5. Коэффициент нагружения 0.1162; класс Q1, группа режима работы, - А4.

Поскольку нормативный модуль для среднего режима работы составляет 125 000, это значит, что кран выдержит 1075731 циклов нагружений; следовательно, ресурс составит 791660 циклов (за вычетом 284071).

Некоторые вопросы совершенствования подъемных машин

Савицкий В.П.

Белорусский национальный технический университет

В подъемных машинах одно из направлений по их совершенствованию состоит в попытке использовать потенциальную энергию груза, находящегося на определенной высоте. Достаточно простой и надежный способ заключается в использовании маховика. Энергия опускаемого груза используется для раскручивания маховика, расположенного, например, на валу подъемной лебедки грузоподъемного крана. По нашим оценкам потенциальной энергии будет достаточно, чтобы затем, при подъеме крюковой подвески на требуемую высоту, этот маховик отдал накопленную энергию и электродвигатель механизма подъема груза можно было не включать. При установке маховика массой 670 кг, с частотой вращения 10,7 рад/с., накапливаемая кинетическая энергия равна 14,7 кДж. Для базового варианта (без маховика) и нового варианта рассчитаны эксплуатационные издержки, и в этом случае экономия составит порядка 17,9%.

Второе решение в указанном направлении состоит в том, чтобы установить гидроаккумулятор, который будет накапливать энергию расположенного на определенном расстоянии от земли груза. Для стреловых самоходных кранов в таком случае также повышается эффективность работы. Например, пятитонный груз, поднятый на высоту 10 метров, обладает энергией в 500 килоджоулей. Этой энергии будет достаточно, чтобы поднять точно такой же груз на шесть метров. При реализации проекта может быть получен эффект, при котором экономия горючего составит порядка 7...15%.

Фирмой Liebherr в мобильных грузоподъемных портовых кранах предлагается использовать гидравлический аккумулятор, использующий энергию опускаемого груза. Аккумулятор содержит объем жидкости под давлением газа (азота) и не требует обслуживания в течение 10 лет. В сравнении с обычным приводом самоходного крана экономится до 30% топлива.

Третье направление связано с широким внедрением регулировки скоростей рабочих движений за счет использования тиристорных преобразователей частоты тока. Мировые тенденции в области энергоэффективности и энергосбережения основаны на применении преобразователей частоты VFX 2.0, в которых реализована уникальная технология управления моментом, обеспечивающая при необходимости величину его до 400 % от номинального момента электродвигателя. При этом гарантируется быстрый, но вместе с тем плавный пуск и останов.

**К вопросу оценки динамической нагруженности ходовой части
погрузочно-транспортной машины 8к8**

Клоков Д.В.¹, Ермалицкий А.А.²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Белорусский национальный технический университет

Целью исследований являлось повышение эффективности трелевки сортиментов форвардерами при проведении подготовительных работ по строительству лесных дорог путем обоснования конструктивных параметров машин. Теоретические исследования базировались на применении методов системного анализа, теории случайных процессов, статистической динамики, теоретической механики и оптимального конструирования.

В результате исследований разработано методическое и программное обеспечение, позволяющее оценить динамические процессы в ходовой части форвардера. При моделировании рассматривались комплексная динамическая система «двигатель – трансмиссия – движители – поверхность движения – предмет труда» и ее основные подсистемы, адекватно отражающие конструктивные особенности форвардера; новые математические модели процесса движения погрузочно-транспортных машин с колесными формулами 4К4, 6К6 и 8К8, описывающие вертикальные, продольно-угловые колебания машины, с комплексным учетом воздействия неровностей опорной поверхности движения, двигателя как источника заданной мощности, связей остова машины с пачкой сортиментов и движителем.

Исследованиями установлено, что по нагруженности переднего моста при движении по пасечному волоку скорость не должна превышать 8,2 км/ч. На магистральном волоке (лесной дороге) допустимая скорость – до 12,5 км/ч, чего явно достаточно для реализации показателей эффективности машины при эксплуатации. При базе машины 5,8 м и скоростях движения 3,6 и 10,8 км/ч на переднем мосту максимум спектральной плотности динамической реакции приходится на частоты от 3,5 до 14 Гц. Объяснением этому может служить кинематика работы балансирной равноплечей тележки. Область оптимальных параметров определяется следующими интервалами: радиальная жесткость шин 350–500 кН/м, коэффициент неупругого сопротивления шин 45–55 кН·с/м, жесткость демпфирующих элементов грузовой платформы 1900–2050 кН/м, соответствующий коэффициент неупругого сопротивления 75–90 кН·с/м и продольная база погрузочно-транспортной машины 5,3–5,8 м.

Рекомендуемые значения жесткости и коэффициента неупругого сопротивления снижают величину средних квадратичных значений динамических реакций мостов в среднем на 13–25%.

Формализация работы манипуляторной погрузочно-транспортной машины с учетом технических и технологических отказов

Клоков Д. В.¹, Ермалицкий А. А.²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Белорусский национальный технический университет

Целью теоретических исследований являлось установление рациональных режимов работы погрузочно-транспортных машин (ПТМ), агрегатированных гидроманипулятором. Разработанная модель базируется на применении теории массового обслуживания, критериев вероятностей состояний и позволяет определять: оптимальную продолжительность подачи рабочего органа к предмету труда, а также оптимальные сроки восстановления работоспособности шасси, двигателя, технологического оборудования и гидравлической системы машины в производственных условиях (рисунок).

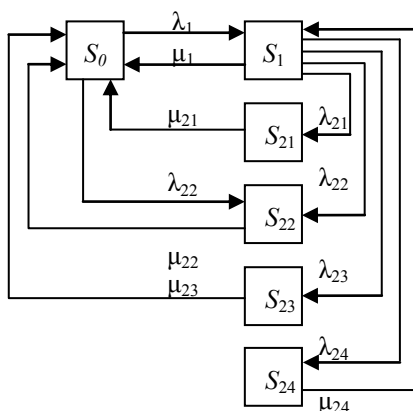


Рисунок. Схема состояний системы ПТМ

Соответствующая формализация осуществлена на примере работы форвардера с учетом следующих состояний системы: S_0 – машина исправна (простаивает или совершает холостой ход с погрузочного пункта на песку), но не производит сбор, транспортировку (подвозку), выгрузку и подсортировку сортиментов; S_1 – машина исправна, осуществляет сбор, транспортировку, выгрузку и подсортировку сортиментов; S_{21} – отказ ходовой части; S_{22} – отказ двигателя; S_{23} – отказ технологического оборудования (манипулятора, грейферного захвата); S_{24} – отказ гидросистемы.

Выбор современных средств механизации земляных работ при прокладке коммуникаций

Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время существует большое множество видов коммуникаций для водо-, газо- и электроснабжения, канализации, транспортирования агрессивных сред (присутствие значительных объемов кислот, щелочей и т.п.), а также кабели связи, нефтепроводы, продуктопроводы и др. Широко распространенным видом коммуникаций в последние годы стали полиэтиленовые трубы, что в свою очередь вызывает потребность в соответствующих средствах механизации для их прокладки в грунте.

Для выполнения такого рода задач применяются 2 метода: бестраншейная и траншейная прокладка.

Самыми распространенными методами закрытой прокладки являются:

- горизонтально-направленное бурение (ГНБ) с помощью буровых штанг;
- метод управляемого прокола для труб небольшого диаметра. Основной частью установки для выполнения этого метода является силовой гидроцилиндр, входящий в состав гидравлической станции, приводимой в действие бензиновым двигателем;
- бурошнековое бурение – это бестраншейная технология прокладки труб диаметром от 100 до 1500 мм с помощью гидравлической домкратной установки, которая оборудована вращающимся режущим инструментом и шнековым механизмом;

Для разработки грунта и образования траншеи используются машины активного действия (отделение грунта от массива осуществляется в основном за счет энергии, реализуемой на рабочем органе) – экскаваторы траншейные роторные и цепные, землеройно-фрезерные машины, одноковшовые экскаваторы пассивного действия (разработка грунта осуществляется благодаря тяговому усилию, развиваемую движителем) – машины с рабочим органом плужного и ножевого типов.

Выбор той или иной машины зависит от роста показателей их экономической эффективности (энергоёмкость, материалоемкость, удельные затраты на единицу продукции). Рост этих показателей доказывает целесообразность применения машин пассивного действия (например, в сравнении с одноковшовыми экскаваторами, удельные приведенные затраты в 4-8 раз меньше). Из рассматриваемых машин такого типа наиболее целесообразной является специальная для бестраншейной прокладки ножевым трубозаглубителем.

К перспективам использования резиноармированных гусениц в дорожно-строительной технике

Замула А.А.

Белорусский национальный технический университет

Многие зарубежные фирмы расширяют рынки сбыта тракторов, комбайнов, а также других технических и транспортных средств, оборудованных ходовыми системами с резиноармированными гусеницами (РАГ). Это связано с тем, что применение этих машин приводит к снижению на 25-35% плодородности почвы вследствие её переуплотнения, а уплотнение почвы колёсными тракторами – к уменьшению до 55% урожая. В конструкции ходовых систем машин наиболее широкое применение получили РАГ с закладными элементами, снабжёнными цевками и направляющими ребордами для зацепления гусеницы с ведущим зубчатым колесом.

По сравнению с колёсной техникой снижаются уровень среднего удельного давления на почву, степень её уплотнения и разрушения. Кроме того, применение переоборудованного комбайна или трактора способствует уменьшению техногенного воздействия на почву и буксования, а также повышению производительности и улучшению тягово-сцепных свойств.

Применение РАГ в ходовых системах уборочно-транспортных машин обеспечивает:

- 1) повышение проходимости на почвах с низкой несущей способностью;
- 2) исключение повреждения дорог и почв;
- 3) снижение уровня максимального давления и уплотняющего воздействия на почву в 2,5 раза по сравнению с металлической гусеницей ($U = 73,1 \text{ кН/м}$), что ниже безопасного предела для почв ($U = 75 \text{ кН/м}$);
- 4) уменьшение значений вибронегативности узлов и агрегатов, что повышает срок службы ходовых систем и улучшает условия труда машиниста;
- 5) снижение трудоёмкости технического обслуживания ходовой системы из-за отсутствия вытяжки и стабильности центральной длины гусеницы;
- 6) отсутствие износа беговых дорожек опорных катков, поддерживающих роликов, направляющих колёс;
- 7) повышение ресурса работы до предельного состояния РАГ в 4–5 раз по сравнению с таковым у серийной металлической гусеницы.

Таким образом, основная часть дорожной, строительной и коммунальной техники может при необходимости комплектоваться двигателем с РАГ для повышения эффективности её работы.

К технологии и оборудованию для трамбования грунта

Замула А.А., Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Просадочные и насыпные грунты отличаются недостаточной несущей способностью. При строительстве на таких грунтах тяжелых многоэтажных зданий используют сваи. Однако для реализации свайных фундаментов необходимо создание и содержание специальных производственных мощностей. В итоге стоимость свайных фундаментов оказывается очень высокой. Для снижения затрат на строительство целесообразно прежде всего снижать затраты на нулевой цикл.

В процессе проведения научно-исследовательских и экспериментальных работ, было установлено, что после глубокого ударного трамбования грунта повышается его несущая способность. Следовательно, можно успешно возводить более дешевые ленточные и ленточно-столбчатые фундаменты. Однако широкого распространения в строительстве технология трамбования не нашла, так как значительно уступает по производительности сваебойному оборудованию.

Новым шагом в пользу технологии строительства на предварительно утрамбованном грунте явилось создание агрегата для глубокого трамбования грунта (далее – «агрегат»). В агрегате взамен падающей с большой высоты тяжелой трамбовки применена погружаемая в грунт тонкостенная оболочка с встроенным в нее гидropневматическим молотом, действующим от гидросистемы экскаватора. Тонкостенная оболочка имеет форму усеченного конуса высотой 3 м с нижним основанием диаметром 0,5 м и верхним основанием диаметром 0,9 м. Ударник молота под действием сжатого газа совершает рабочий ход со скоростью до 10 м/с. В конце рабочего хода ударник наносит удар по нижнему основанию оболочки через специальный буфер, который, с одной стороны, ограничивает ударный импульс, предохраняя оболочку от разрушения, с другой стороны, – в десятки раз (по сравнению с жестким ударом) увеличивает время ударного воздействия на грунт. Длительность ударных импульсов может регулироваться в широком диапазоне. Благодаря этому можно подбирать оптимальные режимы трамбования грунтов с различными свойствами.

По сравнению с копровыми установками агрегат имеет в 10 раз большую производительность. При этом достигается значительный экономический эффект. Суммарная стоимость нулевого цикла уменьшается в 2–3 раза. Кроме того уменьшается сейсмическое воздействие на окружающую среду и практически полностью устраняются вредные выбросы в атмосферу.

**Совершенствование автоматизации управления
асфальтосмесительными установками**

Смоляк А.Н., Адамович Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость повышения качества асфальтобетонных смесей вызывает потребность в создании и внедрении более прогрессивных технологических процессов на базе современных средств автоматизации и управления, в первую очередь – с использованием средств пневмоавтоматики и вычислительной техники.

Совершенствование автоматизации управления технологическим процессом производства асфальтобетонных смесей учитывает принцип агрегирования, заложенный в конструкции асфальтосмесительных установок различных производителей.

Несмотря на применение при производстве асфальтобетонных смесей широкой гаммы агрегатов непрерывного действия при автоматизированном управлении их потенциальные возможности в части повышения качества смеси явно используются не полностью. Исследования по уменьшению ошибки дозирования в автоматическом режиме при использовании гравитационного питателя позволяют сделать вывод о возможности уменьшения вредного влияния ударной нагрузки на весовую систему и увеличения точности дозирования при использовании гравитационного питателя за счет выбора режима загрузки весового бункера. Точность дозирования в этом случае будет выше по сравнению с режимом досыпки одной порцией. Это объясняется тем, что возникают затруднения в подборе оптимального периода колебаний мультивибратора, который оказывается неодинаковым для различных затворов и зависит также от физико-механических свойств компонента. Кроме того, со временем изменяются тяговые характеристики силового пневмоцилиндра, поэтому заданный период колебаний может оказаться большим или недостаточным. В первом случае затвор откроется на большее, чем требуется, время и произойдет избыточное дозирование. Во втором случае времени импульса на открытие затвора будет недостаточно, и дозирование не осуществится. В целом ступенчатая досыпка от мультивибратора приводит к повышенному износу оборудования за счет добавочных операций, общий цикл дозирования значительно увеличивается. Эффективность повышения уровня автоматизации систем управления асфальтосмесительными установками может быть достигнута только при комплексном подходе к созданию и внедрению в производство соответствующего оборудования на базе элементов пневмоавтоматики и цифровой микроэлектроники отечественных производителей и передовых зарубежных фирм.

Расчетная схема вибрационно-осциллирующего катка

Шавель А.А.

Белорусский национальный технический университет

Для вибрационно-осциллирующего катка построена динамическая модель и составлена расчетная схема его движения, изображенная на рисунке 1.

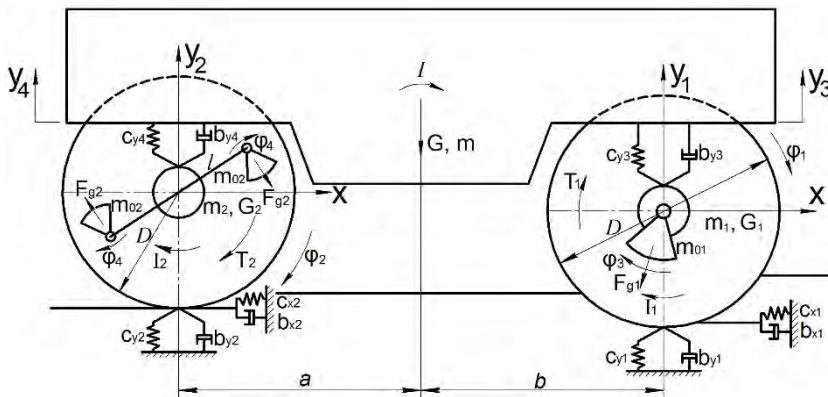


Рисунок 1. Расчетная схема вибрационно-осциллирующего катка

На рисунке 1 обозначены: I_1 – момент инерции вибрационного вальца; I_2 – момент инерции осциллирующего вальца; I – момент инерции остова катка относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести; m , m_1 , m_2 – массы соответственно остова катка, вибрационного и осциллирующего вальцов; m_{01} , m_{02} – массы соответственно дебалансов вибрационного и осциллирующего вальцов; G , G_1 , G_2 – веса соответственно остова катка, вибрационного и осциллирующего вальцов; $F_{д1}$, $F_{д2}$ – амплитуда вынуждающей силы соответствующих дебалансов; T_1 , T_2 – крутящие моменты, приложенные извне к вибрационному и осциллирующему вальцам; c_{xi} , c_{yi} – коэффициенты линейной жесткости; b_{xi} , b_{yi} – коэффициенты линейного сопротивления; x – продольное перемещение катка; y_i , φ_i ($i=1\dots 4$) – обобщенные координаты соответствующих масс катка; a , b , l , D – геометрические параметры катка.

Решая систему уравнений, описывающих указанную расчетную схему, можно найти частоты собственных колебаний, амплитуды резонансных колебаний, провести исследование влияния технических характеристик катка и параметров движения вальцов на эффективность уплотнения материала катком.

Некоторые тенденции в проектировании механизмов подъема современных кранов

Передня Л.И., Шавель А.А.

Белорусский национальный технический университет

Виды соединений барабана с редуктором оказывает существенное влияние на конструктивные и эксплуатационные характеристики механизма подъема. В конструкции механизма подъема, в которой выходной вал редуктора, выполненный в виде отдельного механизма, является в то же время валом барабана и жестко с ним соединен, требуется обеспечить строгую соосность опоры барабана с осью тихоходного вала редуктора. В процессе эксплуатации под действием нагрузок на барабан монтажная точность не обеспечивается, что приводит к нарушению правильности зацепления зубчатых передач, дополнительному нагружению выходного вала редуктора изгибающим моментом, что нередко приводит к поломке вала. Конструкция механизма подъема, в которой выходной вал редуктора соединяется с барабаном при помощи компенсирующей зубчатой муфты, позволяет избежать вышеуказанный недостаток.

При всем многообразии конструктивных решений механизмов подъема современных стреловых самоходных кранов, выпускаемых различными производителями, наблюдается тенденция к применению более сложных, но компактных конструкций. Такие конструкции включают в себя одно, двух и трехступенчатые дифференциальные механизмы.

В многоступенчатых механизмах тихоходная ступень, как правило, располагается между двигателем и быстроходной ступенью. Такая компоновка упрощает конструкцию корпуса, так как невращающееся водило тихоходной ступени выполнено за одно целое с торцевой крышкой корпуса, в которой располагается многодисковый гидроуправляемый тормоз.

Структурные формулы многоступенчатых передач механизмов подъема в соответствии с [1] имеют следующий вид:

$$A_{h_1 a_1}^{b_1} \cup A_{h_2 a_2}^{b_2} ; A_{h_1 a_1}^{b_1} \cup A_{h_2 a_2}^{b_2} \cup A_{h_3 a_3}^{b_3} ;$$

$$(AA)_{(b_1 b_2) a_2}^{h_1} ; (AAA)_{(b_1 b_2 b_3) a_3}^{h_1} \text{ и др.}$$

Особенность компоновки многоступенчатых передач является то, что они заключены в одном корпусе, в виде редуктора, встроенного во вращающийся барабан механизма подъема. Этот барабан одновременно служит ведомым элементом (соответствующим тихоходным валом).

Литература:

1. Планетарные передачи: справочник / Под редакцией В.Н. Кудрявце-

ва и Ю.М. Кирдяшева. – Л.: Машиностроение, 1977.

УДК 69.05-82

Повышение конкурентоспособности геолого-диагностических машин для строительства высотных зданий в Беларуси

Смоляк А.Н., Рудой В.С., Сенкевич Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Захождение в глубокие недра земли в соответствии с современными технологиями проведения геолого-диагностических работ в Беларуси требует серьезного подхода к усовершенствованию конструкций соответствующих горных машин.

Для повышения производительности бурильно-крановую установку целесообразно обеспечить системой автоматического управления рабочим оборудованием и автоматического отсчета показаний: контроль скорости вращения, подачи бурового инструмента, количество ударов (при динамическом способе диагностики) на единицу длины заглубления инструмента.

Исследование процессов динамики зондирования горных пород позволили модернизировать рабочее оборудование геолого-диагностических машин, применяемых в Беларуси, и осуществить переход от традиционного ударно-канатного метода на ударный с гидростатическим приводом, базирующийся на элементах объемного гидропривода отечественного производства.

Повышение автоматизации управления рабочим оборудованием рассматриваемых машин позволяет контролировать скорость вращения и подачу бурового инструмента, что в свою очередь практически исключает процесс смешивания слоев грунта, искажающий диагностические показания.

Анализ гистограмм нагрузочных режимов объемных гидроприводов рабочего оборудования геолого-диагностических горных машин позволяет сделать вывод о необходимости исполнения конструктивных решений гидроаппаратов, характеризующихся плавно изменяющимся расходом на выходе.

Автоматическая система управления гидроприводом универсальной геолого-диагностической машины, базирующейся на шасси отечественного производства и включающей несколько видов рабочего оборудования для статического и динамического исследования грунтов на глубину более 50 м, позволяет определить показатели сопротивления пластов по глубинам, считываемые специальными электронными устройствами. Полученные данные в электронном виде передаются геологам для дальнейшей обработки при камеральных инженерно-геологических работах.

**Современные методы неразрушающего контроля
металлоконструкций грузоподъемных машин**

Волосевич Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Неразрушающий контроль сварных конструкций направлен на выявление трещин в сварных швах и основном металле, возникших в процессе их эксплуатации и является одним из важнейших способов получения информации о надежности конструкции, для определения остаточного ресурса.

В настоящее время конструктивные элементы металлических конструкций часто покрывают антикоррозийным защитным слоем, что позволяет существенно увеличить их срок службы, периоды между техническим обслуживанием и функциональность. Но защитный слой из органических (эпоксидная смола, полиуретан и т.д.) или металлических (цинк и др.) материалов может оказывать отрицательное воздействие тогда, когда на поверхности конструктивного элемента возникают усталостные трещины, скрытые под защитным слоем. Существующие методы неразрушающего контроля, такие как ультразвуковой, радиографический, капиллярная дефектоскопия, магнитопорошковая дефектоскопия, визуальный осмотр имеют довольно ограниченную применимость при наличии покрытия определенной толщины. В случае довольно толстых слоев, имеющих место на практике, возможно применение лишь метода вихревых токов, но он предполагает гладкую поверхность сварного соединения, что является редкостью для стальных конструкций.

Предлагается рассмотреть новый метод неразрушающего контроля, который позволяет обнаруживать поверхностные трещины даже под плотными слоями покрытия. Он называется UCET (Under Coating ET, метод вихревых токов под покрытием). Используется небольшой вихретоковый дефектоскоп, с применением датчика особой конструкции. Для контроля сварного соединения его приводят в соприкосновение с поверхностью детали и затем перемещают вдоль или поперек по контролируемой поверхности. В случае отсутствия дефектов на экране появляется стрелка, что может рассматриваться как «отношение сигнал-шум», а при наличии трещины возникает хорошо различимый сигнал, ориентированный в направлении дефекта. Метод UCET может применяться для сварных соединений, выполненных в потолочном положении или с обратной стороны основного материала. Также при этом методе контролируемая поверхность не требует никакой особой подготовки, что значительно сокращает затраты на контроль и диагностику.

Перспективы развития автомобильных кранов-манипуляторов

Волосевич Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Механизация процесса разгрузки или погрузки осуществляется благодаря использованию автомобильных кранов-манипуляторов. Автомобиль с краном-манипулятором – это грузовик, который оснащен крано-манипуляторной установкой (гидроманипулятором).

Многие отрасли народного хозяйства практически не смогли бы эффективно работать без кранов-манипуляторов. Они превосходно показали себя при ведении складского хозяйства, при ремонтно-восстановительных работах, а также в области перевозки техники, грузов и строительных материалов.

Эффективность данной машины состоит в возможности использовать только одну единицу спецтехники в тех случаях, когда традиционно используется две единицы: подъемный кран и автотранспортное средство. Более того, так как крано-манипуляторная установка монтируется на базовом шасси единым агрегатом посредством опорной плиты, ее можно переносить с шасси на шасси в зависимости от условий работы. Например, с прочного, но медленного и «прожорливого» гусеничного на легкое, но быстрое и экономичное колесное, что приводит к экономии топлива, сокращению расходов на обслуживание и содержание парка спецтехники, суммарному уменьшению часов ее работы.

Для расширения функциональности гидроманипуляторов используют различное вспомогательное оборудование: ротаторы, вилочные подхваты, ковши, захваты и грейферы, разрабатываемые для каждого вида грузов с учетом его специфики.

За последние 30 лет произошло увеличение максимальной и минимальной грузоподъемностей кранов-манипуляторов, а также наблюдается тенденция повышения вылета стрелы для увеличения высоты подъема груза и радиуса действия грузоподъемного крана.

Для дальнейшего развития кранов-манипуляторов необходимо двигаться в основных направлениях, которыми являются: совершенствование конструкций грузоподъемных кранов; улучшение удельных показателей (металлоёмкости, энергозатрат, стоимости); совершенствование гидропривода на основе выбора номинального давления гидросистемы 25-32 Мпа; применение легированных сталей для уменьшения массы кранового оборудования; совершенствование систем безопасности; применение систем для радиоуправления крано-манипуляторной установкой; расширение номенклатуры вспомогательного оборудования.

Эргономические характеристики рабочего места машиниста дорожного катка

Солдатенко Е.Г., Прохоцкая О.А.

Белорусский национальный технический университет

В современном строительстве при проведении работ широко используются механизированные катки, конструкция которых постоянно модернизируется. При разработке новых моделей машин совершенствуются такие показатели как производительность, экономичность, безопасность, качество выполняемых работ и эргономичность, которая является одним из важных показателей [1].

Работа посвящена эргономическим характеристикам рабочего места машиниста, которые были рассмотрены на примере вибрационного самоходного двухвального катка «АМКОДОР 6223В».

Спецификой работы такой машины являются возвратно-поступательные движения с плохой видимостью фронта работ. В работе проанализированы зоны визуального наблюдения и зоны досягаемости с учетом стандартов. При проектировании рабочего места машиниста необходимо учитывать три зоны досягаемости: «очень часто» используемые органы управления – зона 1; «часто» используемые – зона 2; «редко» используемые – зона 3, а также 3 зоны визуального контроля пространства: 1 – наиболее благоприятна; 2 – вызывает напряжение движением глаз; 3 – связана с движением глаз и головы. Вне этих зон требуется перемещение человека, что ведет к нежелательным затратам времени и ухудшению состояния машиниста [2].

Рассмотрена актуальность устройства поворотного механизма кресла водителя. Цель нововведения – обеспечение изменения положения кресла машиниста относительно пультов управления, с возможностью принудительного перемещения в горизонтальной плоскости.

Модернизация машин строительного комплекса открывает новые возможности повышения эффективности, безопасности, производительности и качества труда, расширяет технологические возможности машин.

Работа выполнена под руководством к.т.н., доцента Трофимова С.П.

Литература:

1. Зинченко, В.П. Основы эргономики / В.П. Зинченко, В.М. Мунипов. – М.: МГУ, 1979. – 344 с.
2. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: ГОСТ ССБТ 12.2.032–78. – Введ. 01.01.1979. – М.: ИПК Издательство стандартов: Государственный комитет СССР по стандартам, 2001. – 9 с.

Техническое нормирование систем аспирации в деревообработке

Трофимов С.П.

Белорусский государственный технологический университет

Системы аспирации и пневмотранспорта (САП) – важный компонент технического обеспечения деревообработки. Функции САП: удаление измельченных отходов обработки от мест образования и транспортирование в пункт накопления для последующего использования или отгрузки; обеспечение нормальной работы технологического оборудования и надлежащих условий труда.

Преимущества САП: автоматизация удаления измельченных отходов; компактность элементов; допустимость сложной трассировки; простота изготовления, управления и регулирования; высокая производительность; возможность единой системы транспортного обеспечения; небольшие затраты на монтаж, ремонт и обслуживание.

Недостатки САП: значительные энергозатраты на привод вентиляторов и теплотери с удаляемым воздухом в отопительный период; повышенная (в некоторых производствах) взрывопожарная опасность, выбросы в атмосферу: шум. Недостаточная эффективность установок может быть причиной ухудшения условий труда, работы оборудования и снижения качества продукции.

Централизованные САП измельченных отходов, преобладающие на предприятиях, требуют индивидуального проектирования с учетом состава, режима работы обслуживаемого оборудования и условий конкретных производств.

В БГТУ совместно с БНТУ и рядом специалистов других организаций и предприятий был выполнен комплекс работ по сбору, анализу исходных данных и зарубежных нормативных документов, в результате чего разработан (впервые) ТКП 510–2014 «Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования».

ТКП предназначен для применения при проектировании САП в процессе строительства и реконструкции предприятий, модернизации установок и экспертизе проектов. Он содержит правила и технические нормы для САП низкого и среднего давления (до 10 кПа).

Введение ТКП и соблюдение устанавливаемых им технических требований должно способствовать повышению функциональной и энергетической эффективности, взрывопожарной и экологической безопасности САП и деревообрабатывающих производств. Разработка этого документа является актуальной не только для нашей страны, он не остался незамеченным и зарубежными поставщиками оборудования, что подтверждается интересом и замечаниями с их стороны при посещении крупнейшей отраслевой выставки «Ligna-2015» в Германии.

УДК 674:006: [621.928.9+621.867.8 621+338.583+614:84+310.8]

**Энергоэффективность и безопасность систем аспирации
пневмотранспорта в деревообработке, техническое нормирование
и инженерная подготовка за рубежом**

Трофимов С.П.

Белорусский государственный технологический университет

Одним из основополагающих принципов проектирования, эффективной, безопасной эксплуатации и контроля функционирования систем аспирации и пневмотранспорта (САП) измельченной древесины является техническое нормирование их рабочих параметров, которое базируется на результатах практического опыта и научно-исследовательских работ.

В процессе разработки ТКП 510–2014 «Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования», которая выполнялась впервые в СНГ, проведен анализ содержания нормативных документов Евросоюза (ЕС), США и СНГ в данной области. В ЕС разработку технических норм проектирования и эксплуатации САП в деревообработке осуществляет технические комитеты CEN/TC. Были рассмотрены EN 12779:2004+A1:2009 «Sicherheit von Holzbearbeitungsmaschinen – Absauganlagen für Holzstaub und Späne – Sicherheitstechnische Anforderungen und Leistungen», EN 14491:2012 «Dust explosion venting protective systems» и директива «Directive 94/9/EC Atex 95 «Equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres», а также ряд других документов актуальных в условиях импорта зарубежного оборудования. В США Национальной ассоциацией пожарной безопасности разработаны также нормативные документы, имеющие отношение к САП в деревообработке: NFPA 664 «Standard for the prevention of fires and explosions in wood processing and woodworking facilities» и ряд других.

В странах СНГ в настоящее время практически отсутствуют специальные технические правовые акты, устанавливающие требования к проектированию САП. Строительные нормы и правила, противопожарные и экологические нормы содержат лишь отдельные фрагменты указаний, обычно без привязки к деревообработке. В докладе содержится также анализ организации и уровня подготовки специалистов в нашей стране за рубежом. Введение разработанного ТКП будет способствовать повышению уровня проектирования САП, контроля состояния действующих установок и мероприятий по их модернизации. Практическое применения технических норм должно сопровождаться проведением дополнительных исследований, гармонизацией стандартов и улучшением подготовки специалистов в рассматриваемой предметной области.

Методы диагностирования лебедки лифта

Черепанов И.М., Манешкин Н.В., Игнатчик А.В.
Белорусский национальный технический университет

Отказы и неисправности узлов и деталей лебедки.

Редукторная лебедка как объект диагностирования представляет собой весьма сложную систему, состоящую из ряда функциональных узлов. Внедрение системы технического диагностирования функциональных узлов лебедки на стадии изготовления, ремонта и в условиях эксплуатации позволит своевременно прогнозировать возможную неисправность и предотвратить наступление аварийной ситуации. Существенный интерес в связи с этим представляет разработка мобильного и достаточно простого в обращении комплекта для оперативного контроля технического состояния узлов лебедки.

Диагностика редукторов.

Работоспособность глобоидных редукторов, которые применяются на отечественных лифтах, определяется в значительной мере точностью сборки, качеством смазки зацепления червячной пары, состоянием подшипников, степенью износа зацепления, числом циклов нагружения и усталостной прочностью червяка. Износ зацепления может быть измерен следующим образом. Плавное вращение штурвала лебедки в обе стороны, определяют моменты касания червяка и червячного колеса. В эти моменты на тормозной шкив наносятся риски. После чего измеряют расстояние между рисками.

Диагностика канатоведущего шкива.

Одним из важных узлов лебедки является канатоведущий шкив (КВШ). Основными диагностическими параметрами канатоведущего шкива является неравномерность просадки тяговых канатов по ручьям и глубина радиального износа ручья. На практике используется метод естественных баз, который заключается в измерении глубины врезания каната в ручей и сопоставлении измеренной величины с начальной. Измерение глубины врезания каната в ручей осуществляется при помощи наборов специальных щупов, которые представляют собой металлические калиброванные пластины толщиной от 0,02 до 2 мм.

Остаточный срок службы КВШ лимитируется величиной износа наиболее изношенного ручья и может быть определен

$$T_0 = T_{\phi} \cdot (h_{\text{пр}}/h_{\phi} - 1)$$

где T_{ϕ} - срок эксплуатации канатоведущего шкива, $h_{\text{пр}}$ и h_{ϕ} - предельно допустимая и фактически измеренная величины износа соответственно.

Выбор параметров вариатора трансмиссии автомобиля при проектировании

Дыко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Вариаторы применяются в трансмиссиях автомобилей в качестве устройства для изменения (регулирования) передаточного отношения. Существуют следующие конструктивные виды вариаторов: торовые, клиноременные, цепные. Достоинства вариаторов: относительно большой диапазон регулирования и высокий к.п.д. во всем диапазоне, сравнительно простое изготовление, несложно автоматизировать управление ими. Недостатки: износ контактных поверхностей пар трения, ограниченный срок службы, необходимы большие усилия для изменения передаточного отношения вариатора.

При расчете вариаторной передачи следует учитывать ее геометрические параметры, обеспечивающие требуемый диапазон регулирования, к.п.д. и тяговую способность передачи, ресурс цепи.

Порядок проектного расчета цепного вариатора:

выбираем минимальное и максимальное передаточные отношения вариатора;

определяем его диапазон регулирования;

рассчитываем минимальную и максимальную частоты вращения выходного вала вариатора;

находим отношения минимальных и максимальных диаметров шкивов;

определяем относительную ширину цепи и допустимое полезное напряжение в ней;

рассчитываем минимальный диаметр ведущего шкива, другие диаметры обоих шкивов и уточняем действительный диапазон регулирования вариатора;

определяем минимальные высоту и ширину цепи, а также максимальные скорости цепи на ободах шкивов;

находим минимальное расстояние между осями шкивов, длину цепи и число ее звеньев;

уточняем длину цепи и межосевое расстояние;

определяем внутренний диаметр шкивов и зазор между полушкивами.

Способы экономии электроэнергии приводных электрических машин строительных механизмов

Счастливая Е. С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных способов сокращения непроизводительного расхода энергии в строительстве является рациональное использование электроэнергии в электрическом приводе.

В основном, в строительстве эксплуатируются нерегулируемые электроприводы на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АДКР): бетоно- и растворосмесительные насосы, транспортеры, вентиляторы, компрессоры и др. Экономия энергии может быть достигнута как в самом электроприводе, так и при реализации нормального технологического обслуживания этих двигателей различными способами. Одним из способов уменьшения суммарных потерь активной мощности в электрической сети и двигателе является замена незагруженных электродвигателей электродвигателями меньшей мощности. Эти потери можно определить по формуле:

$$\Delta P_{\Sigma} = [Q_X(1 - K_H^2) + K_H^2 Q_H] K_{\Sigma} + \Delta P_X + K_H^2 \Delta P,$$

где $Q_X = \sqrt{3} U_H I_X \sin \varphi_X$ – реактивная мощность, потребляемая двигателем при холостом ходе, квар;

$K_H = P/P_H$ – коэффициент нагрузки двигателя;

$Q_H = \frac{P_H}{\eta_H} \operatorname{tg} \varphi_H$ – реактивная мощность двигателя при номинальной нагрузке, квар;

$K_{\Sigma} = 0,1 - 0,15$ – коэффициент потерь, кВт/квар;

$\Delta P_X = \sqrt{3} U_H I_X \cos \varphi_X$ – потери активной мощности при холостом ходе двигателя, кВт;

$\Delta P = P_H \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) \left(\frac{1}{1 + \gamma} \right)$ – прирост потерь активной мощности в электродвигателе при возрастании нагрузки до номинальной, кВт;

$\gamma = \frac{\Delta P_{X, \%}}{(100 - \eta_H, \%) - \Delta P_{X, \%}}$ – расчетный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя;

$\Delta P_{X, \%} = \frac{\Delta P_{XX}}{P_H} 100\%$ – потери холостого хода в процентах от активной мощности, потребляемой двигателем при номинальной нагрузке.

Значение $\sin \varphi_X$ можно определить по коэффициенту мощности двигателя на холостом ходу $\cos \varphi_X$. Средние величины токов холостого хода I_X двигателей и $\cos \varphi_X$ определяются из опыта холостого хода конкретного двигателя.

Содержание

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	70
Экономика и организация энергетики	109
Энергетическое строительство	127
Энергоэффективные технологии	184
Информационные системы и технологии	197
Информационные технологии и автоматизация	224
Металлургические технологии	295
Литейное производство чёрных и цветных металлов	303
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	318
Обработка материалов давлением	347
Новые материалы и технологии в машиностроительной и космической отрасли	361
Материаловедение в машиностроении	376
Теория механизмов и машин	406
Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент	415
Экономика и организация машиностроительного производства	431
Горные машины	455
Строительные и дорожные машины	474

Научное издание

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

Материалы 13-й Международной
научно-технической конференции
(68-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных работников, докторантов
и аспирантов БНТУ)

В 4 томах

Том 1

Ответственный за выпуск В.С. Лазарев

Подписано в печать 15.10.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 29,35. Уч.-изд. л. 22,95. Тираж 100. Заказ 744.

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.