

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

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

**Материалы 14-й Международной
научно-технической конференции
(69-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных работников, докторантов
и аспирантов БНТУ)**

В 4 томах

Том 1

**Минск
БНТУ
2016**

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 14-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (69-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ), тематика которых посвящена актуальным проблемам современной науки.

ISBN 978-985-550-918-0 (Т.1)

ISBN 978-985-550-922-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2016

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

Моделирование вторичных цепей дифференциальных защит в среде Simulink Matlab

Артёменко К.И.

Белорусский национальный технический университет

Современные микропроцессорные дифференциальные защиты фильтруют сигнал от токовых цепей измерительных трансформаторов перед их подачей в аналого-цифровой преобразователь. Из всего многообразия сигналов остаётся только основная гармоника – на неё и реагирует защита. В ходе моделирования поведения дифференциальной защиты получен гармонический состав токов в её цепях. В таблице 1 представлены значения токов основной гармоники (50 Гц) трёх характерных для защиты режимов – внутреннего короткого замыкания, внешнего короткого замыкания и броска тока намагничивания.

Таблица 1 – Амплитуды токов во вторичных цепях дифзащиты

| Вид ненормального режима | Ток фазы А, А | Ток фазы В, А | Ток фазы С, А |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Бросок тока намагничивания | 9,94 | 10,73 | 4,36 |
| Внешнее КЗ | 28,15 | 17,32 | 34,99 |
| Внутреннее КЗ | 89,31 | 99,02 | 78,4 |

Если сравнить наибольший ток внешнего короткого замыкания и наименьший ток внутреннего, то последний всё равно будет больше первого в 2,25 раза. Таким образом, правильный и грамотный выбор тока срабатывания защиты позволит дифференциальной защите работать селективно – срабатывать при коротком замыкании в зоне действия и не срабатывать при внешнем, а также избавиться от ложных срабатываний – при включении трансформатора на холостой ход. По первому условию нужно отстроиться от тока небаланса, по второму условию – отстроиться от броска тока намагничивания. По результатам, полученным в ходе трёх вычислительных экспериментов, видно, что продольная дифференциальная защита будет срабатывать только при внутреннем коротком замыкании, а в остальных случаях – нет.

Математическое моделирование электродинамической стойкости гибких шин открытых распределительных устройств с учетом новых конструктивных элементов, начальных и краевых условий

Сергей И.И., Потачиц Я.В.

Белорусский национальный технический университет

При токах КЗ более 40 кА механические усилия и смещения проводов могут оказывать решающее влияние на конструктивное выполнение гибкой ошиновки как с одиночными проводами, так и с расщепленными фазами. В связи с этим возникла необходимость разработки и использования новых конструктивных элементов, повышающих электродинамическую стойкость гибких шин открытых распределительных устройств.

Одним из таких элементов является демпфер тяжения (рисунок 1). Демпфер устанавливается между порталом и гирляндой изоляторов и ограничивает передачу нежелательных усилий на порталы.

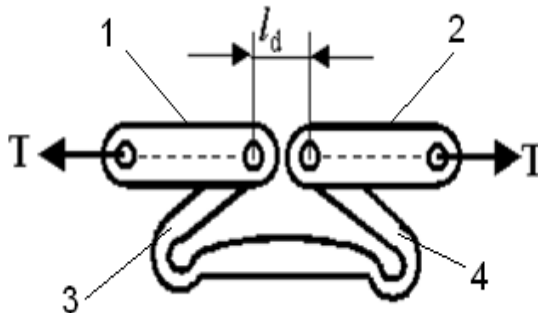


Рисунок 1 – Принципиальная схема демпфера

Под действием сил тяжения провода при КЗ происходит разгибание звена 1 демпфера. В это же время звено 2 находится в исходном положении, т. к. силы тяжения провода и звено 2 находятся на одной оси. Основная нагрузка от вектора тяжения направлена на звено 3 и действует на его изгиб.

Праграма ТК315 для разліку токаў кароткага замыкання

Бобка М.М., Гаўрыелак Ю.В.
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

На кафедры «Электрычныя станцыі» БНТУ працяглы час выкарыстоўваецца праграма ТКЗ для разліку токаў кароткага замыкання, арыентаваная на прымяненне ў навучальным працэсе для студэнтаў электраэнергетычных спецыяльнасцей. У аснову алгарытму пакладзена матэматычная мадэль на аснове вузлавых напружанняў. Разлік несіметрычных кароткіх замыканняў выконваецца метадам сіметрычных складовых. У схемах замяшчэння прамой, адваротнай і нулявой паслядоўнасцей спачатку разлічваюцца вузлавыя напружання, а затым токі ў галінах схем замяшчэння. Параметры схем замяшчэння разлічваюцца карыстальнікам праграмы і затым уводзяцца ў ЭВМ ў якасці ўваходных дадзеных. У гэтай праграме схемы замяшчэння прамой і нулявой паслядоўнасцяў павінны тапалагічна супадаць.

Аднак для ўліку ўзаемнай індуктыўнасці паміж лініямі электраперадачы схемы замяшчэння прамой і нулявой паслядоўнасцяў такіх ліній тапалагічна не супадаюць. Па гэтай прычыне быў распрацаваны новы варыянт праграмы з назвай ТК315, у якім схемы замяшчэння прамой і нулявой паслядоўнасці могуць мець розную канфігурацыю. У выхадны файл праграмы ТК315 выдаюцца звышпераходныя дзеючыя значэнні сумарных токаў кароткага замыкання у зададзеных вузлах разліковай схемы, якія выкарыстоўваюцца для выбару камутацыйнай апаратуры. Таксама можа быць выведзена размеркаванне токаў прамой, адваротнай і нулявой паслядоўнасцей па галінах адпаведных схем замяшчэння, якое выкарыстоўваецца для разліку ўставак рэлейнай засцярогі.

Адначасова з гэтым былі ўведзены другія ўдасканаленні. Прадугледжаны ўвод схемы замяшчэння ў іменаваных або адносных адзінках. Схема замяшчэння прадстаўлена камплекснымі параметрамі, што дазваляе прымяняць праграму ТК315 для разліку токаў кароткага замыкання ў схемах напружаннем 0,4 кВ. Файл уваходных дадзеных забяспечаны тэкставымі каментарамі, што спрашчае фармаванне гэтага файла.

Компьютерные программы для расчетов тока короткого замыкания в энергосистеме

Гавриелок Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие энергосистем ведет к стремительному росту уровней токов КЗ, что предъявляет повышенные требования в отношении электродинамической и термической стойкости элементов электротехнических устройств энергосистем, а также коммутационной способности электрических аппаратов. Для правильного выбора электроэнергетических установок и коммутационных аппаратов необходимо знать уровни токов КЗ при замыканиях в различных точках энергосистемы и распределения этих токов по ветвям схемы.

Для решения данной задачи, зачастую, требуется провести большое количество расчетов. Задача значительно усложняется при увеличении количества элементов схемы, что соответствует развитию энергосистемы.

В общем случае определение мгновенного значения тока короткого замыкания очень сложная задача, так как требует решения больших систем дифференциальных уравнений. Однако для большинства практических целей достаточно знать сверхпереходные значения периодической составляющей тока КЗ.

Существует множество методов по расчету токов КЗ. Все они базируются на составлении и решении системы алгебраических уравнений, решением которой и будут значения токов в ветвях схемы. Этот фактор и обуславливает затруднения ручного расчета сложных энергосистем в виду большой размерности системы уравнений. Поэтому с распространением вычислительной техники были разработаны алгоритмы и компьютерные программы для расчетов токов КЗ, в которых общая задача расчета тока короткого замыкания сводится к двум более конкретным задачам: наиболее полное и точное определения параметров и конфигурации схемы замещения и наиболее простое и быстрое решение системы алгебраических уравнений.

Основным недостатком современных компьютерных программ для расчета токов КЗ является тот факт, что они разрабатываются на коммерческой основе, что в свою очередь приводит к высокой стоимости такого продукта.

УДК 378.141

**О подготовке студентов заочной формы получения образования
I ступени с сокращенным сроком обучения**

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

С 2015 года на энергетическом факультете возобновлен набор на подготовку специалистов высшей квалификации с сокращенным сроком обучения по специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение» (по отраслям) (срок обучения 4,5 года), а с 2016 года по специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» (срок обучения 4 года).

Кафедрами «Электроснабжение» и «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» БНТУ разработаны интегрированные со средним специальным образованием учебные планы I ступени высшего образования на базе планов специальностей 2-43 03 31 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования» (по направлениям), 2-43 01 03 «Электроснабжение» (по отраслям) и 2-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика». После окончания обучения, успешной сдачи государственного экзамена по специальности и защиты дипломного проекта в ГЭК, выпускники получают квалификацию инженера-энергетика по соответствующим специальностям и диплом общего образца.

Отличительные особенности этих планов: в качестве результатов текущей аттестации по ряду предметов, таким как «Химия», «Основы экологии», «Метрология, стандартизация и сертификация», «Охрана труда» и некоторым другим, засчитываются результаты аттестации по соответствующим предметам, изучаемым в ССУЗе. Таким же образом осуществляется перезачет по «Учебной» и «Технологической» практикам. Процедура засчитывания результатов аттестации выполняется деканатом факультета; для ряда естественно-научных, общепрофессиональных и специальных дисциплин объем преподавания в академических часах сокращен из-за того, что одноименные дисциплины изучались в ССУЗе.

При поступлении на сокращенный срок обучения абитуриенты – выпускники ССУЗов, с которым согласовывались интегрированные планы, должны пройти тестирование по русскому (белорусскому) языку и сдать два экзамена по специальным дисциплинам. Абитуриенты, поступающие на специальность 1-43 01 03 «Электроснабжение» (по отраслям), сдают экзамены по дисциплинам «Основы электротехники» и «Электроснабжение промышленных предприятий», а поступающие на специальность 1-43 01 05 – «Промышленная теплоэнергетика», «Основы теории теплообмена» и «Котельные установки промышленных предприятий».

Исследование чувствительности блокировок токовых защит трансформатора к броскам тока намагничивания

Ломан М.С.

ОАО «Белэлектромонтажналадка»

При бросках тока намагничивания (БТН) в силовых трансформаторах его токовые защиты могут срабатывать ложно. Для отстройки от указанных режимов в микропроцессорных токовых защитах применяют специальные блокировки. Недостатком известной блокировки по содержанию 2-й гармоники в токах фаз является её ложная работа при внутренних коротких замыканиях (КЗ), сопровождающихся насыщением трансформатора тока, а также невысокая чувствительность к БТН.

Предложен новый способ блокировки, основанный на оценке отношения тока 2-й гармоники прямой последовательности $I_{2пр}$ к току 1-й гармоники обратной последовательности $I_{1обр}$. Контроль уровня тока 1-й гармоники прямой последовательности позволяет отличать режим БТН от внутреннего КЗ.

Исследование выполнено методом вычислительного эксперимента. Для формирования входных сигналов использована математическая модель понижающего трансформатора, разработанная на кафедре «Электрические станции» БНТУ.

Предложен и исследован новый способ блокировки токовых защит при БТН.

Величина параметра блокировки $I_{2пр}/I_{1обр}$ не зависит от мощности трансформатора, а зависит от уровня и фазы питающего напряжения в диапазоне 90–110% от номинального. При этом наименьшее значение $I_{2пр}/I_{1обр}$ практически не зависит от напряжения и находится на уровне 67–69 %. Чувствительность параметра блокировки $I_{2пр}/I_{1обр}$ в 1,6–5,0 раза выше чувствительности пофазной блокировки по содержанию 2-й гармоники; на отдельных участках находится на уровне чувствительности перекрестной блокировки по содержанию 2-й гармоники, а на отдельных участках – существенно выше её. Таким образом, параметр блокировки $I_{2пр}/I_{1обр}$ обладает большей стабильностью и более эффективен для обнаружения БТН, чем параметр перекрестной блокировки.

Предлагаемый способ блокировки может быть применен в микропроцессорных токовых защитах трансформаторов.

**Новые алгоритмы работы токовых защит линий
электропередачи распределительных сетей**

Романюк Ф.А., Шевалдин М.А.

Белорусский национальный технический университет

Линии электропередачи используются для связи объектов энергетики с потребителями электроэнергии. В Белорусской энергосистеме для защиты линий электропередачи распределительных сетей 6–35 кВ от междуфазных коротких замыканий используются токовые защиты со ступенчатыми характеристиками выдержек времени. Недостатками данных устройств являются большие выдержки времени некоторых ступеней защиты, выбираемыми по ступенчатому принципу, а также недостаточная их чувствительность в некоторых режимах работы энергосистемы.

Указанные недостатки не являются характерными для двухступенчатой токовой защиты с зависимой характеристикой выдержки времени [1]. Принцип работы такой защиты основан на использовании информации о виде и месте повреждения.

Выполнено исследование с помощью вычислительного эксперимента различных вариантов исполнения токовых защит линий электропередач распределительных сетей [2]. В качестве базового варианта для сравнения выбрана традиционная трехступенчатая токовая защита. Альтернативными вариантами предложены односистемная токовая защита с комбинированной характеристикой и двухступенчатая токовая защита, не использовавшиеся ранее на реальных объектах Белорусской энергосистемы.

В процессе исследования выявлено, что токовые защиты с новыми алгоритмами работы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными трехступенчатыми токовыми защитами. В то же время отмечено, что двухступенчатая токовая защита обеспечивает полноценное ближнее резервирование и имеет более простой алгоритм работы по сравнению с токовой защитой с комбинированной характеристикой выдержки времени.

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.

2. Шевалдин, М.А. Исследование двухступенчатой токовой защиты линий электропередачи распределительных сетей / М. А. Шевалдин // Энергетика и ТЭК: Ежемесячный научно-производственный журнал. – 2015. – №11. – с. 20–24.

Румянцев В.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Каналы тока микропроцессорных защит имеют разнообразные схемы построения в зависимости от назначения и исполнения самих защит, однако минимальный набор блоков всегда присутствует в любом измерительном органе [1].

Структура модели токового канала фазы А микропроцессорной защиты, реализованная из библиотечных блоков системы MATLAB – Simulink, состоит из двух частей – аналоговой и цифровой (рисунок 1).

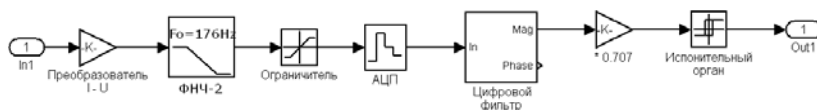


Рисунок 1 – Структура токового канала фазы А

К аналоговой части относятся:

- входной преобразователь, преобразующий вторичный ток ТТ в напряжение заданного уровня;
- антиалиасинговый фильтр нижних частот (ФНЧ) второго порядка;
- ограничитель входного сигнала аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Цифровая часть представлена следующими блоками:

- модель АЦП, с заданным квантованием по времени;
- цифровой фильтр, на выходе которого формируется напряжение, пропорциональное амплитудному значению основной гармоники вторичного тока;
- блок формирования действующего значения сигнала;
- исполнительный орган, в котором сравнивается уровень сигнала с уставкой и вырабатывается дискретный сигнал на отключение в случае превышения последней.

Литература

1. Романюк, Ф. А. Перспективные технологии реализации микропроцессорных защит линий распределительных сетей / Ф. А. Романюк, И. В. Новаш, В. Ю. Румянцев, Ю. В. Румянцев // В кн. Перспективные материалы и технологии: монография. В 2т. Т1/под ред. В. В. Клубовича. – Витебск; УО «ВГТУ», 215. – 398 с. стр. 115–139.

Румянцев Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Цифровые фильтры (ЦФ) предназначены для оценки параметров аварийных сигналов тока и напряжения. В большинстве современных устройств релейной защиты и автоматики используются ЦФ, реализующие в том или ином виде однопериодное дискретное преобразование Фурье, которое позволяет определять амплитудное значение основной гармоники сигнала. Основным недостатком данного фильтра является задержка в один период промышленной частоты при установлении истинного значения выходного сигнала. Данной особенности лишены быстродействующие ЦФ, в которых установление выходного сигнала сопровождается задержкой равной, в зависимости от реализации конкретного фильтра, нескольким периодам дискретизации (время между двумя соседними выборками аналогового сигнала).

Основным допущением при использовании быстродействующих ЦФ является предположение о том, что аварийные сигналы тока и напряжения имеют синусоидальную форму промышленной частоты.

В действительности оцениваемые аварийные сигналы (в большей степени сигналы тока) часто отличаются от идеализированных следующим образом: 1 – содержат экспоненциально затухающую апериодическую составляющую, 2 – имеют частоту отличную от номинальной и 3 – имеют искаженную форму вследствие насыщения измерительных трансформаторов тока. Данные особенности делают невозможным использование рассматриваемых быстродействующих фильтров в чистом виде.

Одним из путей устранения 1-ой особенности является использование предварительной фильтрации аварийных сигналов с целью исключения апериодической составляющей. Применение усредняющих фильтров сглаживающих выходной сигнал ЦФ позволяет минимизировать влияние 2-ой особенности. Правильное функционирование при 3-й особенности не обеспечивается ни одним из известных ЦФ.

Таким образом, применение в микропроцессорной релейной защите быстродействующих ЦФ совместно с вышеуказанными способами минимизации влияния особенностей аварийных сигналов является перспективным в рамках концепции «цифровой подстанции», где в качестве измерителей аналоговых величин тока и напряжения выступают нетрадиционные датчики, у которых в принципе отсутствует 3-я особенность.

УДК 621.315

Программный комплекс для расчета аварийных режимов треугольного трехфазного трансформатора

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

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

Новый программный комплекс (рисунок 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.

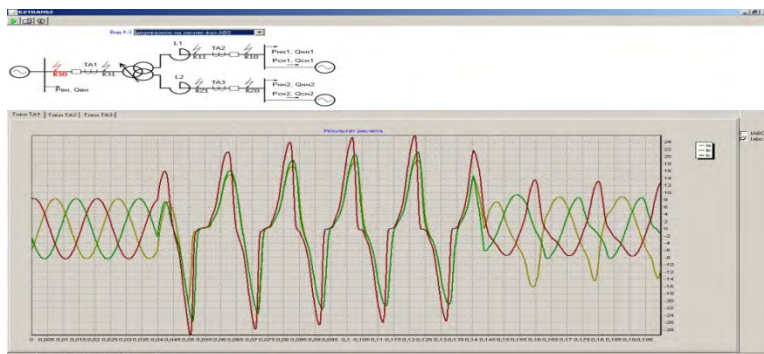


Рисунок 1 –Диалоговое окно программного комплекса

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, 2015 г. – 105 с.

**Справочное приложение по релейным и микропроцессорным
защитам для мобильных устройств**

Пономаренко Е.Г.¹, Семенчиков О.А.²
Белорусский национальный технический университет¹,
ОАО «Электроцентрмонтаж»²

В условиях информатизации современного общества особую важность приобретают умения самостоятельно извлекать информацию, получать ее, синтезировать, производить новую и распространять полученную. Работа с учебными мобильными приложениями предлагает разнообразные задания, гибкий график их выполнения; изучение предложенной информации, а также стимулирует поиски новой; организацию обратной связи; своевременный контроль и корректировку самостоятельной деятельности студента. Перечисленные возможности предполагают формирование у учащихся умения и желания самостоятельно учиться, создают условия для самостоятельного использования различных источников информации.

Опираясь на данные положения, в БНТУ было разработано мобильное приложение «Relay» по релейным и микропроцессорным защитам для организации самостоятельной работы студентов, основная цель которого заключается в проверке возможности, целесообразности и эффективности применения мобильных технологий в учебно-образовательном процессе.

Применение разработанного приложения и аналогов, подобных ему, в учебном процессе позволяет в ряде случаев быстрее донести полезную информацию до аудитории, минуя проблемы связанные с издательством бумажных носителей информации. Также удобство такого приложения становится очевидным в полевых условиях, когда отсутствует ноутбук, подключение к интернету. В этом случае выручит мобильный телефон с установленным приложением.

В приложении присутствуют справочные сведения по релейным и микропроцессорным защитам, их конструкции, методике расчета уставок. Приведены примеры расчета. Используя программные возможности можно произвести расчеты уставок релейной защиты линии с односторонним питанием и двухобмоточного трансформатора. По мере развития приложения туда будут встроены и новые расчетные модули.

С использованием приложения обучающийся может осуществлять самоконтроль знаний, используя встроенные в приложение тесты. Область использования мобильных устройств при обучении представляется весьма обширной и мобильное приложение «Relay», это лишь одна из первых попыток внедрения мобильных технологий в образовательный процесс.

**Влияние ориентации элементов жесткой ошиновки 10 кВ
на параметры ее электродинамической стойкости**

Шпаковский А.А.¹, Баран А.Г.², Климкович И.П.³

СООО «Гейм Стрим»¹

Белорусский национальный технический университет²

ГУО «Гимназия № 24 г. Минска»³

Рост токов короткого замыкания вызывает потребность в разработке новых конструкций электроустановок, обладающих повышенной электродинамической стойкостью. На стадии проектирования разработчик должен иметь возможность проверить принятые решения, и лишь затем экспериментальный образец должен быть подвергнут дорогостоящим испытаниям.

По разработанному на кафедре «Электрические станции» Белорусского национального технического университета математической модели [1] и компьютерной программе [2] явного метода расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки распределительных устройств 10 кВ проведено исследование влияния начального положения шинных конструкций.

Составлены семейства зависимостей изгибающих и растягивающих усилий на вершины изоляторов и максимального напряжения в материале шины, позволяющие конструктору оперативно принимать решения о целесообразности или не целесообразности планируемого пространственного расположения токоведущей шины и изоляционной конструкции. Или определения наиболее оптимального расположения токоведущей конструкции, при невозможности конструктивно ее пространственно сориентировать в изделии. Также полученные результаты позволяют оценить возможность дальнейшей эксплуатации существующих токоведущих конструкций при возросшем на объекте токе короткого замыкания.

Литература

1. Klimkovich Pavel, Shpakouski Anton, Baran Anastasiya, Klimkovich Ilya. Mathematical Modeling of Electrodinamic Forces in a Rigid Busbar Switchgear 6–10 kV During Short Circuit // 9th International Conference NEET-2015 / Zakopane, Poland, June 23–26, 2015. P. 64.

2. Климкович П.И., Шпаковский А.А., Баран А.Г. RigidBusbars – компьютерная программа расчета электродинамической стойкости токоведущих конструкций с жесткими произвольно расположенными проводниками // Актуальные вопросы энергетики восточноевропейского региона: материалы международной конференции, Минск, 21–23 октября 2014 г. / БНТУ. – Минск: БНТУ, 2015. – С. 129–131.

Возбуждение колебаний в электронной лаборатории

Бладыко Ю.В., Сороко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Электронная лаборатория Electronics Workbench [1] – наиболее популярная и эффективная программа для визуального моделирования электрических и электронных схем, обладающая дружелюбным интерфейсом. Наглядность и простота интерфейса программы облегчают работу с ней, в то же время у пользователя есть возможность наблюдения процессов, происходящих в реальной схеме и оперирования реальными измерительными приборами.

При использовании программы были обнаружены недостатки: в программе нельзя задать ненулевые начальные значения. Несмотря на заявленную возможность задания начальных условий (Analysis Options -> Initial conditions -> User-defined), в программе нельзя задать напряжения конденсаторов и токи индуктивных катушек. Моделирование начинается с расчета схемы на постоянном токе, в результате которого устанавливаются нулевые начальные условия. При моделировании генераторов колебаний цепь не возбуждается, так как напряжения всех узлов равны нулю, схема находится в состоянии неустойчивого равновесия, генерации сигналов нет.

Вывести схему из состояния равновесия помогают запускающие цепи, предназначенные для кратковременной подачи импульса ключом с временной задержкой Time-Delay Switch. Такая запускающая цепочка использована в схеме RC-генератора гармонических колебаний с мостом Вина на операционном усилителе (ОУ) [2]. Запускающая цепочка может подключаться к любой точке схемы. Кратковременная подача импульса помогает запустить мультивибратор на ОУ [2]. Время срабатывания ключа с временной задержкой Time-Delay Switch влияет на переходной процесс, но не влияет на установившийся режим, частоту и период колебаний. Одновибратор на ОУ запускается только импульсами. Две запускающие цепочки позволяют ждущему мультивибратору совершить два цикла колебаний [2].

Литература

1. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.– 800 с.
2. Бладыко Ю.В. Электроника. Практикум. – Мн.: ИВЦ Минфина, 2016.– 190 с.

**Расчет установившегося периодического режима
методом “сжимающих” начальных условий**

Горошко В. И.

Белорусский национальный технический университет

В линейных цепях и системах с периодическими импульсными воздействиями установившийся режим можно получить как финальную стадию переходного процесса, однако, в слабодемифированных цепях этот подход затруднен. При таких условиях представляет интерес идея о том, что существуют начальные условия, назовем их “сжимающими”, при которых переходной процесс заканчивается уже на первом периоде колебаний. Выполним расчет “сжимающих” начальных условий (СНУ) в поле матричного уравнения состояния

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu},$$

что позволяет получить решение для цепи произвольного порядка. Пусть входной сигнал является последовательностью прямоугольных импульсов напряжения с амплитудой U , длительностью импульса l и периодом T . Такой сигнал характерен, например, при широтно-импульсном управлении двигателем постоянного тока. Процедура расчета СНУ содержит этапы:

1. Расчет стартового решения $\mathbf{x}_1(t)$ для $t \in [0, l]$ и $\mathbf{x}_2(t)$ для $t \in [l, T]$ при нулевых начальных условиях.

2. Расчет $\mathbf{x}_2(T)$ подстановкой $t = T$.

3. Формирование “периодизатора” $\mathbf{x}_n(t)$:

$$\mathbf{x}_n(t) = e^{At} \mathbf{x}_n(0), \text{ где } \mathbf{x}_n(0) \text{ – неизвестные пока СНУ.}$$

4. Составление полного решения для $t \in [l, T]$: $\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_2(t) + \mathbf{x}_n(t)$.

5. Требуя $\mathbf{x}(T) = \mathbf{x}_n(0)$, находим СНУ: $\mathbf{x}_n(0) = (1 - e^{AT})^{-1} \mathbf{x}_2(T)$.

Точное аналитическое решение для установившегося периодического режима на участках $[0, l]$ и $[l, T]$ имеет вид:

$$\mathbf{x}_{y1}(t) = \mathbf{x}_1(t) + \mathbf{x}_n(t), \quad t \in [0, l];$$

$$\mathbf{x}_{y2}(t) = \mathbf{x}_2(t) + \mathbf{x}_n(t), \quad t \in [l, T].$$

Из приведенных выкладок видно, что переменные $\mathbf{x}(t)$ должны быть непрерывными функциями времени, что выполняется для переменных $i_L(t)$, $u_C(t)$ в корректно поставленных задачах.

Моделирование адаптивного управления

Ежов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Адаптивное управление применяют для объектов, динамические свойства которых сильно изменяются процессе функционирования. Процесс адаптации в цифровых системах управления происходит в два этапа: 1 – расчет параметров модели объекта (текущая идентификация); 2 – расчет регулятора по текущей модели.

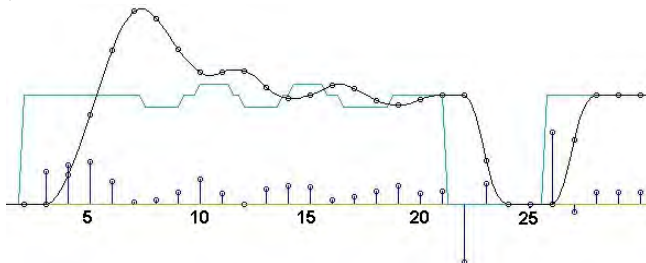


Для определения модели объекта, применяют различные методы

Текущая идентификация в реальном времени работает на каждом такте, что позволяет системе адаптироваться как к незнакомому объекту, так и к его изменениям в процессе эксплуатации.

На рисунке показан процесс адаптации системы к незнакомому объекту. Первое ненастроенное регулирование дало большую ошибку. Алгоритм адаптации задает вариации сигнала задания и, отслеживая реакцию объекта, постепенно уточняет параметры модели объекта и передает их АР-регулятору. Примерно с 20-го такта регулятор работает точно, следовательно, он получил точные параметры объекта.

Адаптация к малым изменениям свойств объекта выполняется быстрее.



Обобщённый принцип построения схем измерения мощности

Куццо А.В.

Белорусский национальный технический университет

Вопрос о схемах измерения активной мощности рассматривается в литературе применительно к трёхфазным цепям [1]. Исходным является при этом выражение мгновенной мощности трёхфазной цепи как суммы мгновенных мощностей трёх фаз. Определение средних значений мгновенных мощностей за период приводит к аналогичному равенству для активных мощностей.

В четырёхпроводной цепи это выражение является основой метода трёх приборов. В этом методе показание каждого из ваттметров равно (без учёта погрешностей) мощности соответствующей фазы приёмника или действительного источника при их соединении проводами, сопротивление которых можно пренебречь.

В случае трёхпроводной цепи исходное выражение с использованием первого закона Кирхгофа преобразуется в сумму двух слагаемых, что является основой метода двух приборов. В этом случае показания ваттметров можно интерпретировать как мощности двух воображаемых источников, создающих такую же систему напряжений, что и действительные источники в рассматриваемой цепи. Мощность трёхфазной цепи равна алгебраической сумме показаний ваттметров.

Аналогичным образом систему напряжений в четырёхпроводной цепи можно полагать созданной тремя воображаемыми источниками, подключёнными между одним общим для них проводом и тремя остальными, при этом общим проводом может быть любой, а воображаемые источники могут отличаться от действительных. Мощность трёхфазной цепи равна алгебраической сумме показаний ваттметров, подключённых для измерения мощности трёх воображаемых источников.

Из изложенного следует обобщённый принцип построения схем измерения активной мощности для многопроводных цепей (в том числе трёхфазных): ваттметры подключаются для измерения мощности воображаемых источников, которые присоединены между одним общим для них проводом (произвольным) и остальными проводами.

Литература

1. Основы метрологии и электрические измерения: учебник для вузов / Б.Я. Авдеев [и др.]; под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

Куцьлю А.В.

Белорусский национальный технический университет

При измерении мощности приёмника возможны две схемы подключения ваттметра. В обеих схемах генераторный зажим токовой цепи ваттметра подключается со стороны источника. В одной из схем (условно «первая»), которая используется при относительно больших сопротивлениях приёмника, генераторный зажим цепи напряжения подключается со стороны источника. Во «второй» схеме, которая используется при относительно малых сопротивлениях приёмника, генераторный зажим цепи напряжения подключается со стороны приёмника.

При оценке погрешностей метода истинным значением следует считать мощность приёмника в исходном режиме, то есть при отсутствии ваттметра. Погрешности метода анализируются в предположении измерений в цепи постоянного тока и в обеих схемах обусловлены неидеальностью цепей ваттметра: отличным от нуля сопротивлением токовой цепи и конечным сопротивлением цепи напряжения. Это приводит, во-первых, к изменению режима приёмника и измеряемой мощности при подключении ваттметра: в обеих схемах напряжение на приёмнике и его мощность уменьшаются по сравнению с исходным режимом. Возникающая вследствие этого составляющая погрешности является отрицательной. Во-вторых, в показание прибора включается мощность, потребляемая одной из цепей ваттметра: токовой цепью в «первой» схеме и цепью напряжения во «второй» схеме. Возникающая при этом составляющая погрешности является положительной, увеличивая показание ваттметра. Результирующая погрешность метода является алгебраической суммой указанных составляющих.

Погрешность метода для «первой» схемы всегда является отрицательной, уменьшая показание ваттметра. Погрешность метода для «второй» схемы может иметь разный знак в зависимости от соотношения сопротивлений цепей ваттметра и приёмника, что приводит к различному соотношению положительной и отрицательной составляющих данной погрешности. В частности, возможна полная компенсация указанных выше составляющих, то есть равенство нулю результирующей погрешности метода.

Разработка схемы управления поливом

Матвеев И.П.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе была предложена и реализована в пакете прикладных программ Micro-Cap схема управления поливом, исследована её работа, проанализированы её возможности.

Схема управления поливом на переменном токе уменьшает возможность проявления эффектов электролиза, что приводит со временем к разрушению электродов, и как следствие, к нарушению работы системы. Такая схема, работающая на переменном токе, представлена на рисунке 1.

При влажной почве повышена проводимость, при сухой - сопротивление. В почву вставляются два щупа (имитируются переключателем S1). Когда почва сырая, она лучше проводит электрический ток: транзистор Q1 получает смещение в прямом направлении и выключает транзистор Q2, который в свою очередь выключает (размыкает) контакты реле RY1 и клапан подачи воды.

Если почва высыхает, смещение транзистора Q1 уменьшается, транзистор Q2 открывается и включает реле RY1. При этом контакты реле RY1 замыкаются и открывают управляющий клапан системы полива.

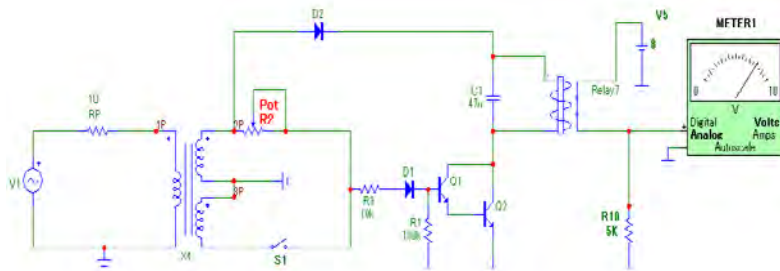


Рис.1. - Схема управления поливом

Для имитации включения и выключения системы полива к выходу схемы подключался вольтметр, показания которого и отражали состояние системы.

Таким образом, после того, как схема смоделирована и проверена на правильность выполнения функций, можно приступать к созданию реального устройства.

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Один из наиболее простых способов регулирования скорости асинхронного двигателя с фазным ротором основан на введении в цепь ротора дополнительных резисторов. Однако при этом существенно ухудшается КПД электропривода, так как выделяемая в роторных резисторах энергия тратится бесполезно.

Непосредственно использовать энергию скольжения для производственных целей невозможно, так как амплитуда напряжения и частота тока ротора не только отличаются от параметров сети, но и изменяются в функции скольжения двигателя. Поэтому полезное использование энергии скольжения связано с необходимостью включения в цепь ротора преобразователя электрической энергии. Схемы асинхронного электропривода со статическими преобразователями в цепи ротора называются вентильными каскадами.

Принципиально существуют две возможности для полезного использования энергии скольжения – возврат её в питающую сеть или на вал АД. При использовании первой возможности между ротором АД и сетью включают преобразователь частоты для согласования переменной амплитуды и частоты тока ротора с соответствующими постоянными параметрами сети. При использовании второй возможности возврат энергии скольжения на вал осуществляется электромеханическим преобразователем, состоящим из выпрямителя и машины постоянного тока. Наибольшее распространение получили схемы асинхронных вентильных каскадов, в которых преобразователь частоты состоит из роторного выпрямителя и дросселя, выполняющего функции фильтра в цепи выпрямленного тока преобразователя. Одно из основных преимуществ каскадных схем асинхронного электропривода заключается в том, что при ограниченном диапазоне регулирования скорости мощность преобразователя в роторной цепи двигателя меньше мощности самого двигателя.

Эффективность вентильного каскада тем выше, чем меньше мощность преобразователя и чем большее количество энергии рекуперировано в сеть или на вал двигателя. Поэтому АВК целесообразно применять в первую очередь для электроприводов большой мощности с длительным режимом работы и небольшим диапазоном регулирования скорости.

**Оптимизация асинхронных электроприводов
при постоянной частоте тока статора**

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Проблема снижения потерь электроэнергии в нерегулируемых по скорости асинхронных электроприводах представляет собой большой практический интерес. Во-первых, такие электроприводы являются самым массовым потребителем электрической энергии (примерно около 70 % от всей вырабатываемой электроэнергии), поэтому экономия электроэнергии даже в малых количествах применительно ко всему парку эксплуатируемых в народном хозяйстве АД может дать существенный экономический эффект. Во-вторых, регулирование напряжения питания обмоток статора при постоянной частоте вращения двигателей теоретически позволяет получить наибольший энергетический эффект по сравнению с другими условиями работы электродвигателей.

Для обеспечения минимальных потерь в двигателе необходимо при любых нагрузках поддерживать такой режим работы двигателя, при котором обеспечивается постоянно оптимальное скольжение, а это позволяет обеспечивать минимизацию потерь в системе электропривода.

Постоянство частоты тока статора предполагает регулирование только напряжение статора АД. Для регулирования напряжения используются тиристорные преобразователи переменного напряжения. Постоянство частоты упрощает также поиск условий, обеспечивающих минимизацию потерь в АД.

Рассмотрим, какие существуют возможности для минимизации потерь в АД. Установлено, что путём регулирования напряжения можно обеспечить не только минимум потерь, но и минимум тока в обмотках статора и минимум активной потребляемой мощности. Поэтому в настоящее время предложены различные системы автоматического регулирования, обеспечивающие минимизацию одной из этих величин.

Любой из рассмотренных способов энергетической оптимизации асинхронных двигателей – по минимуму потерь, тока статора, потребляемой мощности или по нескольким параметрам одновременно может быть реализован при поддержании постоянства скольжения асинхронного двигателя.

Конструкции и частоты вращения авиационных генераторов

Полуянов М.И., Голенко О.В., Лисевич В.С., Любовицкий Р.Н.
Белорусская государственная академия авиации

В трехфазных системах электроснабжения воздушных судов к настоящему времени определились три типа генерирующих устройств: синхронные генераторы с приводами постоянной частоты вращения, обеспечивающими постоянную частоту напряжения 400 Гц; синхронные генераторы с понижающими редукторами с выходной частотой от 360 до 800 Гц; синхронные генераторы с преобразователями частоты с непосредственной связью, формирующими зубчатые синусоиды напряжений частотой 400 Гц. Генераторы первого типа имеют 2, 3, 4 пары полюсов (частоты вращения соответственно 12000, 8000, 6000 мин⁻¹) и требуют регуляторов частоты и напряжения в нешироком диапазоне. Генераторы второго типа также имеют небольшое число пар полюсов, требуют регуляторов напряжения с широким диапазоном изменения тока возбуждения, регуляторы частоты не требуются. Генераторы третьего типа имеют 6 (а не 3) фаз, большее число пар полюсов и более высокие частоты вращения и выходного напряжения (соответственно 8, 12450...26250 мин⁻¹, 1660...3500 Гц, например, на самолете Боинг-777). Они требуют регуляторов напряжения с широким диапазоном изменения тока возбуждения и сложной системы управления. Очевидна более высокая сложность конструкции этих генераторов.

Предлагается новая конструкция синхронного генератора, в которой подвозбудитель остается без изменений, а его напряжение выпрямляется и подается на трехфазный инвертор, формирующий синусоидальное напряжение с регулируемой амплитудой и постоянной частотой 400 Гц. Статорная обмотка возбудителя, роторные обмотки возбудителя и генератора выполняются трехфазными с одинаковыми числами пар полюсов (как в статорной обмотке генератора). Трехфазное напряжение инвертора подается на статорную обмотку возбудителя, роторные обмотки возбудителя и генератора соединяются таким образом, что в результате двойного асинхронного преобразования частоты исключается составляющая частоты от вращения ротора, а в статорной обмотке генератора создается напряжение частотой 400 Гц, задаваемой инвертором. Предложенная конструкция не требует привода постоянной частоты вращения, проще существующих генераторов и обеспечивает постоянную частоту 400 Гц при изменении частоты вращения ротора, приводимого через редуктор от авиадвигателя.

Электромашинный преобразователь частоты

Синяков А.Л., Дудников И.Л.

Белорусская государственная академия авиации

Для получения переменного трехфазного напряжения частотой выше 50 Гц использовались электромашинные преобразователи с синхронным двигателем, генератором и двигателем постоянного тока независимо возбуждения, асинхронным двигателем с фазным ротором и трехфазным автотрансформатором, через который статорная обмотка асинхронного двигателя включалась в сеть 50 Гц для регулирования выходного напряжения преобразователя, снимаемого с роторной обмотки асинхронного двигателя. Частота напряжения в этой структуре регулировалась двигателем постоянного тока. Такая конструкция имеет низкий КПД, большие массогабаритные показатели (четыре машины и автотрансформатор) и невысокую надежность (наличие щеток, контактных колец и коллекторов в машинах).

Предлагается в схеме преобразователя оставить синхронный двигатель и асинхронный двигатель с фазным ротором и дополнить конструкцию трехфазным выпрямителем и трехфазным инвертором с регулируемым напряжением и частотой. Выпрямитель подключается к сети 50 Гц, инвертор - к выходу выпрямителя, а выходное напряжение инвертора через щетки и кольца поступает на роторную обмотку асинхронного двигателя и создает вращающееся магнитное поле. В зависимости от направлений вращения ротора и магнитного поля его обмотки в статорной обмотке асинхронного двигателя создается ЭДС с частотой больше или меньше 50 Гц. Регулирование значения ЭДС и ее частоты осуществляется путем изменения величины и частоты выходного напряжения трехфазного инвертора.

Для предлагаемого преобразователя частоты требуются выпрямитель и инвертор небольшой мощности, так как энергия сети 50 Гц передается на выход преобразователя механическим путем. В автономных статических преобразователях со звеном постоянного тока вся энергия передается на выход через выпрямитель и инвертор непосредственно.

**Повышение надежности работы самовозбуждающихся
авиационных синхронных генераторов**

Синяков А.Л., Сизиков С.В., Папинов С.В.
Белорусская государственная академия авиации

Авиационные синхронные генераторы небольшой мощности с якорной обмоткой на статоре и обмоткой возбуждения на роторе могут получать ток возбуждения от бортовой сети постоянного тока через регулировочное устройство (генераторы независимого возбуждения) либо, от выпрямителя, подключенного к статорной обмотке самого генератора (генераторы с самовозбуждением). Недостатком первого вида является зависимость генератора от наличия напряжения в бортовой сети постоянного тока. Недостаток второго вида - невозможность самовозбуждения при некоторых неблагоприятных условиях (большие сопротивления в цепи регулировочного устройства, малая остаточная намагниченность ротора и др.).

Для надежного самовозбуждения синхронных генераторов небольшой мощности предлагается кратковременно переключать цепь возбуждения на бортовую сеть постоянного тока либо на аккумуляторную батарею, которая на самолетах всегда находится в заряженном состоянии. Для этого генератор оснащается дополнительным контактором, реле напряжения, выключателем и конденсатором. Пока напряжение генератора недостаточно для самовозбуждения, ток возбуждения поступает от бортовых источников постоянного тока, затем цепь возбуждения переключается на выпрямитель, создавая таким образом самовозбуждение. Конденсатор служит для обеспечения непрерывности тока возбуждения при переключении контактора.

Слабым звеном генераторов небольшой мощности с самовозбуждением являются щетки и контактные кольца на роторе, которые при частотах вращения $6000...8000 \text{ мин}^{-1}$ достаточно интенсивно изнашиваются. Предлагается использовать для соединения обмотки возбуждения с внешними цепями подшипники, изолированные от вала ротора и от подшипниковых щитов (Патент Республики Беларусь на полезную модель. Генератор переменного тока №10391, H02K21/12.2014).

**Размагничивающее устройство ферромагнитных изделий
с предварительной подготовкой перед началом
цикла размагничивания**

Михальцевич Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Размагничивающие устройства (РУ) находят применение во многих приборах и устройствах как бытового, так и промышленного назначения и часто применяются в приборах неразрушающего контроля (ПНК) ферромагнитных изделий. В приборах неразрушающего контроля для определения твердости ферромагнитных изделий применяются РУ, основанные на разряде конденсатора через размагничивающую катушку или заряде двух конденсаторов через два диода, встречно включенных с одной стороны и последовательно соединенными с ними двумя конденсаторами, соединенными вместе с другой стороны, и последовательно соединенной с ними катушкой размагничивания. Эти методы используют экспоненциальный разряд (заряд) конденсатора (конденсаторов). Лучшими параметрами по экономичности и производительности обладает разработанное РУ, использующее два этих метода поочередно с особым способом работы перед началом цикла размагничивания. Предлагаемое устройство позволяет повысить надежность размагничивания. РУ содержит первый ключ, источник переменного напряжения, первый размагничивающий контур первый конденсатор и второй ключ, а также второй конденсатор, времязадающий блок, блок запуска, нуль орган, блок четности, третий ключ и второй размагничивающий контур. Для устранения не качественного размагничивания, вызванного продолжительным интервалом времени перед очередным циклом размагничивания устройство дополнительно снабжено блоком контроля за степенью заряда или разряда выше перечисленных конденсаторов перед началом очередного цикла размагничивания. При выполнении первого цикла размагничивания конденсаторы заряжаются, а при выполнении второго цикла разряжаются. Если интервал по времени между циклами сравнительно небольшой, то саморазряд или заряд, через конечное сопротивление закрытых электронных ключей практически не происходит, но конечно произойдет через некоторое время. При этом качественный цикл размагничивания не удастся осуществить.

Для устранения вышеперечисленного недостатка, РУ снабжено ключами до зарядки или разрядки выше перечисленных конденсаторов перед началом очередного цикла размагничивания, управляемыми контроллером, который анализирует необходимость выполнения этих действий.

Некоторые способы получения режима *Super-A* в линейных усилителях мощности

Белорусский национальный технический университет

Михальцевич Г.А.

Разработчику усилителей звуковой частоты часто приходится преодолевать различные причины, вызывающие появление нелинейных искажений на выходе в двухтактных усилителях мощности (УМ). Одним из типов искажений в УМ являются искажения типа «ступенька». Радикальным методом устранения этих искажений является перевод режима работы УМ из *AB* в *A*. При этом режиме выходные транзисторы УМ всегда работают в линейном режиме, но при этом через них течет большой ток покоя, вызывающий их нагревание и поэтому требующий установку выходных транзисторов УМ на радиаторы большой площади поверхности.

Режим *Super-A* позволяет в значительной степени устранить вышеперечисленный недостаток.

В этом режиме для уменьшения искажений в области нуль-перехода сигнала, характерных для класса *AB*, стараются не допустить запирающие транзисторов, неработающего плеча путем динамического управления его смещением. Характерные искажения скомпенсированного разностного сигнала между входом и выходом в режиме *Super-A* и без него изображены на рисунке 1.

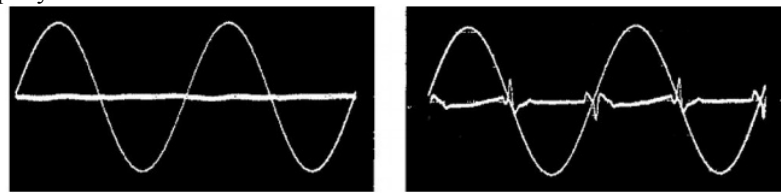


Рисунок 1

Перевести режим работы выходного каскада УМ из *AB* в похожий на *Super-A* можно установив на входе выходных каскадов по германиевому диоду, после которого установить резистор на питание, обеспечивающий ток покоя выходных транзисторов 10-40 мА.

Лучше всего режим *Super-A* получается, если перевести режим работы выходных каскадов в управляемый стабилизатор тока с минимальным током в нем равным току покоя выходных транзисторов.

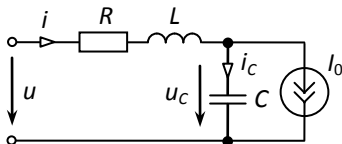
Горошко В. И., Зеленко В. В.

Белорусский национальный технический университет

На основе уравнений динамики двигателя постоянного тока можно построить эквивалентную электрическую цепь, содержащую резистивный, индуктивный и емкостный элементы. Из уравнения динамики вращательного движения с учетом $M = k \Phi i$ находим

$$i = (J/k\Phi)(d\Omega/dt) + M_C/k\Phi, \quad (1)$$

где i – ток якоря; $\Phi = \text{const}$ – магнитный поток возбуждения; M, M_C – электромагнитный момент и момент сопротивления; J – момент инерции всех вращающихся частей, приведенный к валу двигателя; Ω – угловая скорость вращения; $k = \text{const}$. Поскольку $d\Omega/dt = (1/k\Phi)(de/dt)$, где e – противо-ЭДС, то первое слагаемое в правой части (1) можно трактовать как ток i_C эквивалентной емкости $C = J/(k\Phi)^2$ с напряжением $u_C = e$. Второе слагаемое в (1) допустимо представить как задающий ток $I_0 = M_C/k\Phi$ источника тока. С учетом уравнения баланса напряжений якорной цепи $u = Ri + L(di/dt) + e$ приходим к схеме замещения двигателя



Если момент инерции J не зависит от угловой скорости Ω , то емкость C является линейным элементом, в противном случае C – нелинейный элемент. Для распространенных нагрузок момент сопротивления M_C зависит от угловой скорости

Ω , которая линейно связана с противо-ЭДС e . Таким образом, для подобных нагрузок ток I_0 фактически управляется величиной e , т.е. источник тока является источником типа ИТУН. Если момент сопротивления является реактивным, то следует принять $I_0 = -(1/k\Phi)[M_C] \text{sign} U_C$, $I_0 = 0$, при $U_C = 0$. Приведенная схема замещения позволяет оценивать как установившиеся процессы, так и переходные режимы двигателя. Если, например, в установившемся режиме произойдет наброс нагрузки на величину ΔM_C , то соответствующее начальное приращение тока $I_0 = \Delta M_C/k\Phi$ будет замыкаться через емкость C , вызывая ее разряд, т.е. уменьшение угловой скорости Ω . При этом в зависимости от типа корней характеристического уравнения процесс может быть аperiodическим или колебательным.

Компенсация влияния высших гармоник на потребителей и элементы сетей электроснабжения 0,4 кВ

Гапанюк С.Г., Трестьян И.О.

Белорусский национальный технический университет

Гармоники – это синусоидальные волны, суммирующиеся с фундаментальной (основной) частотой 50 Гц (то есть первая гармоника – 50 Гц, пятая гармоника – 250 Гц). Можно выделить следующие источники гармоник в системах электроснабжения: силовое электронное оборудование; сварочное, дуговое оборудование; насыщаемые устройства.

Технология возникновения гармонических составляющих заключается в следующем: ток, потребляемый приемниками электрической энергии, имеющими нелинейную нагрузку, имеет ярко выраженный импульсный характер, что объясняется их схемными особенностями. Поэтому синусоида напряжения становится «плоской», так как в момент импульса тока увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении сети.

К последствиям гармоник тока для электроустановок 0,4 кВ можно отнести: сбой в работе и физический выход из строя компьютерного оборудования; преждевременный выход из строя электродвигателей; резонансные явления в электроустановках 0,4 кВ; перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий; дополнительные потери в силовых трансформаторах (вплоть до выхода из строя); повышенный износ, вспучивание и преждевременное разрушение конденсаторов установок компенсации реактивной мощности; ухудшение качества (несинусоидальность) питающего напряжения; Для уменьшения влияния высших гармоник проводят следующие мероприятия:

1. Увеличивают мощность КЗ питающей системы.
2. Применяют раздельное питание электроприемников с нелинейной вольтамперной характеристикой и общепромышленных электроприемников.
3. Увеличивают число фаз выпрямителя.
4. Применяют многофазный эквивалентный режим работы для группы преобразователей, например, два мостовых трехфазных преобразователя соединяют последовательно и запитывают от разных вторичных обмоток трансформатора, одна из которых соединена в звезду, а другая – в треугольник.
5. Применяют фильтры различных гармоник. Идеальный фильтр полностью потребляет ток гармоники, генерируемой нелинейными элементами. Каждое звено фильтра настроено на частоту определенной гармоники.

Структура автоматизированных систем контроля и учёта электроэнергии в Республике Беларусь.

Гапанюк С.Г., Ковальчук Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) служит для точного учёта и оперативного контроля за потребляемой и передаваемой электроэнергией с учётом существующих тарифов, а также для обеспечения доступа к полученным данным с целью произведения расчётов, анализа и выработки эффективной энергосберегающей политики. Сегодня в энергосистеме Республики Беларусь АСКУЭ повсеместно используется и расширяется. Основными нормативными документами по проектированию, сдаче-приемке и эксплуатации таких систем служат СТП 09110.35.122-08, СТП 09110.35.126 – 09, ТКП 308-2011 (02230) и другие.

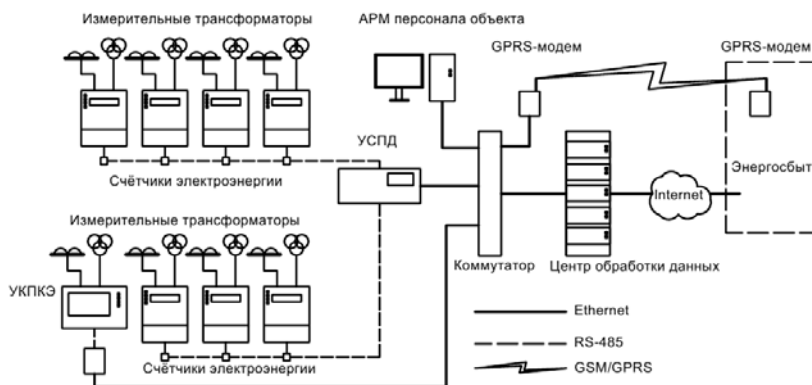


Рисунок – 1

На рисунке 1 представлен пример структурной схемы АСКУЭ, которую можно условно разделить на три составляющих :

1. Первичные устройства сбора и обработки информации (трансформаторы тока и напряжения, счетчики, устройства контроля показателей качества электроэнергии (УКПКЭ)).
2. Устройства сбора и передачи данных (УСПД) и проводные и беспроводные каналы связи (RS-232, RS-485, RS-422, GSM и GPRS).
3. Автоматизированное рабочее место (АРМ) или другими словами центр сбора и обработки данных (ЦСОД), который в свою очередь может быть подключен к центру более высокого уровня. Например ЦСОД предприятия электрических сетей подключен в ЦСОД РУП-облэнерго.

Анализ протекания электромеханических переходных процессов в электроэнергетической системе

Волков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Подготовлена программа, позволяющая наглядно с пояснениями отобразить изменение режимных показателей в электроэнергетической системе при возникновении больших возмущений. Анализ режима осуществляется по результатам расчета переходных процессов по программе Mustang. При этом могут быть использованы модели синхронных машин как без учета электромагнитных переходных процессов в контурах ротора, так и с их учетом.

Программа позволяет построить и определить площадки ускорения и торможения, провести анализ изменения во времени и от угла δ таких параметров режима как: переходная э.д.с. генератора, выдаваемая генератором в электрическую сеть мощность, ускорение и кинетическая энергия относительного движения ротора генератора, напряжения в узлах.

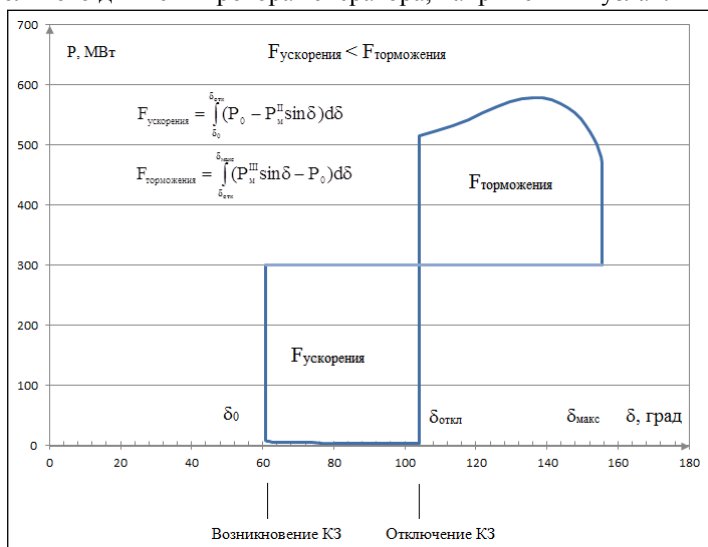


Рис. 1. Анализ устойчивости методом площадей

Составленная программа может быть использована в учебном процессе при проведении занятий по дисциплинам “Устойчивость электроэнергетических систем” и “Переходные процессы в электроэнергетических системах”.

Эффективность сооружения линий электропередачи с опорами из круглых стальных стержней

Доценко В.В., Короткевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Опоры воздушных линий электропередачи выполняют в основном из равнополочного стального оцинкованного или неоцинкованного уголка, а также из стальных труб (на ответственных переходах) не смотря на подверженность этого материала коррозии в процессе эксплуатации. Из круглых стержней в России сооружают антенные опоры радиорелейной связи. Целью работы является оценка эффективности применения опор из круглых стальных стержней. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- рассчитать элементы опор на механическую прочность;
- оценить массу сооружения;
- выполнить технико-экономическое сравнение вариантов;
- оценить надежность опор и срок их службы

Эффективность сооружения опор из круглых стальных стержней выявляется на основе сравнения выбранного типа опоры с опорами из уголков и из труб. Для сокращения металлоемкости указанных вариантов конструкций опоры следует рассмотреть также узкобазовые решетчатые опоры с квадратным основанием. Расчёт усилий в элементах опоры (поояса, раскосы) выполняется с использованием современных систем автоматизированного проектирования. По значению усилий выбирается площадь поперечного сечения элементов опоры. По удельной массе металла и длине стержней определяется его масса.

Технико-экономическое сравнение вариантов исполнения опор проводится по минимуму приведенных затрат.

Необходимо отметить, что решетки из стержней собираются только с помощью сварки, в то время как решетки из уголковой стали собираются с помощью болтовых соединений, а решетки из труб – с помощью фланцев. Оценивается удобство и скорость монтажа разных видов опор, что учитывается при выборе оптимального варианта по методу многоцелевой оптимизации, где помимо приведенных затрат учитывается масса опоры и удобство ее монтажа.

Для повышения эффективности использования опор за счет уменьшения их количества, оценена целесообразность применения термокомпенсаторов на проводах, устанавливаемых в пролете линии.

О недопущении проектирования заземляющих устройств опор ВЛ без учета информации о результатах непосредственных измерений электрического сопротивления грунта в местах установки опор

Драко М.А.
РУП “Белэнергосетьпроект”

При сооружении искусственных локальных заземлителей в районах с большим удельным сопротивлением земли ТКП-339 [1, п. 4.3.10.2] в качестве первоочередного мероприятия по достижению нормированного сопротивления растеканию рекомендует устройство вертикальных глубоких заземлителей увеличенной длины, в том числе составных вертикальных заземлителей длиной до 30 м, если с глубиной удельное сопротивление земли снижается. Такая тенденция снижения удельного сопротивления с глубиной характерна практически для всей территории Республики Беларусь. В настоящее время вертикальное электрическое зондирование (метод электроразведки, применяемый для изучения горизонтально- или пологозалегающих геологических разрезов, определения удельных сопротивлений отдельных горизонтов при горизонтальных или слабонаклонных границах с углами падения не более 15-20°) является наиболее достоверным методом изучения электрической структуры грунта.

Ввиду отсутствия специалистов, средств измерений и методик выполнений измерений проектные организации при проектировании ЗУ опор ВЛ прибегают к проведению ВЭЗ лишь в крайних случаях. А в качестве основной исходной информации принимают результаты обработки образцов грунтов и проб грунтовых вод, полученные при проведении геологических изысканий на площадках месторасположения опор. Далее по типовым материалам производится выделение усредненной величины сопротивления грунтов, часто не соответствующей действительным значениям, и на основании данной величины проектируется ЗУ.

Однако без практического определения удельного электрического сопротивления грунтов в местах расположения опор с СЗ при проведении расчетов невозможно принять оптимальную длину глубоких вертикальных заземлителей, что приводит к некорректному проектированию ЗУ опор: либо к значительному перерасходу дорогих электродов СЗ, либо выходу сопротивления растеканию ЗУ за нормируемые пределы.

При проектировании заземляющих устройств высоковольтных линий электропередачи, конструктивно выполненных воздушными, серьезное внимание должно уделяться изучению электрофизических свойств грунтов, в которые планируется установка опор.

Выбор номинальной мощности силовых трансформаторов с учетом неопределенности исходных данных

Дуль И.И., Фурсанов М.И.
 РУП «Белэнергосетьпроект»

Белорусский национальный технический университет

В докладе предложен усовершенствованный метод выбора номинальной мощности трансформаторов, который разработан на основании анализа нормативно-технических документов и стандартов, а также существующих методов выбора номинальной мощности трансформаторов.

Предлагаемый метод в качестве исходных данных учитывает:

- форму графика электрических нагрузок, в том числе с учетом неопределенности формы и сезонных изменений;
- температуру окружающей среды, в том числе с учетом неопределенности значений и сезонных изменений температуры;
- параметры систем охлаждения трансформаторов;
- возможные допустимые аварийные перегрузки трансформаторов.

Метод определяет ограничения режимов работы трансформаторов по допустимой температуре характерных точек, а также учитывает изменение срока службы трансформаторов по тепловой деградации изоляции.

Результатами расчетов по предложенной методологии являются:

- оптимальный, с точки зрения себестоимости передачи электроэнергии по трансформатору, коэффициент наибольшей нагрузки трансформатора, который характеризует нагрузку в режиме годовой наибольшей нагрузки относительно номинальной мощности трансформатора (рисунок 1);
- оптимальная номинальная мощность трансформатора, как с точки зрения минимизации себестоимости передачи электроэнергии, так и с точки зрения ограничений по аварийным режимам работы трансформатора.

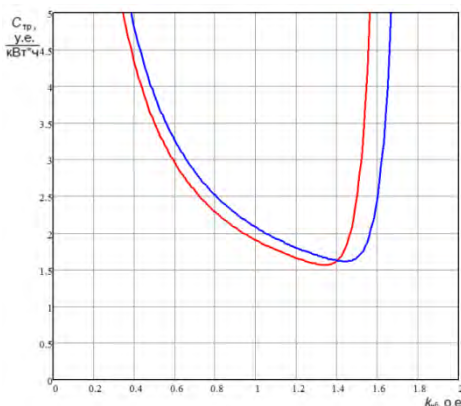


Рисунок 1 – Стоимость передачи электроэнергии по трансформатору

Создание системы умного дома с использованием устройства с ОС Android и микросхемы Arduino

Евменьков М.А., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

В 2011 г. корпорация Google представила стандарт Android Open Accessory, который обеспечивает взаимосвязь между внешними USB-устройствами (Arduino-подобными платами и др.) и Android-устройством. Данная взаимосвязь между устройством на базе Android и Arduino-подобными платами открывает массу возможностей для разработчика и радиолюбителя: управление сервоприводами, двигателями, индикацией с Android-телефона, считывание состояния датчиков на Android телефоне или планшете, таких как гироскоп, акселерометр и многое другое. На сегодняшний день существует уже достаточное количество плат разработчика, поддерживающих Android Open Accessory протокол. Под «умным» домом следует понимать систему, которая обеспечивает безопасность и ресурсосбережение для всех пользователей. В простейшем случае она должна уметь распознавать конкретные ситуации, происходящие в доме, и соответствующим образом на них реагировать. Для реализации «умного» дома предлагается использовать микросхему IOIO – это микросхема ввода/вывода для Android телефонов и планшетов. Для написания программного кода управления этими интерфейсами используются те же средства, как и при разработке приложений для Android, а также простая в использовании библиотека (IOIOLibAccessory).

Система освещения контролирует уровень освещенности в помещении, в том числе для экономии электроэнергии за счет рационального использования естественного освещения. Некоторые подсистемы: автоматика для включения/выключения света в заданное время суток; датчики движения для включения света только тогда, когда в помещении кто-то находится; автоматика для открытия/закрытия ставней, жалюзи, для регулировки прозрачности специальных оконных стекол.

В систему безопасности и мониторинга входят следующие подсистемы: система видеонаблюдения; система контроля доступа в помещения; GSM-мониторинг — удалённое информирование об инцидентах в доме и управление системами дома через телефон.

Разработанное приложение позволяет получать изображение с камеры мобильного устройства и транслировать его в сети интернет. Благодаря полученной системе «умного» дома пользователи смогут экономить электроэнергию, а также чувствовать себя и свой дом в безопасности, и все это за относительно малую стоимость комплектующих.

Секционирование распределительных электрических сетей

Калентионок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Современные распределительные электрические сети характеризуются большой протяженностью и разветвленностью, многообразием применяемого оборудования. При этом общее число ответвлений достигает до 30, а их протяженность составляет больше половины суммарной длины линии. На ответвлениях, как правило, в качестве коммутационных аппаратов устанавливаются разъединители с ручным управлением. В этом случае любое повреждение на ответвлении вызывает отключение и прекращение электроснабжения потребителей всей линии. Поскольку процесс поиска и локализации повреждения выполняется оперативными выездными бригадами путем осмотра и оперативных переключений в поврежденной линии, то длительность прекращения электроснабжения потребителей составляет от нескольких часов до суток. Вместе с тем, автоматическое секционирование, т.е. деление линии на несколько участков с помощью автоматически управляемых коммутационных аппаратов (выключателями, реклоузерами, выключателями нагрузки, отделителями, интеллектуальными разъединителями), позволяет отключить только поврежденный участок. В этом случае значительно уменьшается недоотпуск электроэнергии и ущерб потребителей при возникновении повреждений в электрической сети и тем самым повышается надежность электроснабжения потребителей. Вместе с тем секционирование электрической сети управляемыми коммутационными аппаратами требует дополнительных капитальных вложений.

Показано, что обоснование целесообразности дополнительных затрат на установку устройств автоматического секционирования возможно только по критериям общественной (социально-экономической) эффективности, отражающим интерес всех субъектов хозяйствования (электрических сетей и потребителей электроэнергии). В качестве таких критериев возможно использование минимума приведенных затрат, частого дисконтированного дохода, срока окупаемости, учитывающих как затраты электрических сетей на установку секционирующих устройств, так и эффект получаемый потребителями от осуществления автоматического секционирования.

Установлено, что оптимальное количество секционирующих устройств зависит от их типа и стоимости, ущербов потребителей от перерывов электроснабжения, технического состояния и длины распределительных линий электропередачи, принятых расчетного периода и норматива дисконтирования, выполнения технических ограничений в электрической сети.

Выбор проектных решений при строительстве воздушных линий электропередач над лесным массивом

Колодько Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Политика Республики Беларусь направлена на сохранение природного достояния нашей страны. Одним из таких достояний являются наши леса, занимающие приблизительно третью часть территории республики. Они играют важную роль для своего региона, выполняя водоохранную, водорегулирующую, противозрозионную, климаторегулирующую, почвозащитную и полезную функции. В условиях повышенного внимания к проблемам экологии, могут найти своё применение воздушные линии электропередачи, проходящие над лесным массивом. Помимо уменьшения ущерба окружающей среде по сравнению с линиями с традиционными типами опор, применения линий такого исполнения позволит снизить затраты на обслуживание охранных зон линий, связанные с вырубкой леса, а также исключить вероятность отключения линий, вследствие падения деревьев или их ветвей на провода. Целью исследования является разработка экономически эффективного подхода к выбору проектных решений при строительстве воздушных линий электропередачи, проходящих по землям лесного фонда, учитывая требования надежности передачи электроэнергии потребителям. Для достижения поставленной цели необходимо разработать методику, позволяющую выявить путем сравнения технико-экономических показателей линии наиболее целесообразный вариант. При этом необходимо рассмотреть различные конструктивные исполнения опор, учитывая затраты на их транспортировку, простоту их сборки и установки, а также последующие эксплуатационные расходы в процессе функционирования линии электропередачи.

Исследования будут проводиться на основе технико-экономических расчетов, используя многокритериальный подход для выбора наиболее целесообразного варианта. В качестве основного технико-экономического критерия будет выступать: минимум приведенных затрат. Большое внимание будет уделено оценке экологического влияния рассматриваемых линий электропередач на окружающую среду. Рассматриваются следующие экологические критерии: напряженность электрического и магнитного полей под линией электропередачи, ширина просеки вдоль трассы линии, площадь отчуждения земли, уровень акустического шума, вызванного явлением короны. Также будет проведена оценка надежности рассматриваемых вариантов исполнения линий электропередачи.

Определение оптимальной продолжительности межремонтного периода электросетевого оборудования и линий

Кравель Д.И., Короткевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Проблема определения оптимальной продолжительности межремонтного периода для электросетевого оборудования и линий связана со стремлением к полному использованию нагрузочной способности и максимально возможному отдалению момента реконструкции сети. При оптимальной продолжительности межремонтного периода затраты на капитальные ремонты оборудования и линий имеют наиболее рациональное значение. В результате наблюдается снижение себестоимости передачи электроэнергии в распределительных электрических сетях. Оптимальная продолжительность межремонтного периода для нерезервированной сети ниже соответствующих значений по сравнению с резервированной сетью соответственно для кабельных линий (КЛ) в 1,2-1,4 раза, для трансформаторов – в 1,2-1,8 раза. Для сети из 12 трансформаторных подстанций оптимальная продолжительность межремонтного периода для кабельных линий в 1,1-1,3 раза больше, чем для сети из 8 трансформаторных подстанций, а значения оптимальной продолжительности межремонтного периода для трансформаторов практически соизмеримы.

Для резервированной сети при соотношении $c_a / c_k = 3,0$ значения оптимальной продолжительности межремонтного периода в 1,3 раза выше, чем при $c_a / c_k = 1,8$ как для КЛ, так и для трансформаторов. Для нерезервированной сети значения оптимальной продолжительности межремонтного периода как для КЛ, так и для трансформаторов практически не изменились, что указывает на то, что изменение соотношения стоимости ремонтов c_a / c_k влияет незначительно.

Оптимальная продолжительность межремонтного периода для нерезервированной электрической сети при полной загрузке трансформаторов выше в 1,1-1,2 раза для КЛ и в 1,05-1,1 раза для трансформаторов, чем при загрузке трансформаторов лишь наполовину (как для сети, состоящей из 8 подстанций, так и для сети из 12 подстанций).

Результаты могут применяться при эксплуатации распределительных электрических сетей и служить основанием для изменения расходов денежных средств на капитальный ремонт. Также при уменьшении затрат будет наблюдаться снижение себестоимости передачи электроэнергии в распределительных электрических сетях.

**Методы и алгоритмы оценки и совершенствования молниезащиты
низковольтных систем электрических подстанций**

Криксин П. В.

Белорусский национальный технический университет

Требования к молниезащите низковольтных систем высоковольтных электрических подстанций постоянно возрастают, что обусловлено необходимостью обеспечения высокой надежности работы оборудования, создания благоприятной электромагнитной обстановки, физическим и моральным износом оборудования и молниезащиты подстанций. Необходимость исследований в этом направлении также обусловлена недостатками и противоречиями в действующих стандартах и методических документах, отсутствием установившихся практик и процедур построения и обслуживания молниезащиты. Особенно актуально решение существующих проблем для действующих подстанций с открытыми распределительными устройствами 110 кВ и сверхнормативным сроком эксплуатации.

Для решения указанных проблем была поставлена цель, которая заключается в поиске способов повышения эффективности молниезащиты подстанций. Для достижения цели выполнены следующие исследования.

Проведен обзор и критический анализ литературных источников и фактической информации о текущем состоянии молниезащиты на 62 высоковольтных подстанциях с ОРУ 110 кВ, выполнены теоретические расчеты.

Исследованы наиболее опасные для низковольтных систем подстанций электромагнитные влияния молнии. Изучена физика процессов, определены и верифицированы физико-математические модели влияний, исследованы факторы, входящие в модели, построены графы, отражающие взаимосвязь между факторами и влияниями молнии. Для практического применения результатов исследований разработаны контрольные перечни, которые могут применяться при создании и обслуживании молниезащиты высоковольтных подстанций.

Разработаны методики выполнения измерений основных влияний молнии путем имитации ударов молнии. Методы позволяют определить интервал, в котором истинное значение влияния находится с точностью 95 %, что повышает достоверность экспериментальной информации.

Разработаны структурные алгоритмы улучшения молниезащиты, которые позволяют повысить эффективность применения существующих знаний, снизить затраты на создание и обслуживание молниезащиты, обеспечить более высокие показатели надежности молниезащиты.

Расчёт электромеханического переходного процесса в системе двух синхронных машин с АРВ СД при однофазном коротком замыкании в MATLAB

Золотой А.А., Кунцевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим электромеханический переходной процесс при однофазном коротком замыкании (далее КЗ) в схеме электропередачи, изображенной на рис. 1. В момент времени $t_{кз} = 0,1$ с в середине линии Л1 происходит однофазное КЗ с последующим отключением Л1 в момент $t_{откл} = 0,2$ с.

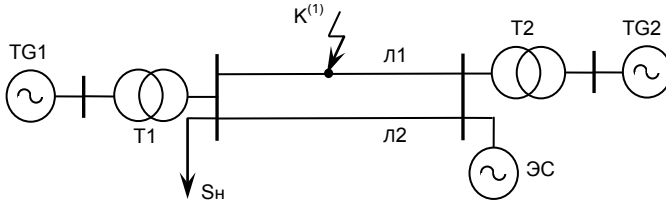


Рис. 1. Схема электропередачи

Параметры электрооборудования:

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

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

Линия Л1: $L=180$ км, 2АС-300/39; Линия Л2: $L=180$ км, 2АС-300/39;

Напряжение электропередачи $U_n = 330$ кВ.

Параметры установившегося режима:

$S_{TG1} = 150 + j65$ МВ·А; $S_{TG2} = 100 + j65$ МВ·А; $S_n = 220 + j140$ 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; $E_{qe(max)} = 2$; $E_{qe(min)} = -1,6$; $E_{q(max)} = 2$; $E_{q(min)} = 0,6$.

При расчете электромеханического переходного процесса использовался решатель систем дифференциальных уравнений MATLAB ode23tb.

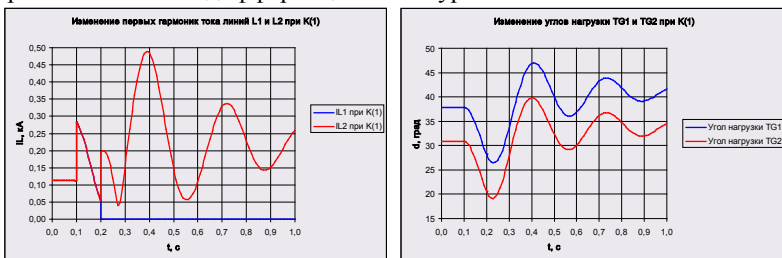


Рис. 2. Расчет основной гармонике токов Л1, Л2 и углов нагрузки TG1, TG2 при К⁽¹⁾

Анализ коммутационных аппаратов для секционирования воздушной электрической сети 10 кВ

Лешкович Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Для выполнения секционирования распределительной воздушной сети 10 кВ может использоваться практически любая коммутационная аппаратура: разъединители, отделители, выключатели нагрузки, элегазовые и вакуумные выключатели и т.п.

Простейшим и самым распространенным коммутационным аппаратом в распределительных электросетях пока остается разъединитель. Коммутационная способность разъединителей при отключении и включении токов замыкания на землю, токов нагрузки ограничена.

Отделитель предназначается для секционирования главным образом ответвлений (отпаяк) от магистрали ВЛ 10 кВ и монтируется на опоре в начале отпайки. Он может отключать участок линии во время бестоковой паузы, создаваемой отключением ближайшего к отделителю со стороны питания выключателя. Это позволяет иметь на головном выключателе линии или пункте секционирования простую защиту и не требует дополнительного разъединителя для создания видимого разрыва при работах на отпайке.

Относительная простота конструкций выключателей нагрузки, их малая стоимость, а также положительный опыт эксплуатации позволяют сделать вывод о целесообразности широкого применения этих аппаратов. Недостаток выключателей нагрузки - невозможность АПВ и отключения ТКЗ.

Для секционирования сети так же большое распространение получили вакуумные выключатели. Основным недостатком вакуумных выключателей, являются существенно более высокая стоимость по сравнению с аналогичными выключателями других типов.

В настоящее время в распределительных электросетях широкое применение получили вакуумные реклоузеры, представляющие собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики.

Выбор типа аппарата определяется требованиями к надежности электроснабжения и существующей схемой сети 10 кВ, материально-техническими возможностями и предполагаемым уровнем автоматизации распределительной сети.

Оперативные расчёты потерь электроэнергии в сетях 0,38–10 кВ

Макаревич В.В.

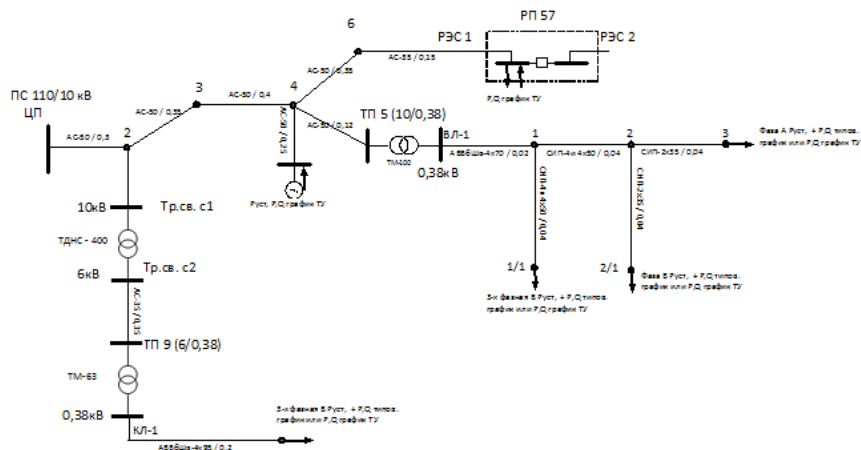
Белорусский национальный технический университет

Современное информационное обеспечение распределительных электрических сетей 0,38–10 кВ, организованное на основе ОИК, позволяет выполнять оперативные расчёты потерь в данных сетях методом графического интегрирования.

Схема (см. рисунок) и все расчеты выполняются в пофазном исполнении. В качестве исходной режимной информации используются:

- графики нагрузок P и Q , снятые цифровыми приборами учета на головных участках распределительных линий 6–10 кВ; линиях связи 6–10 кВ между сетями разных районов электрических сетей (по схеме РП 57); автономных источниках дополнительной генерации (на рисунке узел 4);
- установленная активная мощность потребителей сети 0,38 кВ;
- типовые (полученные в условиях эксплуатации) графики нагрузок однофазных потребителей сети 0,38 кВ и их установленные мощности.

Расчет режима такой сети (вернее, серии расчетов режимов) выполняются сверху вниз от источника питания сети 10 кВ к конечному потребителю сети 0,38 кВ. Расчет ведется с учетом потерь мощности на участках и по фактическим напряжениям узлов/



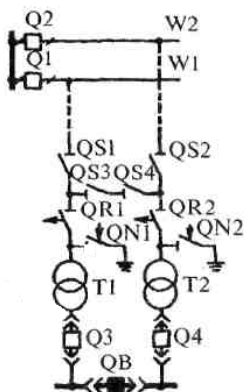
Построение лабораторной модели микроконтроллерного АПВ линии с масляным выключателем

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших задач при создании программных лабораторных комплексов является возможность реализовывать прототипы без применения дополнительных средств. Рассмотрим порядок построения прототипа системы управления с использованием средств комплекса CoDeSys и комплекса клиента MatrikonOPCExplorer. Matrikon OPC Explorer — это специализированное программное обеспечение для работы с OPC-серверами.

В комплексе CoDeSys посредником между средой разработки и ПЛК служит специальное приложение — шлюз связи (gateway). Шлюз связи взаимодействует с интегрированной средой через Windows сокет-соединение, построенной на основе протокола TCP/IP. По умолчанию шлюз связи настроен на локальную работу (local host) и запускается автоматически при установлении связи с ПЛК из интегрированной среды.



Для создания лабораторной модели АПВ линии в качестве ПЛК используются средства комплекса CoDeSys, а в качестве имитации внешнего возмущения — Matrikon OPC Explorer.

Для реализации АПВ, на языке LD, написана программа, реализующая действия автоматики для случаев неустойчивого и устойчивого повреждения выключателя Q3. Управление этими состояниями выполняется из среды Matrikon OPC Explorer. Мнемосхема, изображенная на рисунке, отображает порядок работы оборудования в случае аварийных ситуаций. Лабораторная модель позволяет студенту в реальном времени ознакомиться с работой программного комплекса CoDeSys, настройкой параметров OPC сервера и передачей информации по каналам связи.

Повышение эффективности использования трансформаторного парка распределительных электросетей

Петрашевич Н.С.

Белорусский национальный технический университет

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.

Упрощённый метод решения задачи об оптимизации замены трансформаторов предполагает замену установленного трансформатора на новый по критерию максимума индекса доходности. Экономический расчёт, предполагает списание старого трансформатора как отработавшего свой ресурс. Однако на практике может сложиться ситуация, когда трансформатор, заменённый новым на одной подстанции, будет вполне работоспособным и может быть установлен на другой подстанции энергосистемы и продолжит своё функционирование. Такая практика замены может быть оправдана при ограниченных финансовых ресурсах и требует тщательного технико-экономического обоснования. Алгоритм решения данной задачи представлен ниже. Теоретически, оптимизация электрической сети возможна только за счёт замены трансформаторов. Это может быть следствием значительного расхождения номинальных мощностей трансформаторов и величины их реальной загрузки. В таком случае решение представляет собой замкнутый маршрут движения вдоль рёбер – контур. Для наилучшего маршрута вес такого контура должен быть отрицательным или, при наличии нескольких отрицательных контуров, наименьшим из отрицательных. Возможное присутствие отрицательного цикла в графе замены не позволяет использовать некоторые алгоритмы поиска в полном объёме, например, такие как алгоритм Дейкстры и Флойда-Уоршелла. Поэтому для специфической задачи оптимизации размещения трансформаторов использование алгоритма Беллмана-Форда представляется наиболее целесообразным.

Разработанный алгоритм оптимального размещения трансформаторов может быть успешно реализован на ПЭВМ для оптимизации распределительных электрических сетей. Помимо очевидных технических ограничений, алгоритм, с некоторыми доработками, может использоваться и для более сложных случаев оптимизации.

Концепция обучения по специальности «Электроэнергетические системы»

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Диплом инженера является пожизненным сертификатом на занятие должностей и проведение работ связанных, в том числе, с опасностью для здоровья и жизни людей.

Совокупность знаний и навыков получаемых при обучении специальности по большей части ориентировано на работу по окончании учебы и не всегда достаточна для решения задач организационного управления на руководящих должностях.

Развитие системы образования естественным образом связана с актуализацией предлагаемых знаний, адаптацией формируемых навыков требованиям отрасли, использованию адекватных времени методик обучения и совершенствованию педагогического процесса. Практически ничего не говорится о корпоративной культуре и идеологии профессии

Представляется целесообразным выделение основополагающих дисциплин и более строгая координация прочих дисциплин специальности, фактически более полно раскрывающих разделы и детали специальности. Одновременно все дисциплины группируются в циклы внутри которых собраны близкие по предмету изучения. Курирование отдельных циклов следует поручить ведущим доцентам и профессорам кафедры. Следование рекомендациям о свободе выбора студентом дисциплин и специализаций логично увязать с ответом на вопрос для кого студент проходит обучение – для себя, направившего его предприятия или отрасли экономики, является ли его обучение платным или бюджетным.

Подачу материала и аттестацию навыков в период обучения следует дифференцировать от простой суммы знаний к решению стандартных задач и умению проводить сравнительный анализ. Способность делать выбор, оперировать не только жестко детерминированными понятиями но и не вполне определенными категориями должны быть основой образования специалистов руководящего звена. Идеальным вариантом можно считать ориентацию студента на уровень подготовки для работы линейным мастером, проектировщиком или руководителем предприятия или даже отрасли.

Существенно должна быть усилена связь с отраслью - от более плодотворных учебных производственных практик до принятия участия специалистов отрасли в формировании учебных программ и непосредственно учебном процессе.

Учет эффективности изменения переменных при оптимизации режимов энергосистем по напряжению и реактивной мощности

Прокопенко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что задача оптимизации режимов энергосистем по напряжению и реактивной мощности является весьма эффективным мероприятием по улучшению технико-экономических показателей работы электрических сетей. Она не связана с дополнительными капитальными затратами и относится к числу первоочередных, решаемых в энергосистемах.

Известные алгоритмы решения данной задачи формулируют ее как

$$\min \{ \Delta P(K, Q) / K, Q \in R \},$$

где ΔP – суммарные потери активной мощности в расчетной схеме сети; K , Q – векторы независимых переменных: коэффициентов трансформации автотрансформаторов связи и реактивных мощностей источников; R – область допустимых решений, ограниченная равенствами и неравенствами технических ограничений.

Для решения данной задачи применяется ряд оптимизационных методов, учитывающих дискретность и непрерывность изменения переменных, связанность, несогласованность. Алгоритмы предусматривают поочередное изменение векторов переменных, например, первым изменяется вектор K , а вторым – вектор Q или наоборот. В обоих случаях задача как-то решается: потери снижаются, но на разную величину и при этом напряжения в ряде узлов схемы сети достигают допустимых пределов.

Для более точного решения задачи разработан алгоритм на основе использования пошагового метода оптимизации с анализом предыстории.

Оптимизационный расчет выполняется в следующем порядке:

а) по результатам пошаговых сравнительных расчетов режимов сети выбирается коэффициент трансформации, который в наибольшей степени уменьшает величину потерь мощности в сети и при этом рассчитывается суммарное изменение напряжений узлов схемы сети;

б) по результатам пошаговых сравнительных расчетов режимов сети выбирается источник реактивной мощности, который в наибольшей степени уменьшает величину потерь мощности в схеме сети при условии, что изменение мощности его приводит к суммарному изменению напряжений узлов схемы сети, равному по величине от изменения коэффициента трансформации, выбранного на предыдущем этапе расчета;

в) сравниваются два решения и выбирается оптимальное и далее оптимизационный расчет повторяется.

Применение искусственных нейронных сетей для определения расстояния до места повреждений в электрических сетях

Рубинштейн Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

В качестве основного средства для определения расстояния до мест однофазных повреждений в работе используются искусственные нейронные сети: многослойный перцептрон, с алгоритмами обучения Левенберга-Марквардта и байесовской регуляции.

Основные исследуемые направления:

1. оценка влияния переходного сопротивления в месте замыкания на землю на точность определения расстояния до места повреждения;
2. оценка влияния нагрузки на сеть на точность определения расстояния до места повреждения;
3. оценка влияния количества исходных данных на точность определения расстояния до места повреждения.

Критерием оценки выступает погрешность определения расстояния до места однофазного повреждения.

По результатам исследования установлено, что величина нагрузки незначительно влияет на точность определения места повреждения с помощью искусственной нейронной сети. Основным фактором, ограничивающим точность определения расстояния с помощью ИНС является переходное сопротивление в месте замыкания. Кроме того, точность определения расстояния до места однофазного повреждения зависит от величины выборки данных для обучения. Так при достижении количества данных для обучения порядка тысяч, график приближается к асимптоте, и точность определения расстояния до места повреждения с использованием искусственной нейронной сети становится приемлемой для использования в условиях эксплуатации.

Точность определения расстояния до места однофазного повреждения с использованием правильно обученной искусственной нейронной сети колеблется в пределах от 6% до 10%, что является приемлемым показателем использования подобного метода в промышленной эксплуатации.

Так же в работе представлена структурная схема устройства поиска мест повреждений, использующая вышеприведенный подход.

Оптимизация режимов основных электрических сетей по напряжению и реактивной мощности дискретным методом в MATLAB

Золотой А.А., Секацкий Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Активное применение в замкнутых электрических сетях устройств продольно-поперечного регулирования позволяет снизить потери активной мощности. Нахождение оптимальных потерь строится на расчёте серии нормальных режимов сети с последующим их анализом. Дискретная оптимизация потерь часто выполняется методом покоординатного спуска. Основным его недостатком является сильная зависимость результата от выбора последовательности вводимых в оптимизацию переменных.

Авторами предлагается метод дискретной оптимизации режимов электрических сетей, свободный от указанного недостатка. Выбор последовательности оптимизируемых переменных основан на одношаговом анализе предыстории. Шаг в направлении улучшения целевой функции выполняется переменной, которая оказывает наибольшее влияние. Нахождение такой переменной выполняется анализом предыстории их изменения в предыдущей шага.

Эффективность метода исследовалась сопоставлением его с методом покоординатного спуска. Оба метода были применены к решению в среде MATLAB задачи оптимизации по напряжению и реактивной мощности электрической сети 220-750 кВ, состоящей из 69 узлов, 67 линий и 24 автотрансформаторов. Переменными задачи являлись 11 автотрансформаторов связи. Методом покоординатного спуска удалось снизить потери на 5,7 % за 55 шагов, а методом с одношаговым анализом предыстории – на 7,5 % за 14 шагов. Трудоемкость шага предлагаемым методом на 6 % выше чем в методе покоординатного спуска. На рис. 1 показано изменение потерь активной мощности в сети при оптимизации двумя методами.

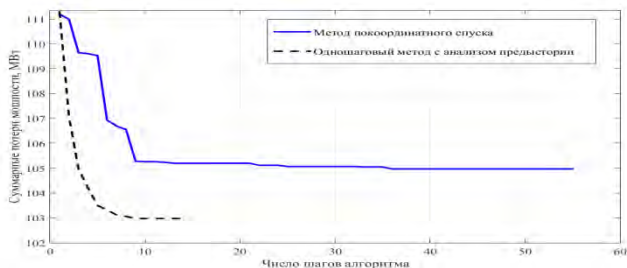


Рис. 2 – Изменение потерь активной мощности в сети

Разработка технологических карт на установку промежуточных и анкерно-угловых повышенных металлических опор воздушных линий электропередачи напряжением 330 кВ

Короткевич М.А., Сергейчук И.М., Соколова М.Е.
Белорусский национальный технический университет

Повышенные в 1,5 раза (до 60 м) металлические опоры потребовались для обеспечения прохождения впервые сооружаемой в Республике Беларусь воздушной линии электропередачи напряжением 330 кВ над лесным массивом. В состав технологической карты входит: разработка схем установки опор и падающей стрелы, выбор конструктивного устройства и определения размеров падающей стрелы, выбор площади поперечного сечения такелажных приспособлений.

Масса промежуточной опоры – 22,9 т, анкерно-угловой – 41,7 т. Положение центра тяжести опор – 24,5 м (промежуточная) и 24,9 м (анкерно-угловая). Установку опор предполагалось выполнить с помощью падающей стрелы, высота которой варьировалась от 24 до 36 м.

Нами были указаны места закрепления подъёмного троса к опорам. Усилия, возникающие в падающей стреле, подъёмном и тяговом тросах, а также горизонтальное усилие, действующее на фундамент опоры в начале подъёма, при достижении опорой 30° и после выхода падающей стрелы из работы, определялись графо-аналитическим методом. Расчётные значения указанных усилий вычислялись путём их умножения на коэффициент запаса прочности (равен 6,0) и коэффициент, учитывающий рывки тяговых механизмов (равен 1,4). По данным усилиям выбиралась площадь поперечного сечения такелажных приспособлений.

Установлено, что при увеличении высоты падающей стрелы с 30 до 36 м, усилия на подъёмный, тяговый тросы и фундамент снижаются в 1,2 раза.

Рассматривались различные варианты мест установки падающей стрелы (у фундамента и дальше фундамента в сторону опоры под углами 45° и 90° к горизонту). Наиболее целесообразным признан вариант установки падающей стрелы у фундамента под углом 45° в сторону опоры, подъём которой, в свою очередь, в исходное положение осуществляется грузо-подъёмным краном и двумя тракторами.

Предложена решётчатая конструкция А-образной падающей стрелы из уголковой стали высотой 36 м и базой (нижней балкой) размером 18 м. По условиям прочности и устойчивости определены размеры уголков для конструирования стоек и базы падающей стрелы.

Определение надежности главных схем электрических соединений электростанций

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Выбор схем электрических соединений является важным и ответственным этапом проектирования электростанций. От выбранной схемы зависит надежность работы электроустановки, ее экономичность, оперативная гибкость (т.е. приспособляемость к изменяющимся условиям работы) и удобство эксплуатации, безопасность обслуживания, возможность расширения. Для трех типов электрических станций характерных для Белорусской энергосистемы, - теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) мощностью 3×180 МВт, государственной районной электростанции (ГРЭС) мощностью 8×300 , атомной электрической станции (АЭС) мощностью 2×1200 МВт определим показатели надежности схемы. Расчет надежности главных схем электрических соединений электростанций выполним с помощью программы "TOPAS".

Полное погашение схемы (потеря трех генераторов и одиннадцати линий) исследуемой тепловой электростанции (ТЭЦ), где закрытое распределительное устройство 110 кВ выполнено по схеме две рабочие секционированные системы шин с обходной происходит в 2,97 раза реже, чем потеря двух любых генераторов и пяти линий и в 202,1 раза реже, чем потеря одного генератора и одной линии.

Для исследуемой государственной районной электростанции (ГРЭС), где открытое распределительное устройство (ОРУ) 330 кВ выполнено по схеме две системы шин и тремя выключателями на две цепи (полупорная схема 3/2), полное погашение схемы произойти не может. Потеря четырех генераторов и трех линий происходит в 152,6 раза реже, чем потеря трех любых генераторов и двух линий.

Схема исследуемой атомной электрической станции (АЭС) выполнена также как и схема ОРУ 330 кВ ГРЭС (полупорная схема 3/2). Полное погашение схемы (отключение двух любых генераторов и семи линий) происходит в 9 раз реже, чем потеря одного любого генератора и одной линии.

По результатам расчетов видно, что показатели надежности схемы ОРУ 330 кВ исследуемой ГРЭС и АЭС имеют близкие значения, но схема ГРЭС оказалась более надежной, т.к. для нее характерно большее количество генераторов и более низкое значение частоты отказа генератора (в 1,4 раза).

Дистанционное определение расстояния до мест однофазных повреждений в устройствах микропроцессорных защит

Фурс М.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время широкое применение находят методы определения места повреждения ВЛ, основанные на измерении токов и напряжений в период короткого замыкания, называемых параметрами аварийного режима.

Существуют несколько основных методов ОМП по параметрам аварийного режима:

- 1) определение места повреждения по фазному напряжению и току поврежденного провода;
- 2) определение места повреждения по мгновенным значениям токов и напряжений;
- 3) определение расстояния до места замыкания на основе фиксации интегральных параметров аварийного режима;

По результатам исследования показано, что наиболее оптимальным методом из всех рассмотренных является метод определения места повреждения на основе фиксации интегральных параметров аварийного режима с помощью одностороннего замера. По данному методу решение сводится к простой формуле:

$$X_{1k} = \frac{X - R \cdot tg(\alpha)}{\frac{X_L}{R_L} - tg(\alpha)} \cdot \frac{X_L}{R_L},$$

где параметры α , X и R :

$$\alpha = \arg\left(\frac{\bar{I}_0}{\bar{I}_\phi + k \cdot \bar{I}_0}\right), R = Re\left(\frac{\bar{U}_\phi}{\bar{I}_\phi + k \cdot \bar{I}_0}\right), X = Im\left(\frac{\bar{U}_\phi}{\bar{I}_\phi + k \cdot \bar{I}_0}\right),$$

где \bar{U}_ϕ – фазное напряжение поврежденного провода в начале ВЛ;

\bar{I}_ϕ – фазный ток поврежденного провода в начале ВЛ;

\bar{I}_0 – ток нулевой последовательности в начале ВЛ;

k – коэффициент компенсации по току нулевой последовательности.

При использовании данного метода экспериментально установлено, что погрешность не превышает 13 % при значении переходного сопротивления в месте КЗ от 0 до 200 Ом.

Таким образом, данный метод имеет допустимую погрешность в зависимости от роста переходного сопротивления и может быть реализован в устройствах микропроцессорной релейной защиты.

Выбор экономически обоснованных мероприятий по снижению потерь электроэнергии

Фурсанов М.И., Макаревич В.В., Гецман Е.М.
Белорусский национальный технический университет

Расчет и обоснование нормативов расхода электроэнергии на её передачу по электрическим сетям выполняют с целью установления норм топливно-энергетических ресурсов при формировании тарифов на электрическую энергию. Кроме того, величина потерь необходима для решения технико-экономических задач повышения экономичности функционирования энергосистем, осуществляемые эксплуатационным персоналом: выявление очагов потерь, разработка мероприятий по их снижению, создание системы стимулирования персонала.

Задача выбора экономически обоснованных мероприятий по снижению потерь электроэнергии пока еще не решена и находится в постоянном развитии. Это объясняется ее сложностью, практическим отсутствием глубоких теоретических проработок по обоснованию рекомендаций с целью проведения качественного анализа режимов и потерь электроэнергии и однозначных критериев оценки экономичности работы электрических сетей.

В целом, в условиях эксплуатации снижение потерь (как технических, так и коммерческих) обеспечивается за счет постепенной адаптации режимов и параметров сети к реально существующим нагрузкам и применения новых типов оборудования (более экономичных схем, высокотехнологичных устройств, в том числе трансформаторов, проводников, компенсирующих и регулирующих приборов, коммутационных аппаратов, а также современных электронных систем учета и контроля электроэнергии и т.д.).

Международные эксперты рекомендуют следующие пределы технологического расхода электроэнергии:

в целом по энергосистеме: до 10 % - допустимый уровень, до 16 % - максимально допустимый;

по распределительным электрическим сетям: до 5 % - удовлетворительный уровень, до 10 % - максимально допустимый уровень.

Технически обоснованным значением фактических потерь электроэнергии зарубежные эксперты считают 10 %, что для энергосистемы Республики Беларусь вполне приемлемо.

Структурный алгоритм оценки оптимального уровня технических потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях

Фурсанов М.И.

Белорусский национальный технический университет

В докладе оценены и проанализированы загрузка и оптимальные уровни относительных технических потерь электроэнергии в основных структурных составляющих распределительных сетей.

Практическое применение разработанных теоретических положений показано ниже на примере результатов расчета одного из районов электрических сетей Республики Беларусь.

Структурный алгоритм оценки оптимального уровня потерь электроэнергии в электрической сети 0,38-10 кВ РЭС и резервов по их снижению следующий:

1. Определяем оптимальное значение (минимум) суммарных технических потерь электроэнергии $\Delta W_{\text{опт}}$ в сети 0,38-10 кВ РЭС в именованных единицах:

$$\Delta W_{\text{опт}} = 2\Delta W_{\text{уп}} = 2 \cdot 1609,360 = 3218,700 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч.}$$

2. Определяем оптимальную величину $\Delta W_{\text{опт}}$ в относительных единицах:

$$\Delta W_{\text{опт}} \% = (\Delta W_{\text{опт}} / W_p) 10^2 = (3218,700 / 40860,749) 10^2 \approx 7,88 \%$$

3. Годовой резерв по снижению потерь электроэнергии $\delta \Delta W_T$ составляет $\delta \Delta W_T = \Delta W_{\text{р}\Sigma} - \Delta W_{\text{опт}} = 4862,462 - 3218,700 = 1643,762$ тыс. кВт·ч в именованных единицах, или $\delta \Delta W_T \% = (1643,762 / 4862,462) 10^2 = 4,02\%$ от величины W_p или $(1643,762 / 4862,462) 10^2 = 33,80\%$ - от годового значения $\Delta W_{\text{р}\Sigma}$.

4. Вычисляем обобщенные эквивалентные сопротивления сети 6-10 кВ:

$$R_{\text{эс}} = \frac{\Delta W_H 10^2 T}{W_p^2 (1 + \text{tg}^2 \varphi) k_{\text{ф}}^2} = \frac{3253,112 \cdot 10^2 \cdot 8760}{40860,749^2 (1 + 0,771^2) \cdot 1,116^2} = 0,859 \text{ Ом};$$

5. Вычисляем $k_{\Delta W}^{0,38-10}$ по формуле:

$$k_{\Delta W}^{0,38-10} = \frac{10}{5812 \cdot 1,118} \sqrt{\frac{1609,350 \cdot 10^6}{0,859 \cdot 8760}} = 0,079 \text{ или } 7,9 \%$$

**Оптимальные уровни потерь
в распределительных электрических сетях энергосистем**

Фурсанов М.И.

Белорусский национальный технический университет

Исследована разветвленная электрическая сеть 0,38-10 кВ и определены условия обеспечения оптимальной загрузки сети и технически обоснованных (минимальных) значений технологического расхода электроэнергии. Показано, что оптимальное значение (минимум) суммарных технических потерь электроэнергии в электрической сети 0,38-10 кВ достигается при равенстве условно-постоянных и переменных (нагрузочных) потерь в сети и в именованных единицах за период T характеризуется удвоенной величиной условно-постоянных потерь. Оптимальная загрузка трансформаторов определяется их техническими характеристиками, равна примерно 40 % «соответствует относительно небольшому значению минимальных потерь - 1,73 %. В целом в сети 0,38-10 кВ оптимальный коэффициент загрузки при неизменном составе оборудования в значительной мере зависит от ее конфигурации и конструктивного исполнения. Чем больше разветвленность сети, тем меньше будут эквивалентные сопротивления линий и тем больше значение оптимального коэффициента загрузки.

Основное влияние на формирование и величину суммарных потерь электроэнергии в сети 0,38-10 кВ оказывают сети 0,38 кВ - потери в них при прочих равных условиях, как правило, больше потерь в сети 10 кВ в несколько или даже в десятки раз. Потери в сети 0,38 кВ заметно снижают величину обобщенного коэффициента загрузки сети и увеличивают оптимальное значение относительных потерь в сети 0,38-10 кВ. При этом оптимальные суммарные потери в сети в именованных единицах не меняются.

Разработанный структурный алгоритм анализа технических потерь электроэнергии в сети 0,38-10 кВ позволяет оценить фактическую и оптимальную загрузки сети, определить минимум и резервы по снижению потерь, однако часто обеспечивается только в условиях очень незначительной загрузки линий и трансформаторов. Поэтому минимум технических потерь не следует принимать в качестве окончательного критерия оптимального состояния сети, которое, в конечном итоге, должно находиться из экономических соображений, например, по минимальной стоимости передачи электрической энергии.

**Снижение стоимости прокладки воздушных линий
электропередачи через лесные массивы**

Чайков И.А.

Белорусский национальный технический университет

Цель исследования состоит в снижении стоимости прокладки воздушных линий электропередачи (ВЛ) через лесные массивы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- 1) обоснование целесообразности применения опор того или иного типа для сооружения ВЛ;
- 2) расчет технико-экономических показателей сооружения линий;
- 3) учет показателей надежности с применением метода многоцелевой оптимизации.

Актуальность решения проблемы, состоящей в снижении стоимости прокладки ВЛ через лесные массивы, применительно к Республике Беларусь заключается в следующем. В связи со строительством в Республике Беларусь атомной электрической станции (АЭС) появилась необходимость связать ее с энергосистемой страны. Выдача полной мощности Белорусской АЭС (2400 МВт) намечается по семи линиям электропередачи (ЛЭП) напряжением 330 кВ. В целях уменьшения ширины просек при прохождении трасс ЛЭП 330 кВ через лесные массивы используются современные повышенные металлические опоры. Прохождение ВЛ над лесом позволит сохранить ценные лесные массивы и существенно сэкономить средства по вырубке и обслуживанию просек. Однако необходимо учесть тот факт, что сооружение, монтаж и эксплуатация линий с применением массивных опор требуют более значительных трудозатрат и финансовых вложений, чем для обычных линий. Применение таких опор увеличивает степень защищенности ВЛ от повреждения падающими деревьями. Но важно иметь в виду, что опыта эксплуатации таких опор для Республики Беларусь нет, а значит очень сложно оценить эксплуатационные характеристики ВЛ. Поэтому необходимо уделить значительное внимание не только снижению стоимости сооружения ВЛ над лесом, но и оценке условий их надежной эксплуатации.

Для обеспечения передачи электроэнергии с меньшей стоимостью необходимо разработать методику оценки целесообразности применения различных типов опор для прохождения трассы линии через лесные массивы. Для этого следует определить конструкцию опоры, схему питания светоограждения, условия эксплуатационного обслуживания ВЛ.

Оптимальные уровни технологического расхода электроэнергии в РЭС энергосистем

Щербинская Д.И., Фурсанов М.И.

Белорусский национальный технический университет

Исходя из задачи достижения наиболее экономичного использования всех средств производства, самое пристальное внимание должно уделяться качественному расчёту и особенно оптимизации уровня потерь электрической энергии, как в условиях эксплуатации, так и при проектировании энергосистем. Снижение потерь электроэнергии в распределительной электрической сети позволяет в конечном итоге снизить затраты на нефтепродукты, которых в Республике Беларусь практически нет и которые, соответственно, приходится импортировать.

Определение оптимальных технических потерь дает понять, что при некотором сочетании топологических параметров электрических сетей (типы и номинальные мощности трансформаторов, марки и сечения проводов, длины ЛЭП и т.д., включая характеристики располагаемых средств регулирования) и электрических нагрузок существует некоторый теоретически возможный минимум технологического расхода электрической энергии. Он соответствует идеальным условиям эксплуатации электрических сетей.

Основной целью проекта является определение оптимальных уровней технологического расхода электроэнергии, связь их с экономической составляющей, а также разработка стратегии их достижения и внедрения.

Основная методика заключается в нахождении зависимости фактических потерь электроэнергии от загрузки сети, нахождение оптимума по техническим и экономическим критериям и разработка и внедрение мероприятий по приближению фактического уровня потерь к оптимальному.

Основной стратегический путь этого снижения – совершенствование учёта отпущенной в электрическую сеть и полезно потребленной электроэнергии. Для этого необходимо создание программ по определению состояния сети в режиме реального времени, расчет режима и быстрое изменение параметров сети для приведения режима к оптимуму.

**Оценка балансовой надёжности концентрированных
электроэнергетических систем**

Юршо Е.Л., Короткевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Оценим балансовую надёжность Белорусской энергосистемы как концентрированной энергосистемы самостоятельно без внешней помощи обеспечивающей потребителей электрической мощностью и энергией.

В зарубежной литературе балансовая надёжность оценивается пятью показателями LOLE (среднее число дней дефицита мощности в год), LOLH (среднее число часов дефицита мощности в год), LOLP (вероятность возникновения дефицита мощности), EUE (ожидаемое значение недопоставленной электроэнергии) и δ (индекс надёжности). Нормативное значение индекса надёжности для энергосистем стран СНГ составляет 0,996, в США и Канаде 0,9997. В литературе отмечается, что на уровне энергосистемы целесообразно использовать следующие взаимозависимые показатели надёжности: коэффициент технического использования, т.е. математическое ожидание суммарной продолжительности безотказной работы, час за год, отнесённое к продолжительности года (т.е. 8760 ч); среднее значение недоотпуска электроэнергии за год; относительное удовлетворение потребителей электроэнергией (или индекс надёжности δ), получаемый отношением фактически отпущенной электроэнергии потребителям за год к требуемой энергии (энергии спроса) за этот период.

Белорусская энергосистема представлялась шестью узлами, в каждом из которых есть генерирующие источники и потребители электроэнергии, и восьмью связями между узлами. Только в одном узле максимум нагрузки превышает установленную генерирующую мощность. Располагаемая мощность энергосистемы превышает максимум нагрузки в 1,6 раза. Вероятность безотказной работы объединённой энергосистемы определялась произведением вероятности безотказной работы генерирующих источников и межсистемных связей.

Полученное высокое значение индекса надёжности (0,99999) свидетельствует о возможности полной реализации собственной установленной генерирующей мощности, при полном удовлетворении спроса на электроэнергию. Такая высокая степень надёжности может быть объяснена несоответствием режимов электропотребления принятых при нормировании надёжности, а также огромными вычислительными сложностями. Поэтому при оценке балансовой надёжности необходимо учитывать ошибки прогнозирования.

Оптимальные технические потери электроэнергии в распределительных электрических сетях энергосистем

Фурсанов М.И.

Белорусский национальный технический университет

Под оптимальными техническими потерями в распределительных электрических сетях понимают минимум суммарных относительных потерь электроэнергии, соответствующий равенству условно-постоянных и переменных потерь в сети. В распределительных электрических сетях 0,38-6-10 кВ суммарные технические потери электроэнергии $\Delta W_{0,38-10}$ равны

$$\Delta W_{0,38-10} = \Delta W_{л6-10} + \Delta W_{л0,38} + \Delta W_{нт} + \Delta W_x, \quad (1)$$

где $\Delta W_{л0,38}$ – нагрузочные потери электроэнергии в линиях 0,38 кВ.

Оптимальное значение коэффициента загрузки сети 0,38-10 кВ, при котором величина относительных технических потерь $\Delta W_{0,38-10}$ будет минимальной, определяется следующим образом:

$$k_{0,38-10} = \frac{U_{ном}^{6-10}}{S_{ном}} \sqrt{\frac{\Delta P_x}{R_{л6-10} + R_{л0,38} \left(\frac{U_{ном}^{6-10}}{U_{ном0,38}}\right)^2 + R_T}}, \quad (2)$$

где $U_{ном}^{6-10}$ – номинальное напряжение сети (для сети 6 кВ $U_{ном}^{6-10} = 6$, для сети 10 кВ $U_{ном}^{6-10} = 10$); $R_{л0,38}$ – активное сопротивление линии 0,38 кВ.

Исследования показали, что коэффициент загрузки $k_{0,38-10}$ будет меньше загрузки сети 6-10 кВ из-за того, что в знаменателе формулы (2) появились дополнительные потери активной мощности в линиях 0,38 кВ. При этом, коэффициент загрузки сети 0,38-10 кВ по сравнению с сетью 6-10 кВ и трансформаторами, резко снизился: $k_{0,38-10} = 0,021 < k_{6-10} = 0,364 < k_{з\Delta t} = 0,370$, а общий процент потерь в сети

$$\Delta W_{0,38-10} = \frac{2 \cdot 0,27 \cdot 10^2}{0,021 \cdot 100 \cdot 0,8 + 0,27} = 27\% \text{ сильно вырос:}$$

$$\Delta W_{0,38-10} = 27\% \gg \Delta W_{6-10} = 1,82\% > \Delta W_T = 1,80\%.$$

Из этого следует важнейший вывод: в электрической сети 0,38-6-10 кВ оптимальный коэффициент загрузки, определяющий минимальный уровень относительных технических потерь в ней, зависит от конфигурации сети и ее конструктивного исполнения. При этом основное влияние на величину суммарных технических потерь электроэнергии в сети 0,38-6-10 кВ оказывают сети 0,38 кВ – потери в них, как правило, больше потерь в сети 6-10 кВ в несколько или даже в десятки раз.

**Возобновляемые источники энергии.
Фотоэлектрические системы**

Байрашевский М.Я.

Белорусский национальный технический университет

Для работы фотоэлектрической системы необходим свет. Фотоэлектрические технологии применяются при рассеянном солнечном излучении, а также при прямом солнечном свете.

При попадании солнечного света на фотогальванические элементы, вырабатывается постоянный ток. Количество полезной электроэнергии, вырабатываемой фотоэлектрическим модулем, пропорционально интенсивности световой энергии, которая попадает в область превращения.

Каждая фотоэлектрическая система состоит из двух основных аппаратных компонентов: фотоэлектрические модули (или батареи) и компоненты «баланса системы», (БС). ФЭ модули – ФЭ элементы, которые преобразуют энергию солнца, а БС способствует доставке и хранению электроэнергии.

Благодаря модульности фотоэлектрических систем, можно производить градацию ФЭ в зависимости от различных способов использования. В настоящее время проводится различие по степени «интеграции в сооружение» ФЭ системы:

- «Автономные» ФЭ единицы, которые не устанавливаются на существующие структуры на долгий промежуток времени и часто не подключаются к сети;
- «Накладные» солнечные панели, которые размещены на существующих структурах и подключены к существующим сетям электроэнергии;
- «Интегрированные», которые не устанавливаются на созданную структуру, а скорее становятся частью зданий (и часто подключены к сети).

Интегрированные системы можно сгруппировать в два основных класса: фасадные системы (связанные с наружным покрытием), и кровельные системы. Интегрированные системы известны за их обычно «футуристический» вид, который часто делает их «престижный фасад» подходящим для муниципальных и правительственных зданий.

**К вопросу выбора силовых агрегатов для блок-станций
промышленных предприятий**

Воробей В.В.

Белорусский национальный технический университет

Устойчивый интерес промышленных предприятий к внедрению новых или наращиванию существующих генерирующих мощностей в настоящее время обусловлен не только использованием тепловой энергии в технологических процессах, но и несовершенством действующей в Республике Беларусь тарифной системы, вынуждающей предприятия искать альтернативные пути энергообеспечения. К таким путям относятся применение на промышленных предприятиях собственных электростанций (блок-станций) и построение полностью автономных систем электроснабжения. Установленная мощность блок-станций в стране ежегодно увеличивается. В 2016 году она достигла 761,1 МВт, что составило 7,8% от установленной мощности Белорусской энергосистемы.

Проведенные исследования показывают, что в качестве силовых агрегатов, осуществляющих привод электрических генераторов, на блок-станциях применяются газопоршневые двигатели, газовые турбины и микротурбины, являющиеся разновидностью газовых турбин. Газопоршневые электростанции отличаются простотой конструкции, надежностью, гибкостью в выборе топлива и относительно высоким электрическим КПД (до 40-45%). Применение газовых турбин в качестве силовых агрегатов значительно упрощает задачу получения относительно большой мощности электростанции в ограниченном пространстве промышленного объекта. Микротурбинные установки характеризуются высокой эффективностью в диапазоне нагрузок от 0 до 100%, отсутствием вибрации, а также наилучшими экологическими показателями. К основным критериям, определяющим выбор типа электросилового агрегата, относятся требуемая единичная электрическая и тепловая мощность, стоимость оборудования, эффективность использования топлива, а также удельные затраты на эксплуатацию и сервисное обслуживание. Сравнение удельных капитальных вложений, затрат на эксплуатацию и сервисное обслуживание, а также особенностей различных типов силовых агрегатов показывает, что газовые турбины следует применять при установленной электрической мощности станции свыше 10 МВт. При меньшей мощности предпочтение необходимо отдавать газопоршневым двигателям. Микротурбинные установки целесообразно применять лишь в ограниченных случаях при общей установленной мощности энергоустановки менее 1 МВт.

Задачи управления электрическим освещением

Гаврилович О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Управление электрическим освещением необходимо для решения таких важных задач как экономия электроэнергии, максимальное использование естественного освещения, достижение наиболее комфортной освещенности помещения, т.е. управление освещением по определенным сценариям, а также увеличение срока службы используемых источников света и снижение стоимости их обслуживания.

Для решения поставленных задач системы управления освещением предполагают наличие ручного регулирования освещенности на рабочих местах при помощи дистанционных пультов управления осветительными установками, когда требуется изменять световую среду в помещении в течение рабочего дня; использование датчиков присутствия для автоматического учета присутствия людей в освещаемом помещении и наличие таймеров задержки выключения освещения; автоматическое обеспечение заданной освещенности на рабочих местах с учетом интенсивности естественного света при помощи различных фотоэлементов на рабочей поверхности; контроль исправности светильников и режима их работы, контроль напряжения, тока, энергопотребления, характеристик качества электроэнергии; а также наличие контроллера с часами реального времени, который по заданной программе учитывает время суток, время года, дни недели для автоматизации процессов управления. Благодаря автоматизации управления освещением в осветительных установках в совокупности с применением современных, экономичных и долговечных источников света возможна значительная экономия электроэнергии по сравнению с нерегулируемым освещением.

Использование систем управления наружным освещением способствует повышению безопасности дорожного движения, позволяет осуществлять включение и выключение светильников полностью или по группам, дискретное или плавное регулирование их светового потока, обеспечивает максимальную зрительную адаптацию при проезде через тоннели. Системы управления освещения могут применяться как в освещении офисных, так и промышленных помещений, а также в наружном освещении дорог.

Экологические аспекты воздействия ветроэнергетических установок на окружающую среду

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

Ветроэнергетические установки используют возобновляемую энергию ветра, они не создают никакой эмиссии вредных газов в атмосферу, а также не требуют транспортировки топлива [1]. С точки зрения защиты окружающей среды ветроэнергетика – наилучший выбор, оказывающий позитивное влияние и в глобальном, и в региональном масштабе. Использование ветровой энергии снижает риски изменения климата, повышения кислотности, снижения содержания кислорода за счет чрезмерного роста растений в источниках воды и последующего разрушительного воздействия этих факторов на природную среду и здоровье человека.

При сжигании ископаемого топлива (угля, нефти, газа) происходит эмиссия парниковых газов – диоксида углерода, оксидов азота и серы, летучих органических соединений и других., а также сажи и шлака. Добыча топлива из шахт, нефтяных и газовых скважин оказывает серьезное местное воздействие на окружающую среду и сопровождается эмиссией вредных газов в атмосферу [2].

Подсчитано, что в течение всего жизненного цикла ветроэнергетического проекта, выполненного на базе 12-ти ВЭУ типа SWT-3.2-113 DD, будет произведено 2 079 ГВт/ч электроэнергии [4]. Это предотвратит выброс в атмосферу 2 491 200 тонн углекислого газа, для поглощения которого лесом площадью 65 км² понадобилось бы 20 лет.

Литература

1. Васильев, Ю.С. Экология использования возобновляющихся энергo-источников / Ю.С. Васильев, Н.И. Хрисанов. – Л.: ЛГУ, 1991. – 343 с.
2. Новаковский, Б.А. Воздействие объектов ветроэнергетики на окружающую среду / Б.А. Новаковский и др. // Геодезия и картография. – 2013. №10. С. 39-44.
3. Ролик Ю.А. Управление инновационными ветроэнергетическими проектами. Монография / Ю.А. Ролик. Рига: Институт транспорта и связи, 2008, 186 с.

Обеспечение требований по размещению ВЭУ при планировании парков ветряных электростанций

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

Планируемый к строительству ветропарк должен быть размещен в одной из выбранных областей, имеющей хорошее (>5 м/с на высоте 10 м) значение среднегодовой скорости ветра. Предполагаемая к использованию под ветропарк площадь должна отличаться открытым положением этой точки и хорошими условиями обдувания, особенно по главному направлению ветра. При этом в зависимости от размеров выбранного участка следует предварительно определить возможную общую мощность ветропарка в МВт, которую предполагается установить на выбранном месте.

Для этого в процессе планирования первоначально определяется необходимая для строительства ветропарка конфигурация и площадь земельного участка [1]. При этом должны быть соблюдены определенные требования по размещению установок в ветропарке [2], которые зависят от типа выбранной ВЭУ. Эти требования следующие [3]:

- 1) удаленность ветропарка от обитаемых районов;
- 2) достаточное расстояние между ВЭУ;
- 3) достаточную удаленность ветропарка от близлежащего леса;
- 4) отсутствие в выбранном районе предполагаемого строительства ветропарка водоемов, рек, озер, болот и др.

При необходимости строительства высоковольтной линии электропередачи для подключения ветропарка к высоковольтной сети, проект по европейским нормативам считается рентабельным только тогда, когда установленная мощность ветропарка составляет не менее 10 МВт.

Литература

1. Борисовский, М.А. Концепция развития ветроэнергетики в Латвии / М.А. Борисовский и др. Министерство энергетики ЛП: Рига, 1990.
2. Требования производителя - немецкого концерна NORDEX Energy GmbH по размещению ВЭУ: Micrositing "Nordex", Norderstedt, 2005.
3. Ролик Ю.А. Управление инновационными ветроэнергетическими проектами. Монография / Ю.А. Ролик. Рига: Институт транспорта и связи, 2008, 186 с.

**Возможности снижения потерь электроэнергии
в распределительных сетях 6(10)-0,4 кВ**

Селицкая О.Ю., Зеленькевич А.И.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Известно, что компенсации реактивной мощности, выравнивания несимметрии напряжений и снижения потерь в распределительных сетях 6(10)-0,4 кВ можно добиться подключением реакторов, управляемых при помощи тиристорных вентильных ключей, которые в зависимости от режима работы сети пропускают или запирают прохождение реактивной мощности. Однако этот способ требует значительных капиталовложений, наличия сложной аппаратуры управления, постоянного контроля обслуживающего персонала за их работой. Также для этой цели используют шунто-симметрирующие устройства (ШСУ), которые имеют минимальное сопротивление токам нулевой последовательности, и почти не пропускают их на другие участки линии, что в значительной степени улучшает качество напряжений у потребителей электрической энергии и уменьшает несимметрию токов. Недостатком ШСУ является индуктивный характер нагрузки, который увеличивает реактивную составляющую тока прямой последовательности и снижает коэффициент мощности в сети.

Авторами предложен способ компенсации реактивной мощности, выравнивания несимметрии напряжений и снижения потерь в распределительных сетях 6(10)-0,4 кВ, который заключается в выравнивании нагрузок в фазах линий и понижающих трансформаторах за счет использования выключателей, присоединяющих нагрузку к фазам линии электропередач с приемными устройствами, на которые поступают управляющие сигналы с приемопередающего устройства микроконтроллера, который использует датчики тока, установленные между линией электропередач и нагрузкой.

При этом включение однофазных нагрузок линии электропередачи осуществляется исходя из условия минимизации коэффициента несимметрии тока в линии. Если значения токов в фазах линии электропередач отличаются от среднего значения тока, то часть нагрузок с фаз, имеющих ток больше среднего, отключается от них и включается на фазы, имеющие ток меньше среднего, а конкретные нагрузки, подлежащие переключению, определяются с помощью микроконтроллера из условия близости суммарных токов в фазах линий их среднему значению. Таким образом, происходит выравнивание нагрузок в линиях электропередач и фазах трансформатора, что приводит к снижению потерь в них.

**О возможности применения трехфазно-однофазных
распределительных сетей для электроснабжения
сельскохозяйственных потребителей**

Збродыга В.М., Янукович Г.И., Тюнина Е.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

В настоящее время электроснабжение сельскохозяйственных потребителей осуществляется по трехфазным линиям электропередачи напряжением 0,4 кВ от трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ.

Для сетей сельскохозяйственного назначения характерна низкая плотность электрической нагрузки. Трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ имеют значительные радиусы обслуживания, особенно в зонах жилой застройки сельских населенных пунктов. К мелким однофазным потребителям часто приходится подводить трехфазную линию электропередачи. Сечения проводов при этом берут выше необходимых, исходя из условий потери напряжения, так как их выбирают минимально допустимыми по механической прочности. Все это приводит к повышенному расходу проводникового материала в низковольтной сети.

Расход проводникового материала можно снизить, увеличив количество трансформаторных подстанций, тем самым уменьшив их мощность и радиус обслуживания. Но это приведет к увеличению их общей стоимости. Такой путь не всегда является экономически целесообразным. Поэтому мы предложили смешанную трехфазно-однофазную схему электроснабжения потребителей, включающую в себя трехфазный трансформатор со схемой соединения обмоток Y/Y_n СУ, к шинам которого подключены отходящие низковольтные линии электропередачи. При неравномерном распределении нагрузки по фазам этот трансформатор обеспечивает симметрию системы фазных напряжений, что позволяет выполнять отходящие линии электропередачи не только трехфазными, но и однофазными, и тем самым экономить проводниковый материал.

К тому же трансформатор со схемой соединения обмоток Y/Y_n СУ снижает несинусоидальность напряжений за счет компенсации высших гармоник нулевой последовательности. Повышается надежность работы сети за счет большей устойчивости трансформатора с симметрированием к однофазному короткому замыканию в линиях электропередачи и улучшается работа защиты. Снижается до допустимого скачек напряжения на неповрежденных фазах при однофазном коротком замыкании в низковольтной сети. Кроме того, повышается безопасность работы в низковольтных сетях за счет отсутствия напряжения на нулевом проводе.

О применении трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов

Збродыга В.М., Збродыга М.П.

Белорусский государственный аграрный технический университет

С повышением стоимости электроэнергии становится экономически целесообразно изготавливать и эксплуатировать трансформаторы с меньшими потерями. В трансформаторе имеют место нагрузочные потери и потери холостого хода. Нагрузочные потери определяются нагрузкой трансформатора, а потери холостого хода имеют постоянную величину. Поэтому очень важно минимизировать потери холостого хода, которые будут присутствовать на протяжении всего времени работы трансформатора, независимо от его нагрузки.

Для снижения потерь холостого хода магнитопровод трансформатора может быть изготовлен из аморфных сплавов. Аморфные сплавы получают охлаждением струи жидкого металла на поверхности вращающегося барабана. При скорости охлаждения превышающей скорость кристаллизации получают сплав, который не имеет кристаллической структуры и для него характерно неупорядоченное расположение атомов в пространстве. Для магнитопроводов трансформаторов используется, как правило, аморфный сплав следующего состава: железо - 78%, бор - 13 % и кремний - 9%. Сплав изготавливают в виде ленты толщиной 0,024мм и шириной 142, 170 или 213мм. В рулоны она свертывается из пяти слоев и ее толщина увеличивается до 0,12мм. Вследствие своей структуры аморфные сплавы являются магнитомягкими материалами с очень низкими потерями на гистерезис и на вихревые токи, обладают высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения. Использование в магнитопроводах аморфных материалов, вместо электротехнической стали позволяет сократить потери холостого хода в 4-5 раз.

Аморфные сплавы применяются при конструировании как измерительных, так и силовых трансформаторов номинальным напряжением до 10 кВ. Основными препятствиями на пути крупномасштабного применения трансформаторов с магнитопроводом из аморфного сплава являются высокие затраты и сложные методы производства таких трансформаторов. Стоимость аморфных трансформаторов на 15-40% выше стоимости трансформаторов с магнитопроводом из кремнистой стали. Но в настоящее время проявляется тенденция снижения стоимости аморфной стали, что делает ее применение в силовых трансформаторах экономически оправданным.

Критерии выбора оболочек новых КТП

Казак Д.А.

Минский электротехнический завод им. В.И.Козлова

Сооружение новых комплектных трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ связано с возведением помещения для установки электротехнического оборудования. Стоимость строительства помещения может достигать до 70 % стоимости всей КТП, а процесс строительства тянуться несколько месяцев. В связи с необходимостью снижения стоимости и сроков возведения новых объектов растет спрос на изделия максимальной готовности такие как КТП в заводской оболочке.

Основными критериями в выборе оболочки являются стоимость, время изготовления, надежность защиты электрооборудования от внешнего воздействия, сложность транспортировки и монтажа.

Бетонная оболочка конструктивно состоит из основания, корпуса и крыши, транспортируемых отдельно. Данные оболочки обладают сравнительно низкой ценой, высокой степенью защищенности электрооборудования, относительной простотой монтажа, а также возможностью установки подстанции на любую ровную поверхность. Они имеют типовые размеры, что уменьшает срок изготовления КТП. При этом значительная масса оболочки до 1500 кг/м^2 приводит к увеличению транспортных расходов так, что с учетом перевозки на расстояния более 2000 км стоимость оболочки из бетона становится выше, чем оболочки из сэндвич-панелей. Благодаря привлекательному эстетическому виду данной оболочки, КТПБ массово используются кабельными сетями для электроснабжения жилых микрорайонов.

Стоимость утепленной оболочки превышает стоимость бетонной на 50 %, при этом такая оболочка является цельной неразборной конструкцией. Данные оболочки не ограничены в габаритных размерах, устойчивы к землетрясениям, имеют массу до 400 кг/м^2 , При этом для установки КТП необходим фундамент согласно рекомендациям завода изготовителя. КТПУБ применяется для электроснабжения ответственных потребителей при использовании чувствительного оборудования.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что тенденция к использованию КТП в заводской оболочке оправдана. А правильное понимание проектантами критериев выбора оболочек новых КТП повысит эффективность вложения средств в электроснабжение.

Способы прогнозирования электропотребления в наружном освещении

Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В пунктах питания линий наружного освещения организуется приборный учёт расхода электроэнергии. Организации, занимающиеся обслуживанием осветительных установок, периодически проводят анализ существующего расхода электроэнергии. Кроме приборного учёта, расход электроэнергии можно определить расчётным путём.

Расход электроэнергии зависит от ряда факторов, среди которых время работы, тип задействованных источников света, их режим работы.

Режим работы определяется уровнем напряжения в пункте питания, расстоянием между светильниками, параметрами линии.

Уровень напряжения изменяется в течение суток. Например, для ночного режима характерно увеличение напряжения в сети, поэтому возрастает потребляемая мощность, а также происходит снижение срока службы газоразрядных ламп высокого давления.

Зная характер изменения напряжения в пункте питания в течение суток (в зависимости от поры года, месяца), можно путём расчёта режима работы линии наружного освещения спрогнозировать расход электроэнергии за расчётный период. Расчёт режима сети наружного освещения осуществляется методом последовательных приближений (итерационным путём) и зависит от способа питания линии (одностороннее, двустороннее питание). На основании расчётных значений активных мощностей в пунктах питания и суточного графика включения и отключения сети наружного освещения можно определить расчётное значение расхода электроэнергии с наименьшей погрешностью. Активная и реактивная мощности светильника зависят от напряжения на его зажимах. Потери напряжения в линии наружного освещения непосредственно влияют на электропотребление. Мощности, потребляемые светильниками, которые находятся на различном расстоянии от пункта питания, отличаются между собой. Это объясняется тем, что уровень напряжения в протяженной сети наружного освещения существенно снижается по мере удаления от источника питания.

Электроустановки наружного освещения города постоянно развиваются. Прогнозирование электропотребления в наружном освещении связано с введением новых линий, модернизацией существующих.

Особенности режимов работы наружного освещения улиц, относящихся к категории А

Козловская В.Б., Калечиц В.Н.
Белорусский национальный технический университет

К категории А городского пространства относятся осветительные установки городских транспортных и пешеходных тоннелей, магистральных и кольцевых дорог, магистральных улиц общегородского значения и др. Такие установки наружного освещения в соответствии с требованиями к обеспечению надёжности электроснабжения относят ко второй категории.

Для резервирования распределительных линий, относящихся ко второй категории по надёжности, между крайними светильниками соседних участков для магистральных улиц рекомендуется предусматривать резервные кабельные линии (нормально отключаемые перемычки) [1].

Обеспечение второй категории надёжности может осуществляться путём двустороннего питания линии наружного освещения, что позволит сохранять устойчивую работу такой линии при потере питания со стороны любого из пунктов питания.

Значения напряжений в двух пунктах питания определяют режим работы линии наружного освещения. Мощности светильников линии с двусторонним питанием отличаются между собой и определяются величиной напряжения на зажимах. Величина напряжения оказывает существенное влияние на показатели электропотребления и эксплуатационные характеристики источников света.

Производители светильников и ламп указывают параметры, при которых светильник будет стабильно включаться и устойчиво работать. Для светильников с газоразрядными лампами высокого давления номинальное напряжение равно 220 В, а допустимое отклонение равно $\pm 10\%$. Гарантированное зажигание (включение) лампы в этом случае обеспечивается при уровне напряжения на зажимах светильника не менее $220 \cdot 0,9 = 198$ В.

При проектировании линий с двусторонним питанием необходимо учитывать возможные режимы работы при потере напряжения в одном из пунктов питания, а также режимы, связанные с экономией электроэнергии (ночной режим, переход на диммирование и др.).

Литература

1. Правила устройства электроустановок. 6-е издание. М: Госэнергонадзор, 2000. 497 с.

Снижение потерь электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ с помощью симметрирующих трансформаторов

Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

В распределительных сетях напряжением до 1 кВ существует проблема, связанная со значительными перекосами напряжений по фазам. Повышенное напряжение приводит к выходу из строя электрических приборов и оборудования потребителей. Асимметрия напряжений возникает из-за неравномерного распределения однофазных нагрузок. При этом в нулевом рабочем проводе появляется ток, равный геометрической сумме фазных токов. Это приводит к дополнительным потерям. В целях уменьшения потерь электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ за счет перераспределения токов по фазам, ограничения тока в нулевом проводе и снижения перекосов напряжений, предлагается использовать трехфазный сухой симметрирующий автотрансформатор (АТС-С). Он содержит трехстержневой магнитопровод, первичные обмотки которого размещаются на всех трех стержнях, соединены в звезду с нейтралью и подключаются к сетевому напряжению, а компенсационная обмотка выполнена в виде открытого треугольника и включена последовательно с нагрузкой непосредственно у потребителя. Установка АТС-С позволяет симметрировать напряжение, и снижать потери в линиях распределительной сети. На малых промышленных предприятиях он может применяться для питания однофазных нагрузок большой мощности: сварочных трансформаторов, выпрямителей, водонагревателей и т. д.

В настоящее время все большее применение находят статические преобразователи, газоразрядные осветительные устройства, сварочные трансформаторы и т.д., генерирующие высшие гармоники тока, которые создают серьезные проблемы для систем электропитания. Увеличение общего действующего значения тока при наличии высших гармонических составляющих в системе может привести к перегреву оборудования распределенной сети. При несинусоидальных токах возрастают потери в трансформаторах, главным образом за счет потерь на вихревые токи, что требует увеличения их установочной мощности. Применение АТС-С позволяет уменьшить сечение нулевых проводников за счет компенсации потерь от третьей гармоники. К достоинствам АТС-С следует отнести также то, что они обладают способностью фильтрации токов высших гармоник, кратных трем (3, 9, 15 и т.д.), ограничивая их протекание как из сети к нагрузке, так и наоборот. Этим самым повышается качество электрических сетей и снижаются колебания напряжения в них.

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

В мировой практике газоснабжения накоплен достаточный опыт использования возобновляемых источников энергии, в том числе энергии биомассы. Биомасса очень сильно варьируется в размерах частиц, содержание влаги, зольности, теплоты сгорания и плотности в зависимости от ее источника. Основной процесс производства энергии из биомассы это сжигание в печи котла. Современные системы сжигания биомассы контролируются, имеют высокую эффективность и не загрязняют окружающую среду, но являются дорогими в проектировании и эксплуатации из-за сложной системы управления, имеют проблемы с очисткой воды и требуют высокого давления пара. Эти недостатки отсутствуют в ORC турбогенераторе. ORC (Органический Цикл Ренкина) модули представляют собой эффективный и надежный способ выработки электроэнергии при относительно низких температурах тепловой энергии. Уже более десяти лет такие системы широко применяются по всему миру мощностью от нескольких кВт до 2 МВт.

ORC – это термодинамический процесс, схожий с обычным паровым циклом, но с использованием другого носителя для работы турбины. ORC системы используют вместо воды высокомолекулярные органические жидкости, которые имеют более низкую температуру кипения. Органический носитель сжимается и двигается в замкнутом контуре с помощью насоса. Органический носитель претерпевает все фазные изменения жидкость-пар-жидкость в замкнутом герметичном контуре. Поэтому, вся система обладает исключительной надежностью и долговечностью. ORC- система позволяет гораздо более эффективно утилизировать дымовые тепловые газы, образованные в результате сгорания биомассы. Способность генерировать электроэнергию на небольших электростанциях благодаря сжиганию биомассы и использованию системы термального масла делает их очень привлекательными. ORC технология экономически целесообразна для реализации теплоэлектростанций на биомассе электрической мощностью до 2,5МВт. ORC процесс является весьма эффективным, надежным и легко управляемым. Все компоненты ORC-системе собраны и протестированы.

Система имеет следующие преимущества: высокая эффективность; высокий общий КПД турбины (до 85%); низкая механическая нагрузка на турбину из-за низкой расчетной скорости.

К вопросу надежности систем управления светодиодными светильниками

Кузьма А. Ю., Сацкевич В. Н.
Белорусский национальный технический университет

При описании технических характеристик светодиодных светильников обычно особый упор делается на типы используемых в них светодиодов. Однако, надежность современных светильников в большей степени зависит от используемого блока питания.

Светодиоды не излучают энергию в инфракрасном диапазоне длин волн (как устройства на базе других технологий), они излучают свет только в видимом спектре. Поэтому, несмотря на то, что светодиоды более энергоэффективны, чем другие источники света, они рассеивают намного больше тепла в самой лампе. Следствием рассеиваемого тепла является ограничение срока службы компонентов драйвера. Особую проблему представляют собой электролитические конденсаторы, которые используются в драйвере. Так как при таких температурах они довольно быстро высыхают, то их срок службы ограничен немногим более 10000 часами, и это становится лимитирующим фактором для длительности работы всей лампы. Проблему можно решить полной заменой электролитических конденсаторов на керамические, которые являются практически «вечными» электронными компонентами. Но здесь возникает вопрос цены по отношению к емкости конденсатора и общей целесообразности. Нет смысла в установке конденсаторов со сроком службы 100 тыс. часов в драйвер светильника, светодиоды которого прослужат до 50 тыс. часов.

Транзисторы, входящие в состав драйвера светодиодного светильника, также являются элементами, чей срок службы сильно зависит от температуры. Теоретически оптимальным выбором является БП, специально разработанный для определенной модели светильника. На практике это могут удачно реализовать либо компании, имеющие, помимо светотехнического, еще и мощный бизнес по производству электронных устройств, либо светотехнические компании, чьи БП хорошо зарекомендовали себя на рынке. В остальных случаях предпочтительным вариантом является использование в светильнике БП от ведущих фирм, специализирующихся на данном виде продукции. Использование унифицированного БП легко заменяемой конструкции важно еще и для возможного ремонта светильника, так как БП обычно выходит из строя быстрее, чем светодиоды.

Олешкевич М.М., Прокопенко Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В 1950-1960-е годы в Беларуси работало около 180 малых ГЭС общей мощностью 21 тыс. кВт, со средней годовой выработкой электроэнергии 88 млн. кВтч электроэнергии, большинство из которых впоследствии были законсервированы или разрушены.

В настоящее время действует 41 малая ГЭС мощностью 16,1 тыс. кВт, крупнейшими из которых являются: Вилейская ГЭС на реке Вилия – 2000 кВт, Осиповичская ГЭС на р. Свислочь в Могилевской области – 2175 кВт, Чигиринская ГЭС на реке Друть в Могилевской области – 1500 кВт. Остальные ГЭС - мощностью от 100 до 600 кВт. В 2013 году закончено строительство Гродненской ГЭС мощностью 17 МВт. Суммарная выработка электроэнергии ГЭС в 2008 году составила 39 млн. кВт.ч, в 2009 году – 44 млн. кВт.ч. В 2015 году выработка составила более 100 млн. кВт.ч. Программа строительства в 2011-2016 годах ГЭС в Беларуси (Постановление Совета министров Республики Беларусь от 17.12.2010г. №1838) оценивает потенциальную мощность всех водотоков страны 850 МВт. Технически доступная мощность при этом составляет 520 МВт, экономически целесообразная мощность – 250 МВт. Это означает, что электрическая мощность с учетом КПД гидротурбин (80%) и гидрогенераторов (90%) составляет: технически доступная – 374 МВт, экономически целесообразная – 180 МВт. Это также означает, что возможная выработка электроэнергии при коэффициенте использования номинальной мощности гидрогенераторного оборудования 0,4 составляет: технически доступная – 1,31 млрд. кВтч, экономически целесообразная – 0,63 млрд. кВтч. Наибольший потенциал гидроэнергетики сосредоточен в Гродненской, Витебской и Могилевской областях на участках бассейнов Немана, Западной Двины и Днепра. Признано целесообразным строительство: двух ГЭС суммарной мощностью 37 МВт на Немане (Гродненская ГЭС мощностью 17 МВт уже построена и Немновская 20 МВт - проектируется), четырех ГЭС на Западной Двине (Полоцкая, Витебская, Бешенковичская, Верхнедвинская) общей мощностью 125 МВт, четырех ГЭС на Днепре общей мощностью 20,3 МВт.

Фактические капитальные затраты на строительство ГЭС в Беларуси составляют 4000-7000 долларов на 1 кВт установленной мощности. Срок службы 50-60 лет. Срок окупаемости затрат - 15-19 лет.

Олешкевич М.М., Руденя А.С.

Белорусский национальный технический университет

Биомасса – это органические соединения углерода в виде отходов и специально выращиваемых «энергетических» растений. Энергия биомассы возникает в результате фотосинтеза под действием солнечного излучения, в процессе образования органических веществ и аккумуляции в них химической энергии. Основными источниками биомассы являются: 1) лесоразработки и отходы переработки древесины, 2) отходы растениеводства (зерновые и другие продовольственные и технические культуры), продукция энергетического растениеводства (рапс, кукуруза, кормовые бобы), 3) отходы животноводства (навоз), 4) городские стоки, мусор (твердые бытовые отходы). Переработка биомассы, связанная с извлечением энергии осуществляется термохимическими, биохимическими и агрохимическими способами. Электроэнергетический потенциал биомассы в Беларуси (без учета дров, используемых населением как традиционное местное топливо) составляет: 1) отходы лесоразработок и отходы переработки древесины при годовом объеме заготовок древесины 10 млн. м³ 1,5 млн. т у.т. в год, 2) отходы производства зерновых и других, продовольственных и технических культур, энергетическое растениеводство - 0,8 млн. т у.т., 3) отходы животноводства (крупный рогатый скот, свиньи, птица) при использовании только половины энергетического потенциала биомассы – 1,1 млн. т у.т., 4) городские стоки, мусор - 0,7 млн. т у.т. $14,6 \cdot 10^9$ кВт.ч. или 40% потребляемой в стране электроэнергии. Удельные капиталовложения в строительство биогазовых комплексов составляют 2500-3500 долл./кВт. Срок окупаемости в Беларуси – менее 8 лет.

Постановлением СМ Беларуси от 9.6.2010 г. № 885 была утверждена программа строительства биогазовых комплексов на 2010–2012 гг. (39 биогазовых установок общей мощностью 40,4 МВт для предприятий сельского хозяйства и жилищно-коммунального сектора).

Согласно Национальной программе развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг. планировалось ввести в строй биогазовые установки еще на 90 МВт.

Однако введено в эксплуатацию всего 10-12 биогазовых комплексов на птицефабриках, мусорозаводах, сельскохозяйственных предприятиях с использованием в качестве сырья отходов крупного рогатого скота, а также отходов на гидролизных заводах, на свалочном газе и пр.

Выбор параллельно работающих трансформаторов разной мощности

Анищенко В.А., Гороховик И.В.

Белорусский национальный технический университет

При наличии на понизительной подстанции нескольких трансформаторов выбор числа включенных из них на параллельную работу определяется по условию минимума приведенных потерь активной мощности.

Известно решение этой задачи для трансформаторов одинаковой мощности. В настоящей работе получены условия выбора работающих трансформаторов разной мощности.

Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей не превышало 3:1. При этом требуется равенство номинальных первичных и вторичных напряжений, тождественность групп соединений обмоток, равенство напряжений короткого замыкания. Суммарные потери активной мощности подстанции в этом случае будут:

$$\Delta P' = n \cdot \Delta P'_{xi} + \sum_{i=1}^n \beta_i^2 \cdot \Delta P'_{ki}, \quad \beta_i = k_i \cdot \frac{S_{n/cm}}{S_i}, \quad k_i = \frac{S_{ном}}{\sum_{i=1}^n S_{ном}}$$

где $\Delta P'_{xi}$ и $\Delta P'_{ki}$ - приведенные потери холостого хода и короткого замыкания, $S_{n/cm}$ - нагрузка подстанции, S_i - нагрузка трансформатора, $S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, n - число параллельно включенных трансформаторов. В случае $n=2$ для трансформаторов одинаковой мощности граница перехода от одного трансформатора к двум определяется выражением

$$S_{n/cm,зр} = S_{ном} \cdot \sqrt{n \cdot (n-1) \cdot \frac{\Delta P'_x}{\Delta P'_k}}$$

а для трансформаторов разной мощности граница перехода от менее мощного трансформатора к более мощному имеет вид

$$S_{n/cm,зр} = \sqrt{\frac{S_{ном.м1}^2 \cdot S_{ном.м2}^2 \cdot (\Delta P'_{x2} - \Delta P'_{x1})}{S_{ном.м2}^2 \cdot \Delta P'_{k1} - S_{ном.м1}^2 \cdot \Delta P'_{k2}}}$$

При дальнейшем росте нагрузки работают оба трансформатора. Условие перехода в этот режим определяется выражением

$$S_{n/cm,зр} = \left(1 + \frac{S_{ном.м1}}{S_{ном.м2}}\right) \cdot \sqrt{\frac{S_{ном.м2}^4 \cdot \Delta P'_{x1}}{(S_{ном.м1} + S_{ном.м2})^2 \cdot \Delta P'_{k2} - S_{ном.м2}^2 \cdot (\Delta P'_{k1} + \Delta P'_{k2})}}$$

Аналогично выглядят условия выбора числа параллельно работающих трансформаторов разной номинальной мощности и их замены в случае трехтрансформаторной подстанции.

УДК 621.3.072.86

Анализ расхода электроэнергии на собственные нужды электростанции сахарного комбината

Радкевич В.Н., Воробей В.В.

Белорусский национальный технический университет

На сахарном комбинате для обеспечения электрической и тепловой энергией технологического процесса применяется собственная тепловая электростанция (ТЭЦ) с установленной мощностью электрических генераторов 18МВт. К расходу на собственным нужды (СН) станции относятся затраты электроэнергии на привод вспомогательного оборудования – дымососов, вентиляторов, питательных и циркуляционных насосов и т.п. Суммарная мощность электродвигателей (ЭД) в системе СН составляет 12,5МВт, в том числе 7,7МВт ЭД напряжением 6кВ.

В системе электроснабжения СН ТЭЦ установлено шесть силовых трансформаторов общей мощностью 4380кВ·А. За год генераторами электростанции произведено 90275 тыс. кВт·ч электроэнергии. Электроприемниками СН за год расходуется 20021 тыс. кВт·ч электроэнергии, что составляет 22,2% от общего объема выработки ТЭЦ. Анализ данных, полученных от приборов технического учета, показывает, что 72,2% от общего расхода электроэнергии приходится на высоковольтные электродвигатели, а 27,8% – на трансформаторы СН напряжением 6/0,4кВ. При этом в расходе электроэнергии трансформаторами учтены потери в них и потребление электроэнергии силовыми и осветительными электроприемниками напряжением до 1кВ. Потери электроэнергии в силовых трансформаторах СН ТЭЦ за год составили 140,2тыс. кВт·ч или 2,5% от общего количества электроэнергии, переданной в сеть до 1кВ. Расчеты показали, что на электрическое освещение за год затрачено 2,9% от общего расхода электроэнергии на СН электростанции. Расход электроэнергии на СН по месяцам варьируется в широком диапазоне: от 14,9% (в мае) до 56,0% (в июле) от месячного объема выработки электроэнергии генераторами ТЭЦ предприятия.

Анализ электропотребления ТЭЦ показал, что относительные затраты электроэнергии на СН ТЭЦ имеют достаточно большие значения. Это обусловлено отклонениями реальных режимов работы электрооборудования станции от номинальных и отсутствием разделения потребления электро-

энергии на собственные и хозяйственные нужды. Повышенные затраты электроэнергии на СН вызваны также применением устаревшего оборудования, низкими коэффициентами загрузки силовых трансформаторов и высоковольтных электродвигателей.

УДК 621.311

Потребители-регуляторы электрической нагрузки горнорудных предприятий

Анищенко В.А., Сушко Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Один из косвенных методов управления электропотреблением промышленных предприятий основан на использовании потребителей-регуляторов. Они отключаются в часы максимумов нагрузки энергосистемы и работают в остальные часы суток, что способствует выравниванию графика нагрузки предприятия. В горнорудной промышленности значительное количество электроэнергии расходуется на водоотлив из шахт. Насосные станции, осуществляющие принудительный водоотлив, могут служить эффективными потребителями-регуляторами. Для исключения работы насосов в часы максимумов нагрузки энергосистемы необходимо, чтобы емкости водосборников в эти промежутки времени были свободны или позволяли принимать естественный водоотлив. Если продолжительность максимума нагрузки энергосистемы t_{\max} меньше времени заполнения водосборника t_1 (если он был откачен полностью) до максимально допустимого уровня, то насосы откачки можно отключить на промежуток t_1 . При $t_{\max} > t_1$ для обеспечения нормальных условий работы необходимо, чтобы в промежуток времени t_{\max} насосная станция работала. Часовая производительность насосной станции q_n , $\text{м}^3/\text{ч}$, при которой не произойдет переполнение водосборника, определяется выражением $q_n = q_{\text{пр}} - Q_{\text{сб}}/t_{\max}$, где естественный водоприток в водосборник $q_{\text{пр}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$ и объем водосборника $Q_{\text{сб}}$, м^3 определяют продолжительность $t_1 = Q_{\text{сб}}/q_{\text{пр}}$. Экономический эффект для рудоуправления, достигнутый за счет работы водоотливной станции в режиме потребителя-регулятора, определяется снижением платы за заявленный максимум нагрузки предприятия в часы максимумов нагрузки энергосистемы. Выигрыш для энергосистемы состоит в снижении удельного расхода топлива за счет сдвига генерируемой мощности из зон максимумов в другие зоны суточного графика.

К расчету электрических сетей, питающих светодиодные источники света

Радкевич В.Н., Михайлова Я.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время светодиодные источники света благодаря высокой световой отдаче и длительному сроку службы активно укрепляют свои позиции на рынке светотехнических изделий. Их целесообразно применять для освещения улиц, дорог, наружных территорий, а также различных вспомогательных и производственных помещений. Широкая номенклатура светодиодной продукции позволяет подобрать экономически целесообразные варианты использования светодиодных приборов на промышленных и коммунально-бытовых объектах.

Построение осветительных установок должно осуществляться на основе светотехнических и электрических расчетов. На данный момент в Республике Беларусь отсутствуют нормативно-технические и методические материалы, учитывающие специфику расчетов электрического освещения светодиодными приборами. Поэтому расчеты выполняются методами, разработанными для установок с газоразрядными лампами, что оказывает влияние на полученные результаты. В связи с этим информация о показателях электропотребления светодиодных приборов представляет определенный интерес. На кафедре "Электроснабжение" БНТУ проведены экспериментальные исследования зависимости от напряжения потребляемого тока, активной и реактивной мощностей для светодиодного прожектора типа *Kanlux PACO LED45-W* и светильника типа *L-school 16/1500/Д*. Исследования показали, что указанные световые приборы имеют стабильные значения потребляемой активной мощности, практически не зависящие от подведенного напряжения. Мощность светильника типа *L-school 16/1500/Д* при разных подведенных напряжениях соответствует паспортному значению, прожектора типа *Kanlux PACO LED45-W* - на 25 % больше, чем указана в паспорте. Реактивная мощность светодиодных приборов имеет емкостный характер, что должно учитываться при расчете режимов напряжения в осветительных установках. Показатели электропотребления светодиодных световых приборов незначительно зависят от величины подведенного напряжения. В связи с этим выбор сечений проводников, питающих светодиодные лампы, по допустимой потере напряжения не столь актуален по сравнению с сетями, к которым присоединяются традиционные источники света. Определяющим при выборе сечений проводов и кабелей является расчет по допустимому нагреву с учетом температуры окружающей среды.

Повышение энергоэффективности больничных учреждений Марокко

Русан В.И., Аит Бахажу М.*

Белорусский государственный аграрный технический университет
Белорусский национальный технический университет*

На основе приведенных исследований установлено, что в Марокко национальное производство энергоносителей обеспечивает лишь 4 % потребностей страны, при этом для производства более 95 % электроэнергии используется импортируемое углеводородное топливо. Одним из крупных потребителей электроэнергии являются больничные учреждения Марокко (БУМ), энергоэффективность которых является крайне недостаточной. Для БУМ характерны непрерывность потребления, жесткие требования к состоянию окружающей среды в помещениях, высокая энергоемкость оборудования. Удельное электропотребление в больницах составляет от 330 до 345 кВт ч/м². При этом затраты энергоносителей в БУМ в 2-3 раза выше, чем в Норвегии, Дании и других странах. Причем электрическая энергия в настоящее время является практически единственным видом энергии в больницах Марокко. В основном электроэнергия в больницах используется биомедицинским и стерилизационным оборудованием, на нужды отопления и горячего водоснабжения, станций обработки воздуха и кондиционирования, освещения, кухонь, компьютерного и информационного обеспечения. Проведенные энергетические аудиты показали, что более 70 % электропотребления в БУМ приходится на биомедицинское оборудование, освещение и кондиционирование/отопление. Замена устаревшего оборудования и оптимизация его состава согласно расчетам позволят снизить потребление электрической энергии не менее чем на 390 МВт·ч в год и уменьшить затраты больницы за электроэнергию более чем на 10 %. Повышение энергоэффективности больничных учреждений можно обеспечить за счет разработки и реализации различных энергосберегающих мероприятий, основными из которых являются:

- комплексное проведение энергетических аудитов;
- внедрение современных интеллектуальных систем учета и управления энергопотреблением;
- нормирование расхода ТЭР;
- эффективное применение компенсации реактивной мощности;
- установка систем и источников энергоэффективного освещения;
- совершенствование систем производства и хранения сжатого воздуха и вакуума и др.

Ранжирование трансформаторных подстанций и их присоединений по техническому состоянию

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

На большинстве производственных объектах ввиду недостаточного финансирования, невозможно позволить быструю и повсеместную замену электрооборудования, у которого срок службы превысил нормативное значение. Как показывает практика, на трансформаторных подстанциях (ТП) различных предприятиях Республики Беларусь эксплуатируется значительное количество силовых трансформаторов и кабельных линий, со сроком службы более 25 лет, нередко встречается и более 50 лет. Это приводит к снижению надёжности систем электроснабжения, что часто влечёт за собой аварии и внеплановые отключения. В условиях ограниченного финансирования существенной проблемой является корректный выбор оборудования, требующего замены или ремонтов в первую очередь. Следует учитывать, что наличие полностью амортизированных трансформаторных подстанций и их присоединений не означает полного исчерпания у них запаса прочности, так как реальное техническое состояние зависит от целого ряда факторов при их эксплуатации. Ранжирование трансформаторных подстанций и их присоединений по техническому состоянию заключается в разбиении парка оборудования на группы (ранги) в зависимости от имеющегося запаса прочности и, соответственно, требований к замене или ремонту. Встречается, что на производственных объектах с большим количеством ТП, замена либо ремонт электрооборудования осуществляется при выходе его уже из строя, либо исходя из опыта и знаний обслуживающего персонала, который не только постоянно меняется, но и сокращается, тем более в условиях кризиса. Так происходит, что объективных данных о реальном состоянии всего парка ТП и их присоединений нет и получить их в сжатые сроки невозможно из-за большой трудоёмкости данного обследования. Предлагается ТП оснащать счётчиками остаточного ресурса трансформаторного оборудования и отходящих присоединений, который может быть выполнен в виде отдельного устройства, либо может быть интегрированным в электронные приборы учёта электрической энергии.

Алгоритм работы предлагаемого устройства основан на зависимости износа изоляции оборудования от величины нагрузки, так как исключая из виновников повреждений персонал и брак заводов изготовителей, другими словами человеческий фактор, основной причиной повреждаемости является старение изоляции.

**Влияние выбора оборудования и места расположения
трансформаторных подстанций 6-20/0,4 кВ
на качество электрической энергии**

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблема качества электрической энергии (КЭЭ) в системах электроснабжения (СЭС) является одной из важнейших, определяющих надежность и эффективность электроснабжения потребителей. Непрерывный рост установленной мощности нелинейных, несимметричных и резкопеременных нагрузок приводит к ухудшению КЭЭ. Задача выбора оборудования и места расположения трансформаторных подстанций (ТП) 6-20/0,4 кВ обязательно должна решаться с учётом обеспечения требуемого КЭЭ. В соответствии с действующими нормативными документами, к числу наиболее важных показателей качества электроэнергии относятся отклонение, колебания, несинусоидальность и несимметрия напряжения.

Так, для компенсации отклонения напряжения все цеховые трансформаторы 6-20/0,4 кВ для изменения коэффициента трансформации должны снабжаться специальными устройствами ПБВ. Также, при выборе места расположения подстанций следует стремиться к максимальному приближению напряжения 6-20 кВ к электроприемникам, уменьшая протяженность сетей до 1 кВ. Иногда, предпочтение может отдаваться в пользу двух однотрансформаторных по сравнению с одной двухтрансформаторной подстанцией. В СЭС возможно применение трёхтрансформаторных подстанций для раздельного питания силовой и осветительной нагрузок, или при питании резкопеременных, либо ударных нагрузок. Обычно на ТП трансформаторы работают раздельно, но в ряде случаев стоит их включать на параллельную работу для обеспечения пуска и самозапуска крупных электродвигателей, и для снижения колебания напряжения. Величина несимметрии напряжения, под действием которого снижается срок службы изоляции и ухудшаются технико-экономические показатели СЭС, зависит от применяемой схемы соединения обмоток трансформаторов. Применение силовых трансформаторов 6-20/0,4 кВ со схемой соединения обмоток $\Delta-Y_0$ или $Y-Z$ (зигзаг) вместо $Y-Y_0$, позволяет на порядок снизить напряжение нулевой последовательности, а если же данное решение не приводит к требуемому снижению несимметрии, то могут быть применены трансформаторы со специальными встроенными симметрирующими устройствами.

Ярошевич Т.М.

Белорусский национальный технический университет

Естественное освещение, т.е. солнечный свет наиболее благоприятен для человека. Спектр солнца непрерывный и практически равномерный. Аналогичным, непрерывным, спектром обладают лампы накаливания. Однако, недостаток данного света, то что свет мерцает с достаточно высокой частотой, которая воздействует на нервную систему и органы зрения человека. И из-за яркости света лампы накаливания резкий взгляд на лампу слепит глаза.

Спектр люминесцентных ламп прерывистый, глаз человека этого не замечает, но это вызывает у человека повышенную усталость, раздражительность.

Люминесцентные лампы излучают ультрафиолетовый свет и при нахождении под такой лампой, на расстоянии ближе 30см провоцируется заболевание глаз и кожи. Кроме того, если данный вид лампы стоит в ночных, настольных и прикроватных осветительных приборах и находится в непосредственной близости к ним, то можно попасть в зону высокого электромагнитного излучения, это еще один фактор риска для здоровья человека.

Данный тип ламп содержит пары высокочастотной ртути, поэтому если люминесцентная лампа выполнена, не герметична или если после ее перегорания, ее не отдать в специальное место для утилизации, то лампа будет выделять опасные токсические испарения ртути, которые могут вызывать серьезные отравления, поражать нервную систему, печень, почки, легкие и т.д.

Спектр светодиодных ламп равномерный, что для наших глаз приятно и идеально. Однако, в светодиодных лампах для получения белого света используются голубой диод со световыми волнами, похожими по свойствам на ультрафиолетовые, и желтый диод. Как раз, основной риск для здоровья глаз заключается в голубом свете. В первую очередь, страдает сетчатка, чувствительная к ультрафиолетовому свету. Во-вторых, голубой свет может ухудшить состояние человека, больного возрастной макулярной дистрофией, чувствительных к свету из-за кожных болезней людей, лиц, проходящих медикаментозное лечение, а так же, нельзя забывать о том, что такие лампы подвергают глаза воздействию света, почти в 1000 раз превышающему классическое излучение.

Теплоэнергетика

Вероятностный анализ безопасности как существенная часть оценки уровня безопасности АЭС

Буров А.Л., Романко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является количественным методом оценки частоты и последствий аварий, которые могут произойти на атомных электростанциях (АЭС).

Основная польза от выполнения ВАБ заключается в детальном системном анализе проекта станции, ее эксплуатационных характеристик и внешних воздействий, включая определение доминантных вкладчиков в риск и изучение возможностей для снижения риска. ВАБ дает согласованную интегральную модель безопасности АЭС, предоставляя, таким образом, согласованную и всестороннюю структуру для принятия решений, связанных с безопасностью. ВАБ также дает количественные оценки риска АЭС, включая количественную оценку неопределенностей этих оценок. Однако, необходимо четко понимать, что получение количественных оценок риска является лишь промежуточным этапом всего процесса выполнения ВАБ; количественные оценки риска являются в основном лишь средством помощи при проведении ВАБ в решении технических вопросов безопасности.

В международной практике сформировались три уровня ВАБ:

Уровень 1: Оценка частоты повреждения активной зоны реактора.

Уровень 2: Оценка частоты возможных выбросов радионуклидов за пределы АЭС с учетом поведения контайнмента после аварии с повреждением активной зоны.

Уровень 3: Оценка рисков для населения и/или окружающей среды вследствие выброса радионуклидов за пределы контайнмента, сопровождающего аварию с повреждением активной зоны.

Основные математические методы, используемые при проведении ВАБ, включают теорию множеств, Булеву алгебру и теорию вероятности. ВАБ выполняется путем построения интегральной логической модели (обычно, набор соединенных друг с другом деревьев событий и деревьев отказов), состоящую из логических операторов и базовых событий (различные исходные события, отказы оборудования, неготовность оборудования вследствие проверок или обслуживания, отказы по общим причинам и ошибки оператора). Вероятность каждого базового события оценивается с использованием статистических данных, дополненных мнением экспертов.

Таким образом, ВАБ является неотъемлемой частью обеспечения безопасности в процессе строительства и эксплуатации Белорусской АЭС.

Использование компьютерных технологий проектирования ВПУ тепловых и атомных станций в учебном процессе кафедры ТЭС

Римашевская Е.Д.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании новых и модернизации существующих водоподготовительных установок (ВПУ) основными задачами являются: обеспечение стабильного качества получаемой воды; обеспечение технологической надежности и устойчивости работы оборудования; сокращение эксплуатационных затрат; минимизация количества сбрасываемых стоков.

Расчет технологических параметров систем водоподготовки выполнялся с помощью специализированных программ («CADIX», «IonExchangeDesign», «LewaPlus», «CSMPto», «IMSDesign 2015», «ROData», «ROSA», «Winflows» и др.), разработанных фирмами-производителями основных технологических элементов схем водоподготовки

К основным фирмам-производителям мембранных аппаратов (элементов) относятся: FILMTEC, Hydranautics, LANXESS, Saehan, Osmonics, Woongjin Chemical, для ионообменных смол и установок химического обессоливания воды основными являются фирмы: DOW CHEMICAL, LANXESS, Purolite. Данные специализированные компьютерные программы позволяют рассчитать схемы оптимального гидравлического распределения и определения химического состав фильтрата, исходя из заданных характеристик установки.

Автором была проделана большая работа по освоению компьютерных программ проектирования, предлагаемых различными фирмами. При этом основной упор был сделан на малосточные технологии обессоливания воды для ТЭС и АЭС.

По результатам работы в 2015 году было получено 2 акта внедрения в образовательный процесс кафедры «ТЭС» БНТУ в учебные программы дисциплин «Водоподготовка и водно-химические режимы АЭС» и «Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС» при выполнении курсовых проектов, а также в учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для специальностей. 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» и 1-43 01 04 «Тепловые электрические станции» соответственно.

Определение необходимых условий для эффективной работы системы шариковой очистки трубок конденсаторов паровых турбин

Герасимова А.Г., Мальгин А.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из способов повышения мощности турбоагрегатов является улучшение условий теплопередачи в конденсаторах паровых турбин. Был проведен анализ микрозагрязнений внутренних поверхностей охлаждающих трубок, а также влияния загрязненности на процесс теплопередачи в конденсаторах. Рассматривается существующий способ очистки конденсаторных трубок с помощью пористых эластичных шариков из губчатой резины, который реализован на ряде крупных ТЭЦ и ГРЭС Республики Беларусь. При эксплуатации системы шариковой очистки (СШО) был выявлен существенный недостаток – низкая эффективность данного способа очистки из-за несоблюдения требований по подготовке системы циркуляционного водоснабжения к эксплуатации, а также некоторая степень несовершенства технологии СШО. Целью данной работы является выявление причин, приводящих к снижению эффективности работы установки.

Была проведена серия опытов по оценке эффективности работы СШО, установленной на конденсаторе паровой турбине Т-250/300-240. В результате была установлена причина низкой эффективности работы данной системы, обусловленная наличием на внутренних поверхностях трубок конденсаторов твердых карбонатных отложений, препятствующих нормальной циркуляции пористых резиновых шариков. Был сделан вывод, что СШО не предназначена для очистки уже загрязненных трубок конденсатора, а является превентивным методом против появления отложений, для эффективной работы которого необходима предварительная высококачественная очистка внутренней поверхности основного и встроенного пучков конденсатора.

Традиционно используемый механический вид очистки карбонатных отложений не позволяет достичь необходимой чистоты трубок без их повреждения, поэтому наиболее эффективным мероприятием перед вводом в эксплуатацию СШО является химическая очистка трубок конденсатора (обязательное применение химреагентов с минимальной коррозионной агрессивностью) и последующая доочистка внутренних поверхностей от твердых отложений накипи высоконапорной гидравлической установкой.

Для защиты поверхностей водоводов, входных камер, трубных досок конденсатора от коррозии, снижения износа шариков и улучшения их входа в трубки целесообразно также использовать антикоррозионное полимерное покрытие.

Котлы с циркулирующим кипящим слоем для электростанций

Жихар Г.И.

Белорусский национальный технический университет

Разработчиком и лидером технологии сжигания твердого топлива в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) является компания Foster Wheeler (США). Впервые технология ЦКС была применена компанией в небольшой установке мощностью 110 МВт в 1987 г.

Позже компания перешла на установки средней мощности – 2х300 МВт для энергокомпании г. Джексонвилл в 2001 г. В период с 1998 по 2004 г. компания поставила шесть ЦКС-котлов общей мощностью 1500 МВт для крупнейшего проекта в истории реконструкции теплоэлектростанций в Польше. Более 300 котлов с кипящим слоем основаны на технологии ЦКС.

В Польше поставлен первый в мире ЦКС-котел сверхкритического давления, а также крупнейшая в мире установка с ЦКС, ее мощность составляет 460 МВт. Низкий уровень выбросов является основным преимуществом технологии ЦКС, обеспечивающим соответствие самым строгим экологическим нормам. Ступенчатое сжигание топлива в ЦКС-котлах, а также относительно низкая температура обеспечивают длительное время нахождения топлива в топке, что приводит к высокой эффективности сжигания топлива с образованием малого количества оксидов азота (NO_x). Связывание серы обеспечивается добавлением в топку известняка.

Установки с ЦКС производства этой компании способны сжигать практически все виды топлива включая отходы, обычно подлежащие захоронению.

Технология последнего поколения применена в прямоточном котле сверхкритического давления, в котором используется технология BENSON фирмы Siemens с вертикальными трубами топки для установок мощностью свыше 300 МВт. Применение технологии BENSON позволяет соединить преимущества технологии ЦКС с высокой эффективностью технологии сверхкритического давления пара. В этих котлах используется нефтяной кокс, лигнин, отходы углеобогащения и биомассу как в качестве основного топлива, так и в сочетании с другими видами топлива в течении всего срока эксплуатации.

**Методы диагностики вспомогательного оборудования
с применением цифрового модуля вибродиагностики**

Басалай Д.В., Назаров В.И.

Белорусский национальный технический университет

Готовность системы является одним из наиболее важных критериев, используемых при эксплуатации машины. По этой причине увеличение коэффициента готовности и поддержание его на высоком уровне является основной задачей, стоящей перед оператором системы.

Подробная информация о состоянии машины или системы может быть получена путем измерения параметров, связанных с нарушениями или отклонениями в работе. Данные этих параметров используются различными алгоритмами модуля для расчета значений показателей. Метод формирования значений показателей осуществляется в непрерывном автоматическом режиме. При внедрении системы мониторинга состояния в систему автоматизации недостаточно просто настройки основных предельных значений, при достижении которых будут выдаваться предупреждения. Необходимо также установление логических связей с другими параметрами, такими как нагрузка или скорость, или даже с формой кривой тренда. Таким образом, осуществляется сбор значений показателей и сравнение их с нормативными требованиями или значениями, полученными на основании опыта эксплуатации оборудования. Кривая тренда может служить эффективным средством для оценки состояния агрегата. Анализ развития тренда позволяет определить начальный этап развития повреждения.

Основные методы диагностики вспомогательного оборудования такие как пиковое значение высоких частот и обработанного сигнала, крест фактор высоких частот и необработанного сигнала, среднеквадратичные значения виброскорости и виброускорения необработанного и обработанного сигналов и др. используется для определения таких повреждений вращающегося оборудования как разбалансировка, неправильное положение, ослабление крепления компонентов, повреждение подшипника на начальной и конечной стадиях, недостаточная смазка и др. Стоит заметить, что каждый из описанных методов позволяет судить о той или иной неисправности оборудования с различной степенью точности. Для достижения наилучших показателей диагностики, необходимо использовать наилучшее соотношение «метод-повреждение» с точки зрения точности определения неисправности.

Анализ вибрационных режимов при пуске турбоагрегата К-1000-60/3000 с использованием математической модели

Буров А.Л., Павловская А.А.

Белорусский национальный технический университет

Последствия вибрации турбоагрегата (ТГ) проявляются в появлении усталостных трещин в роторе турбины, нарушении взаимного крепления частей и жесткой связи статоров и т.д. Вибрацию ТГ измеряют на всех подшипниковых опорах в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном, горизонтально-поперечном и горизонтально-осевом по отношению к оси вала турбоагрегата. Мерой уровня вибрации является виброскорость – скорость перемещения элемента в момент прохождения им нейтрального положения. Измеряется в мм/сек (мкм-амплитуда колебания). При выполнении эксперимента была использована учебная лаборатория «Турбинное отделение АЭС с ВВЭР-1000», которая представляет собой интегрированный программно-технический и учебно-методический комплекс. Объектом моделирования является турбоустановка К-1000-60/3000. Для получения вибрационных характеристик осуществлялось моделирование пуска и нагружения турбины из горячего состояния. По полученным результатам строим графики зависимости виброскорости подшипников от частоты вращения турбоагрегата (рисунки 1, 2).

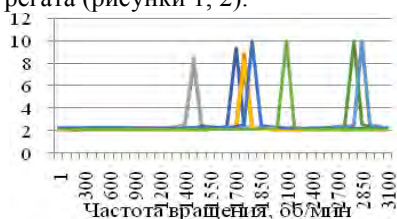
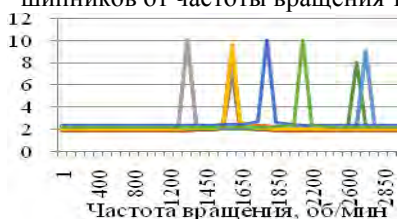


Рисунок 1 – Графики зависимости поперечной виброскорости от частоты вращения турбоагрегата
 Рисунок 2 – Графики зависимости продольной виброскорости от частоты вращения турбоагрегата

Как видно из графиков, все подшипники имеют критические частоты при которых наблюдается рост продольной и поперечной вибрации. Критические частоты для продольной и поперечной вибрации одного и того же подшипника могут иметь разные значения. Критические частоты подшипников сконцентрированы в промежутке 1600-1800 об/мин.

**Принципы выбора материалов теплоэнергетического
оборудования и трубопроводов ТЭС**

Герасимова А.Г., Шишло В.А.

Белорусский национальный технический университет

Правильный выбор конструкционных материалов и сохранение их свойств в процессе эксплуатации является одним из основных критериев, определяющих надежность и долговечность оборудования и трубопроводов.

При выборе марки стали для конкретной детали необходимо учитывать требуемый уровень конструкционной прочности, надежности и долговечности детали, а так же технологию ее изготовления, экономию металла и специфические условия службы детали. Единых принципов при выборе конструкционных материалов пока не разработано, поэтому каждый специалист выполняет эту задачу в зависимости от своего опыта и знаний, вследствие этого при выборе марки стали случаются и ошибки, что может привести к нежелательным последствиям. Как правило, выбор конструкционных материалов осуществляется в три этапа. Первый этап – анализ условий эксплуатации. На этом этапе необходимо всесторонне рассмотреть условия работы материала и повести ранжирование факторов, по степени влияния их на надежность оборудования или трубопроводов.

Определяющие факторы должны быть учтены обязательно, менее определяющие – по возможности. Второй этап – определение комплекса необходимых свойств, обеспечивающих надежную и долговечную работу оборудования в заданных условиях эксплуатации. Так как конструкционные материалы характеризуются механическими, физическими, химическими и технологическими свойствами, то рассматривать необходимо всю гамму свойств, особенно, если в конструкции должны работать разнородные материалы. Третий этап – оценка стоимости и дефицитности материала. Материал по возможности должен быть дешевым, с учетом всех затрат (стоимость материала, трудоемкость изготовления, эксплуатационная стойкость). Необходимо учитывать наличие дефицитных составляющих (Mo, W, Ni, Co и др.), однако в тех случаях, когда без них невозможно обеспечить необходимых служебных свойств, их применение обосновано.

Немаловажное значение при выборе материала играет и знание нормативно-технической базы. Так, например, общие требования и рекомендуемые материалы для трубопроводов ТЭС приведены в «Правилах устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды».

Работа теплогенерирующего оборудования ТЭС в режимах резервирования мощности.

Карницкий Н.Б., Захаркин М.А.

Белорусский национальный технический университет

В связи с ростом потребления электроэнергии в Белорусской энергосистеме и снижением экспортных возможностей соседних энергосистем остро встал вопрос надежности обеспечения баланса мощностей и обеспечением электроэнергией при выходе из строя генерирующего оборудования. В электроэнергетической системе под надежностью понимается способность обеспечить поставку заявленной потребителем в соответствии с договором энергоснабжения электрической энергии (мощности), при соблюдении поставщиком установленных договором с потребителем технических условий поставки в отношении качественных и количественных показателей надежности и качества поставляемой электроэнергии (мощности). Маневренность оборудования характеризуется техническим минимумом нагрузки агрегата, временем пуска агрегата в эксплуатацию из холодного состояния, скоростью набора/сброса нагрузки. В этих условиях надежность энергоснабжения обеспечивается созданием в сфере генерации резервной мощности в энергосистемах, созданием запасов топлива на ТЭС и запасов воды в водохранилищах ГЭС и ГАЭС. Рассмотрены все виды резервов генерирующей мощности и маневренность оборудования. Изучены проблемы Белорусской энергосистемы, варианты и опыт других стран в решении этих проблем, сделаны выводы.

Реальными шагами для улучшения ситуации обеспечения высокоманевренного резерва мощности может быть следующее:

1. Сооружение гидроаккумулирующей электростанции;
2. Установка пиковых газовых турбин (для максимальных нагрузок);
3. Применение всех потребителей на дифференцированный по зонам суток тариф на электроэнергию;
4. Применение электротепловых;
5. Применение на ТЭС баков-аккумуляторов;
6. Создание центрального автоматического регулятора частоты и активной мощности (ЦАРЧМ).

Жихар Г.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время большое внимание уделяется экологической системе с целью ограничить ее загрязнение вредными веществами. Значительные выбросы в атмосферу сернистого ангидрида (SO_2) и оксидов азота (NO_x), образующихся при сжигании органического топлива, побуждают разрабатывать новые безотходные технологии в промышленности и в энергетике. Необходимость решения двух проблем сжигания: низкосортность топлива и обеспечение чистоты атмосферного воздуха, привела энергетиков к технологии, способной решать обе эти задачи одновременно – это сжигание угля в кипящем слое.

Процесс обессеривания в кипящем слое происходит при присадке известняка или доломита. Оптимальная температура для обессеривания близка к 850°C . При более высоких температурах происходит обратное термическое разложение CaSO_4 на исходные составляющие и поэтому эффективность обессеривания снижается. При низких температурах реакция протекает медленно и не полностью.

Результирующий продукт CaSO_4 является нейтральным, поэтому его хранение вместе с золой не вызывает серьезных опасений.

Оксиды азота в кипящем слое образуются по трем различным механизмам: 1- термические NO , образующиеся из N_2 и O_2 воздуха (при температуре 850°C практически не образуются); 2 – быстрые NO – при нормальном процессе сжигания настолько малы, что их количество не имеет практического значения; 3 – топливные NO_x возникают из органически связанного азота топлива и кислорода воздуха.

В нормальных условиях в кипящем слое 90 % топливного азота переходит в молекулярный азот N_2 , который не представляет опасности и только 10 % азота топлива переходит в NO , который в дымовых газах, а потом и в атмосфере медленно превращается в особенно токсичный диоксид азота NO_2 .

Помимо низкой температуры сжигания, которая препятствует возникновению термического NO_x , снижение избытка воздуха является самым эффективным способом подавления оксидов азота.

Оптимальная температура кипящего слоя с учетом реакции обессеривания и восстановления оксидов азота находится в пределах $850 - 900^\circ\text{C}$.

Энергетическая эффективность применения теплонасосных установок на ТЭЦ

Качан С.А., Маринович А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Утилизация сбросной низкопотенциальной теплоты определяет энергетические, экономические и экологические преимущества теплонасосных установок (ТНУ), но потребление электроэнергии парокompрессионными ТНУ существенно эти преимущества ограничивает.

Системный анализ показывает, что при низкой эффективности производства электроэнергии на ТЭС, парокompрессионные ТНУ не имеют энергетического преимущества перед обычными котельными, ни в части эффективности использования топлива, ни в части сокращения сброса низкопотенциальной теплоты в окружающую среду. С ростом эффективности ТЭС, в том числе за счет применения на них парогазовых технологий, энергетическая эффективность ТНУ существенно повышается.

Тем не менее, целесообразность применения ТНУ на ТЭЦ и в системах централизованного теплоснабжения может быть обоснована только путем тщательного термодинамического и технико-экономического анализа.

Так, термодинамически несостоятельно использование ТНУ для понижения температуры охлаждающей воды, поступающей в конденсатор, и углубления в нём вакуума, с получением дополнительной электрической мощности, использованием ее на привод ТНУ и отпуском дополнительной теплоты потребителю при том же итоговом отпуске электроэнергии.

Утилизация низкопотенциальной теплоты системы оборотного водоснабжения ТЭЦ с помощью ТНУ эффективна при более высоких коэффициентах трансформации энергии в ТНУ. Так, целесообразно за счет ТНУ подогревать сырую подпиточную воду, вытесняя нагрузку отопительных отборов турбин. На ТЭЦ, с недостаточной мощностью системы оборотного технического водоснабжения, ТНУ могут рассматриваться как альтернатива строительству новых градирен.

Использование ТНУ на ТЭЦ может оказаться целесообразным для облегчения прохождения суточных графиков электрической нагрузки энергосистемы.

С учетом сказанного, исследования термодинамической и технико-экономической целесообразности использования ТНУ в современных централизованных системах теплоснабжения с ТЭЦ является актуальной задачей.

Установка для получения сухих кормовых добавок из жидких отходов пищевой промышленности

Кашеев В.П., Воронов Е.О., Пронкевич Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Изобретение относится к химической технологии, к способам фракционирования водно-органических смесей, к области концентрирования растворов путём упаривания и может быть использовано в химической, пищевой промышленности, а именно, для упаривания фруктовых и овощных соков, концентрирования различных веществ. Изобретение решает техническую задачу, заключающуюся в упрощении технологии упаривания, снижении стоимости и массогабаритных характеристик оборудования, упрощении его обслуживания, уменьшении энергозатрат, в исключении образования отложений и в предотвращении уноса капель жидкости из устройства. Сущность изобретения заключается в следующем: в способе упаривания (разделения) водно-органических смесей используется непрерывная ректификация в центробежном поле, включающая разделение исходной смеси на жидкостный остаток и на поток пара. Причём выделяемый пар подогревают путем механической компрессии и подают в рекуперативный теплообменник, где им подогревают упариваемую смесь, перемещая её вдоль теплообменных поверхностей, при этом конденсируя пар, а упаренную жидкость и конденсат пара непрерывно удаляют из системы. Положительный эффект достигается тем, для интенсификации теплообмена создают перемешивание смеси, создают такое криволинейное движение смеси вдоль теплообменных поверхностей, что в верхней части при всех режимах работы происходит отрыв от поверхности стенки капель смеси и под действием центробежных сил возвращение их во вращающийся слой упариваемой смеси. А также тем, что с момента запуска системы до ее выхода на номинальный рабочий режим, в зоне, где подогревают смесь, ей придают криволинейное движение. Также тем, что при запуске системы механической компрессии атмосферный воздух подают в рекуперативный теплообменник, где им подогревают упариваемую смесь.

Исследования показали, что энергозатраты при работе установки по сравнению с другими подобными устройствами минимальны, т.к. почти полностью утилизируется теплота фазового перехода, также малы потери теплоты в окружающую среду из-за небольших массогабаритных характеристик устройства, хотя есть определённые трудности при его изготовлении.

Совершенствование ремонтов теплоэнергетического оборудования

Качан С.А., Мартысевич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Система планово-предупредительных ремонтов (ППР), разработанная в начале 60-х годов, предусматривает проведение различных типов ремонтов теплоэнергетического оборудования (ТЭО) с заранее заданными объемами, продолжительностью и периодичностью ремонтных работ. При этом нормы на продолжительность межремонтных периодов (МРП) и объемы работ устанавливаются скорее на основании традиций (или усредненных статистических показателей), чем на инженерных расчетах, учитывающих особенности работы и износа конкретных узлов и агрегатов.

Неукоснительное соблюдение МРП и проведение всего комплекса регламентных работ для однотипного ТЭО, имеющего различные наработку, графики нагрузки, число пусков и остановов, часто приводит к необоснованному завышению объема и стоимости ремонтных работ. В то же время своевременное восстановление надежности и экономичности ТЭО увеличивает срок его эксплуатации и уменьшает потребление им топлива.

В современных условиях для более рационального использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов целесообразен выбор МРП с учетом технического состояния ТЭО, его отдельных узлов и элементов.

Для оценки изменения состояния оборудования применим статистически-эксплуатационный метод, при котором источником информации о действительном состоянии оборудования является опыт его эксплуатации. Оперативный сбор и обработка информации по динамике изменения тепловой экономичности и надежности основных узлов и элементов ТЭО возможны с использованием автоматических систем технической диагностики, а выбор оптимальных МРП - с использованием соответствующих математических моделей, учитывающих влияние режимных (или параметрических) и динамических (определяемых длительностью и нестационарностью эксплуатации) факторов. При этом для каждого элемента ТЭО может быть определен перечень характерных диагностических признаков, по которым оценивается его состояние, а дефекты обнаруживаются на ранних стадиях их развития.

Рассматриваемый подход к организации ремонтов может позволить сократить как число и длительность вынужденных простоев оборудования, так и затраты на проведение ремонтов.

Принципы обезвреживания агрессивных сточных вод ТЭС

Крапивницкий Р.А., Чиж В.А.

Белорусский национальный технический университет

Тепловые электрические станции (ТЭС), вырабатывая электроэнергию и тепло, оказывают негативное влияние на окружающую природную среду, загрязняя воздух, воду и землю. К основным сточным водам на ТЭС следует отнести: сточные воды ВПУ; воды, контактирующие с нефтепродуктами и загрязненные ими; продувочные воды замкнутых технологических контуров, в которых происходит процесс накопления примесей в результате выпаривания или контакта с более минерализованными средами (продувка градирен, замкнутых систем ГЗУ); сбросные воды систем ГЗУ; отработанные растворы реагентов, используемых для очистки внутренних и наружных поверхностей нагрева теплосилового оборудования; воды после консервации оборудования; ливневые стоки с территории ТЭС.

Выбор метода и схемы обработки сточных вод ТЭС производится в зависимости от конкретных условий проектируемой электростанции: мощности устанавливаемого основного оборудования, режима работы, вида топлива, способа золошлакоудаления, системы охлаждения, схемы водоподготовки, местных климатических, гидрогеологических и прочих факторов.

Опасные отходы подразделяются на классы опасности. К отходам первого (наиболее опасного) класса относятся отработанные люминесцентные лампы и ртутьсодержащие приборы; образование отходов второго класса связано с приемом, хранением и подготовкой к сжиганию мазута, применением смазочных и изоляционных масел, обмывкой поверхностей нагрева котлов и РВП; отходы третьего класса включают промасленную фильтровальную бумагу (после фильтр-прессов), ветошь обтирочную, песок, загрязненный нефтепродуктами, сорбенты (уголь активированный, антрацит, силикагель) и т.д. Часть их сжигается в котлах электростанций; большинство отходов четвертого класса вывозится на санкционированную свалку.

Для совершенствования обращения с отходами необходимо: отказаться от применения материалов, приводящих к образованию токсичных отходов, не подлежащих утилизации; создать обобщающую информацию о возможных путях утилизации отходов как на самих ТЭС, так и в других отраслях; создать единую методологическую базу по расчету нормативов образования отходов и лимитов на их размещение для ТЭС.

**Динамика валового внутреннего продукта Республики Беларусь
и Украины с прогнозом до 2025 года**

Кулаков Г.Т., Кравченко В.В., Бондарь-Подгурская О.В.
Белорусский национальный технический университет
ВУЗ Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли»

Октябрьская революция 1917 г. отбросила экономику России на 25 лет. При этом основным показателем эффективности экономики является валовый внутренний продукт (ВВП). Если суммарный ВВП образовавшихся после развала СССР стран СНГ принять за 100 %, то экономика последних в 1998 г. оказалась равной 1977 г., т.е. была отброшена на 21 год и составила в среднем 61,8 % от уровня 1990 г. После 1998 г. начался подъем ВВП, который через 8 лет в 2006 г. достиг уровня 1990 г. (в Республике Беларусь в 2008 г.) во всех странах СНГ кроме Украины. Таким образом, большинству стран СНГ удалось восстановить ВВП до уровня 1990 г. за 16 лет. Однако в 2008 г. наступил дефолт в России, который совместно с мировым финансовым и экономическим кризисом привел к тому, что ВВП Республики Беларусь в 2015 г. в сопоставимых ценах достиг уровня 2008 г.

В Институте экономики НАН Беларуси была разработана методология прогнозирования социально-экономического развития государства с учетом последствий мирового финансового кризиса, позволяющая оценить уровень ВВП Республики Беларусь и Украины с учетом последствий продолжающегося мирового кризиса, а также санкций против России, которые оказывают влияние на экономику Беларуси.

Развал СССР позволил определить динамику ВВП стран СНГ при скачкообразном уменьшении регулирующего воздействия (инвестиций). Это позволило на этапе стабилизации прогнозировать уровень ВВП на текущий год с точностью Минстата Республики Беларусь, но на год раньше, а также проводить стратегическое прогнозирование. В результате к 2020 г. номинальный ВВП Беларуси может находиться в пределах 75-110 млрд долл. США, а к 2025 г. – 132-165 млрд долл. США при базовой величине 2008 г. – 60 млрд долл. США.

В 2014 г. Украина вступила в активную фазу политического, финансового и экономического кризиса, длительное пребывание в котором приведет к революционной ситуации, т.к. жизненно-важные интересы большинства населения не удовлетворены. В связи с этим достичь современного уровня Германии Украина сможет через 25 лет – к 2040 г. и то при отсутствии различных войн, катаклизмов и других форс-мажорных обстоятельств.

**Методика расчёта динамической настройки
оптимальных регуляторов с учётом максимальной величины
регулирующего воздействия**

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кравченко В.В., Артёменко К.И.
Белорусский национальный технический университет

Регулирование многих параметров технологических процессов ТЭС требует учёта ограничения максимальной величины регулирующего воздействия при обработке задающего воздействия. Так, например, при обработке скачка задания по электрической мощности энергоблока требуется учесть относительную максимальную величину регулирующего воздействия по расходу топлива и перемещению регулирующих клапанов турбины.

Для объектов регулирования с запаздыванием динамика описывается передаточной функцией инерционного звена второго порядка с условным запаздыванием. Передаточная функция оптимального регулятора для таких объектов при обработке скачка задания представляет собой произведение передаточной функции фильтра на отношении единичного усилителя к разности единицы и заданной передаточной функции замкнутой системы по задающему воздействию. Передаточная функция фильтра при этом равна отношению той части заданной передаточной функции замкнутой системы, которая не содержит запаздывания, к той части передаточной функции объекта регулирования, которая тоже не содержит запаздывания.

Показано, что передаточная функция замкнутой одноконтурной системы автоматического регулирования по регулирующему воздействию при скачкообразном изменении задания равна передаточной функции фильтра оптимального регулятора, имеющего один параметр динамической настройки ТЗД. Численное значение ТЗД обычно определяют из ряда чисел правила золотого сечения γ с учётом допустимого максимального относительного значения регулирующего воздействия $\overline{X}_{P,M}$ методом последовательного уменьшения γ , приняв за целое величину условного запаздывания по каналу регулирующего воздействия.

Предложен способ расчёта оптимального значения ТЗД с учётом максимальной допустимой величины $\overline{X}_{P,M}$ только по численным значениям коэффициентов передаточной функции фильтра, в котором пренебрегают всеми производными, кроме первой.

Проведённый численный эксперимент подтвердил эффективность предложенного метода расчёта для регуляторов с учётом максимальной величины регулирующего воздействия при обработке скачка задания.

К вопросу модернизации систем автоматического управления мощностью энергоблоков

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кравченко В.В., Артёменко К.И.
Белорусский национальный технический университет

Требования к качеству регулирования мощности были сформулированы ЦДУ ЕЭС в разработанном стандарте. При аварийном изменении частоты полная величина изменения мощности должна быть достигнута за 2 минуты, а 50 % величины изменения мощности – за 10 секунд.

Ожным отделением «Южтехэнерго», БЭРН и БПИ во главе с к.т.н., доцентом Кулаковым Г.Т. внедрена САУМ станции на 8 энергоблоках Лукомльской ГРЭС. Первая модификация обрабатывает полную величину изменения мощности менее чем за 2 минуты, но 50 % задания изменения мощности – за 30 секунд. Вторая модификация обрабатывает 50 % величины изменения мощности за 10 секунд, но полная величина изменения мощности достигается за 9 минут.

Учёными Московского энергетического института предложена система автоматического управления мощностью энергоблока 300 МВт, аналогичного тем, которые работают на Лукомльской ГРЭС. САУМБ обрабатывает задание на 100 % только за 160 секунд, а 50 % – за 90 секунд.

Коллективом ученых во главе с д.т.н. Давыдовым Н.И. из Всероссийского теплоэнергетического института проведены испытания энергоблока мощностью 300 МВт № 6 Каширской ГРЭС с газомазутным прямоточным котлом ТГМП-314А и паровой турбиной К-300-240-2. Данная САУ обрабатывает 50 % величины изменения мощности за 10 секунд, но полная требуемая величина изменения мощности достигается за 160 секунд.

Выводы:

1. Известные САУМБ не могут обеспечить современные требования стандартов к качеству регулирования частоты и мощности без существенного увеличения максимальных относительных величин регулирующих воздействий клапанами турбины и задающих воздействий котельным регулятором нагрузки.

2. Последнее приводит к ухудшению показателей экономичности, надёжности, долговечности и экологичности работы энергоблоков, а также подтверждает целесообразность использования методов структурно-параметрической оптимизации САУМБ в различных режимах.

3. Обоснована необходимость модернизации существующих САУМБ для полного удовлетворения современным стандартам, особенно в режимах переменного давления пара перед турбиной.

Теплоснабжение городов-спутников

Маяков С.В., Назаров В.И.

Белорусский национальный технический университет

Во исполнение Указа Президента Республики Беларусь от 7 мая 2014 г. №214 предусматривается развитие опорных центров расселения столичной агломерации – городов-спутников Дзержинск, Заславль, Логойск, Руденск, Смолевичи, Фаниполь. Города-спутники являются городами с интенсивным ростом населения, а значит и масштабным строительством жилых, коммунальных, промышленных и прочих объектов. В связи с этим необходимо решить ряд технических задач. В том числе проблему энергоснабжения данных сооружений.

В 2018 году планируется запуск первого блока Белорусской АЭС в г. Островец. К 2020 году будет запущен и второй блок. Суммарная мощность составит 2,4 МВт. Благодаря запуску такого крупного энергетического объекта, недостатка в электроэнергии не будет. Основная задача – это обеспечение потребителя теплом. Необходимо проанализировать факторы проектирования. Такие как число населения, климатические условия, величина тепловых нагрузок, их колебания. Сделать вывод и написать технические условия. Исходя из этих данных, можно подбирать готовые технические решения, либо искать новые. Готовыми техническими решениями, способными решить данную задачу могут быть: мини-ТЭЦ; квартальные котельные; тепловые насосы; гибридные источники (котельные + тепловые насосы); крышные котельные; квартирные теплогенераторы; солнечные панели.

Применение тепловых насосов обусловлено их известной энергетической и экологической эффективностью, а также экономическими преимуществами при ожидаемом снижении тарифов на электрическую энергию. Также стоит уделить внимание внедрению и энергосберегающих технологий. Таких как устройство энергоэффективных домовых (совмещенных с тепловыми узлами зданий, в составе пристроенных или крышных котельных) и групповых (отдельно стоящих) источников теплоснабжения на основе тепловых насосов, с использованием местных возобновляемых и вторичных источников теплоты.

Для выбора лучшего и наиболее эффективного источника теплоснабжения необходимо сделать следующие шаги: посчитать стоимость проектов, сроки окупаемости, расходы на эксплуатацию.

Использование двигателя Стирлинга для повышения эффективности работы

Назаров В.И., Павловская А.А., Пантелей Н.В.
Белорусский национальный технический университет

Вопросы повышения эффективности котлоагрегатов связаны в первую очередь с вопросами использования потерь энергии с уходящими дымовыми газами. Одним из способов уменьшения данных потерь является установка двигателя Стирлинга. Регенератор двигателя Стирлинга в данной установке располагается перед экономайзером и таким образом обеспечивается температура нагревателя около 500-300 °С. Температура охлаждения может быть принята равной температуре питательной воды, т.е. 200-250 °С. Если принять еще, что рабочее давление будет составлять 20 ата, рабочий объем – 520 см³, а в качестве рабочего тела будет использоваться воздух, то полезную работу, совершаемую данным двигателем составит 121,5 Дж. А мощность, вырабатываемая установкой с частотой вращения 600 об/мин – 1215 Вт.

В двигателе Стирлинга реализован цикл Стирлинга, однако возможно получить цикл отличный от данного: Эрикссона, Ренкина, Шмидта, некоторые смешанные циклы. Термический КПД цикла Стирлинга в данной установке составит 21,6%.

Таким образом при применении двигателя можно получить дополнительно вырабатываемую электроэнергию в размере около 1 кВт. Данные показатели можно улучшить путем замены рабочего тела на азот или водород, увеличения рабочего давления и количества цилиндров.

На рисунке представлен график зависимости вырабатываемой мощности от рабочего давления и количества цилиндров.

Существуют промышленно-выпускаемые двигатели Стирлинга со схожими параметрами, которые позволяют получать коэффициент полезного действия на валу генератора до 22 %. Однако производство данных установок, которые могли бы составить конкуренцию, в Беларуси и России практически отсутствует.

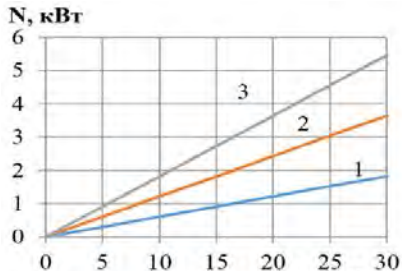


Рисунок – Зависимость мощности двигателя Стирлинга от рабочего давления и количества цилиндров

1 – один цилиндр; 2 – два цилиндра; 3 – три цилиндра

Исследование параметров работы системы компенсации давления при переходных режимах эксплуатации реакторов типа ВВЭР

Лешок В.И., Чиж В.А.

Белорусский национальный технический университет

Система компенсации давления I контура является неотъемлемой частью системы I контура и обеспечивает работу и безопасность реакторной установки.

Она выполняет следующие задачи нормальной эксплуатации: компенсация объема теплоносителя при температурных расширениях I контура; плавная компенсация небольших возмущений давления I контура; создание давления в I контуре в период пуска реакторной установки; снижение давления в I контуре при расхолаживании реакторной установки; компенсация возмущений давления I контура в переходных процессах реактора; сбор и конденсация протечек через импульсно-предохранительные устройства компенсатора давления в режиме нормальной эксплуатации; прием и конденсация пара, сбрасываемого при срабатывании импульсно-предохранительных устройств компенсатора давления.

Условно систему можно разбить на 4 подсистемы: подсистема компенсатора давления со встроенными устройствами, которая предназначена для поддержания давления в первом контуре и компенсации объема теплоносителя при изменении его средней температуры; подсистема импульсно-предохранительных устройств, которая предназначена для исключения повышения давления в первом контуре выше уставок; подсистема впрыска в компенсатор, которая предназначена для впрыска теплоносителя от “холодной” нитки петли или от системы продувки-подпитки; подсистема локализации сброса из компенсатора давления, которая включает в себя барботажный бак, который обеспечивает конденсацию протечек насыщенного пара из предохранительных клапанов компенсатора и насыщенного пара, сбрасываемого из компенсатора давления через эти клапаны при их подрыве, и его обвязку.

Для изменения уровня в компенсаторе используются регуляторы уровня – штатный и пусковой. Штатный регулятор используется при работе реакторной установки на мощности. Чем выше средняя температура I контура и мощность реакторной установки, тем выше уровень теплоносителя в компенсаторе давления.

Об организации топочного процесса в кипящем слое

Тарасевич Л.А., Лихута А.В.

Белорусский национальный технический университет

Сжигание в кипящем слое — одна из технологий сжигания твёрдых топлив в энергетических котлах, при которой в топке создаётся кипящий слой из частиц топлива и негорючих материалов. Для достижения максимальной полноты выгорания органической массы из частиц высокозольных топлив, сформулируем основные принципы организации топочного процесса.

1. Организация режима горения топлива при стабильной максимальной возможной температуре слоя. При этом температура слоя должна быть ниже температуры размягчения золы с тем, чтобы исключить деформацию и снизить пористость нарастающей зольной оболочки частицы.

2. Обеспечение максимальной концентрации окислителя в потоке газа, омывающего частицу. Это реализуется при сжигании топлива в КС озоленных частиц и известняка при интенсивной циркуляции.

3. Использование расширяющейся вверх камеры сгорания с верхней выгрузкой из КС избытка озоленных частиц, поднимающихся вертикально вверх в слое и камере сгорания по мере уменьшения их плотности. Проблемы при реализации систем сжигания в КС и циркулирующем кипящем слое вызывает переработка топлива, содержащего пиритные включения и частицы породы, что может приводить к остановке процесса, шлакованию и т.п. В связи с этим топка должна быть оснащена центральным разгрузочным узлом.

4. Обеспечение времени пребывания наиболее крупных частиц в КС по длительности большему или равному времени полного выгорания из них горючих веществ. Это условие легко реализуемо подбором оптимального количества инертного материала.

5. Снижение уноса пыли и потерь тепла с механическим недожогом. Для этого необходимо использовать крупнодробленое топливо с предварительным изъятием из его состава мелочи (класс 0..1 или 0..3).

Сформулированные положения, направленные на достижение максимальной полноты выгорания топлива, не противоречат требованиям по обеспечению экологической безопасности и в совокупности с ними определяют принципы, по которым создавались высокоэффективная технология получения тепловой энергии при сжигании высокозольных топлив.

Особенности горения высокозольного топлива

Тарасевич Л.А., Лихута А.В.

Белорусский национальный технический университет

Котлы с кипящим слоем (псевдооживленным), позволяют равномерно сжигать топливо по всему объёму, иметь более низкую температуру сгорания и меньший выброс вредных продуктов сгорания.

К особенностям горения высокозольного топлива в КС можно отнести: вещественный состав сжигаемого топлива, температурные условия, возможность непрерывной выгрузки золы. Эти факторы необходимо учитывать при разработке технологического процесса, конструкции топочного устройства и режима эксплуатации.

Расчетное исследование уравнения теплового баланса тепла для газов в камере сгорания позволяет определить возможные области тепловых режимов устойчивой бесшлаковой работы при горении топлив в кипящем слое (КС), также расчетами установлено, что камера сгорания с КС имеет две предельные области – режим автотермической газификации угля (повышенная концентрация горючих веществ в слое) и режим сжигания угля при повышенных избытках воздуха (пониженная концентрация горючих веществ в КС).

Тепловой режим устойчивой работы КС при различных температурах может обеспечить впрыск воды. Это предотвратит шлакование слоя и приведет к перераспределению энергии между КС и надслоевым пространством без увеличения потерь тепла с механическим недожогом.

Гарантия высокой полноты сгорания высокозольного топлива при температурах (850..950 °С) обеспечивается увеличением времени пребывания частиц в реакционной зоне, а снижение температуры КС приводит к повышению оксида углерода.

Частица высокозольного топлива в начале процесса горит с образованием на ее поверхности инертной зольной оболочки. При температурных слоях, больше температуры начала деформации золы, зольная оболочка равномерно оплавляется, что в итоге приводит к прекращению дальнейшего горения.

Поэтому необходимыми условиями для стабилизации процессов горения являются: 1) поддержание температур горящих частиц, исключаящих плавление золы; 2) своевременная и непрерывная выгрузка из реакционной камеры тяжелых частиц пиритных включений (серного колчедана); 3) непрерывная выгрузка из КС избытков частиц пород и частиц золы.

Тарасевич Л.А., Лихута А.В.

Белорусский национальный технический университет

Каменные и бурые угли занимают основное место в мировых запасах топливных ресурсов и используются в основном в качестве энергетического топлива. Однако есть предпосылки применения малозольного угля для получения химических продуктов и материалов.

Основными химическими компонентами углей являются битумы, гуминовые кислоты и нерастворимые остаточные угли и гумины. Восковая часть битумов широко используется в различных областях народного хозяйства, а гуминовые кислоты обладают склонностью к конденсациям и окислительно-гидролитическому расщеплению.

В последние десятилетия есть технологические схемы и процессы, позволяющие на основе углей производить продукцию различного назначения: буроугольного воска, угольного порошка, сажи из углей, углеграфитовых - углеродных материалов из углей.

Химические свойства углей позволяют в окислительных процессах получать из них технологические газы, водород, а в восстановительных – жидкое топливо, смазочные масла.

Существуют два способа получения синтетического жидкого топлива из угля: деструктивная гидрогенизация и каталитический синтез.

Сущность гидрогенизации заключается в разрыве молекулы исходного продукта по связи между атомами углерода под действием температуры с использованием катализаторов. Образовавшиеся при разрыве молекулы свободные связи насыщаются водородом. При этом процессе решаются сразу две задачи: перевод в жидкость исходного топлива и насыщение его водородом. Эффективность процесса определяется активностью применяемого катализатора (триоксид молибдена, соединения никеля и т.д.).

Метод гидрогенизации позволяет превращать твердое топливо в высококачественное моторное горючее (бензин, дизельное, реактивное и малосернистое котельное топливо) и сырье для органического синтеза, в том числе моно- и полициклические углеводороды, фенолы.

Стоимость гидрогенизационного бензина в значительной степени зависит от стоимости производства водорода, суммарный расход которого на процесс составляет 8-10 %.

Сумич А.А.
РУП «Гродноэнерго»

Ежедневно во всем мире огромное количество природного газа транспортируется по трубопроводам от источников до потребителей с помощью компрессоров большой мощности. Так как газ, обычно, транспортируется при давлении, во много раз превышающем требуемое конечному потребителю, между трубопроводами транспорта газа и сетью его распределения установлены так называемые газораспределительные станции, состоящие из дроссельных клапанов и подогревателей газа. Аналогичные устройства, называемые газорегуляторными пунктами (ГРП), обычно, устанавливаются между сетью распределения газа и его конечными пользователями.

На ГРС и крупных ГРП возможно путем замены дроссельных клапанов турбодетандером, что позволяет генерировать электричество или произвести другую полезную работу. Однако газ должен быть подогрет для предотвращения выпадения из него газгидратов в проточной части турбины, приводящего к снижению ее надежности. Температура газа за турбиной должна составлять не менее $+5^{\circ}\text{C}$. В то же время, необходимо, чтобы она не превышала допустимую температуру, гарантирующую надежную работу теплоизоляционного и антикоррозийного покрытий газопровода (не более $+40^{\circ}\text{C}$). Подогрев газа повышает его внутреннюю энергию и, тем самым, мощность турбодетандера. Повышается также КПД турбодетандера. Подогрев газа от 0°C до $+80^{\circ}\text{C}$ повышает мощность турбодетандера на 30 - 35 %. Однако, такие требования являются одним из основных факторов, сдерживающих широкое внедрение турбодетандеров.

Автором предложена схема многоступенчатой турбодетандерной установки, которая может найти широкое применение на ГРС и ГРП, на которых имеется доступ к низкопотенциальному теплу. При повышении качества очистки природного газа, эффективность рассмотренной схемы повышается за счет снижения минимально допустимой температуры газа на выходе из турбодетандера. Так, снижение допустимой температуры до 0°C увеличивает полезную мощность установки до 0,97 МВт [1, 2].

Литература

1. Материалы 65-й научно – технической конференции студентов и аспирантов БНТУ, Минск 2013.
2. В.А.Загорученко, А.М.Журавлев «Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана», Москва 1969.

**Энергетические котлы большой мощности для сжигания
нескольких видов твердого топлива**

Седнин А.В., Вашилов А.С.

Белорусский национальный технический университет

Применение твердых видов топлива на электростанциях большой мощности является довольно распространенной практикой в мировой энергетике. В последнее время все чаще находят применение комбинированное сжигание угля с биомассой в энергетических котлах большой мощности. Использование биомассы уменьшает как выбросы оксидов серы и азота, так и эмиссию парниковых газов (CO_2 , CH_4). Дооснащение существующих пылеугольных котлов для возможности дополнительного сжигания биомассы является наименее капиталоемким решением по сравнению с вводом новых мощностей (в среднем 200..250 евро/кВт против 3000..5000 евро/кВт).

Несмотря на очевидные достоинства такой комбинации совместного сжигания нескольких видов твердого топлива, доля использования биомассы все же ограничена (5..15 %) ввиду специфичности ее свойств, особенно шлакующих. Анализ опыта эксплуатации котлов подобного типа, позволил выделить следующие особенности их технологического исполнения. Комбинированное сжигание биомассы и твердого топлива возможно как в пылеугольных топках при различных комбинациях компоновки систем пылеприготовления, так и при раздельной подаче в котел биомассы и угля (сжигание в топках по ЦКС-технологии; сжигание в топках по НТВ-технологии совместное сжигание угля и генераторного газа).

Как показали исследования, перевод пылеугольных котлов на совместное сжигание угля и биомассы при их раздельной подаче в котел и подготовленных раздельно в индивидуальных системах топливоподготовки является достаточно капиталоемким (170..200 евро/кВт), однако самым надежным и экономичным способом, т.к. позволяет добиться оптимального зернового помола по условиям максимального выгорания, а также обеспечивает маневренность котла в случае поступления некондиционной биомассы. Увеличение начальных параметров, а также использование в таких котлах высококачественных углей, позволяет судить о целесообразности их установки на различных типах энергоблоков с установленной мощностью более 200 МВт. Установка же котлов с ЦКС-технологией наиболее эффективна при сжигании низкокачественных углей и торфа совместно с биомассой в любом процентном соотношении на энергоблоках в диапазоне мощностей 45..240 МВт.

Седнин А.В., Зеленин Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Основным мотивом строительства Белорусской АЭС является снижение доли природного газа используемого для производства электрической и тепловой энергии. При этом годовой объем экономии природного газа оценивается около $5 \cdot 10^9$ м³/год. Однако ввод в эксплуатацию Белорусской АЭС потребует пересмотра режимов работы действующих генерирующих источников белорусской энергосистемы. Основные проблемы, как известно, возникнут прежде всего в соблюдении суточного графика электрических нагрузок и обеспечении горячего резерва блоков АЭС.

Одним из технических решений направленных на решение вышеназванной проблемы является широкое применение электрокотлов на действующих источниках теплоснабжения. В соответствии комплексным планом развития электроэнергетической сферы до 2025 года с учетом ввода Белорусской атомной электростанции предполагается, что в период до 2020 года будет установлено порядка 1200 МВт мощностей электрических котлов. Большая часть из них будет установлена на объектах Белэнерго (на действующих КЭС и ТЭЦ), для увеличения регулировочного диапазона ТЭЦ и отпуска тепловой энергии от КЭС (для теплоснабжения населенных пунктов).

Для определения оптимальных структурных решений по установке электрокотлов был проанализирован советский и современный зарубежный опыт (Дания, Норвегия и Япония) использования электрокотлов. Как уже говорилось, в Белорусской энергосистеме предполагается применение технических решений разработанных в Советское время, в соответствие с которыми электрокотлы устанавливаются на действующих ТЭЦ и включаются в работу в ночной период, используя электроэнергию вырабатываемую на самой станции за счет сжигания органического топлива. Пилотный проект будет реализован в 2016 году на Гомельской ТЭЦ-2.

Что касается зарубежного опыта, то использование электрокотлов в основном происходит в странах с относительно дешевой электроэнергией, а также в случае большого процента электроэнергии генерируемой на ветроэлектростанциях, ГЭС и солнечных батареях. Электрокотлы устанавливаются как у конечного потребителя, так и на источниках теплоснабжения. В последнем случае включение их в работу происходит в ночные периоды, когда тарифы на электроэнергию минимальны.

**Научно-методическое обеспечение структурных изменений
теплоэнергетических систем текстильных предприятий
при их модернизации**

Муслина Д.Б., Бубырь Т.В., Григорьев В.Г.
Белорусский национальный технический университет

Научно-методическое обеспечение реструктуризации теплоэнергетических систем текстильных предприятий при их модернизации включает разработку системы средств, рекомендаций и технических решений на основе иерархического построения составляющих подсистем для повышения эффективности использования энергоресурсов предприятиями за счет рекуперации энергии побочных потоков внутри теплотехнологии и совершенствования энергообеспечения предприятия. Основные положения методики: теплотехнологическое и теплоэнергетическое оборудование, входящее в теплоэнергетическую систему предприятия, разбивается на иерархические уровни по отношению их к основному технологическому процессу.

Высший приоритет имеет внешняя инфраструктура региона и системы связи ее с потребителями энергопотоков, поступающих из вне. На следующем по значимости уровне находится непосредственно теплотехнология, выбранная с учетом ограничений предыдущего уровня. Здесь, в части энергопотребления, пересматривается обоснованность применения используемых теплоносителей и возможность их замены, переход к многоступенчатой тепловой подготовке, рекуперации и утилизации побочных тепловых потоков. На следующем более низком третьем иерархическом уровне находятся мероприятия, способствующие решению задач предыдущего более высокого приоритета: абсорбционные тепловые насосы для утилизации низкотемпературных тепловых потоков, абсорбционные бромисто-литиевые холодильные машины для технологического кондиционирования, аккумулирование энергии. На четвёртом по значимости уровне иерархии решаются задачи по совершенствованию энергообеспечения путем перехода к энерготехнологической когенерации и тригенерации с учетом ограничений энергосистемы.

Самым низким приоритетом (пятый уровень) обладают теплогенерирующие источники прямого сжигания топлива, мощность которых выбирается по остаточному принципу, как пиково-аварийных. Кроме того, на этом же уровне решаются задачи по сопряжению графиков генерации теплоты с крайне неравномерными графиками потребления при том, что генерация идет по графику электропотребления.

По расходному балансу определяются дефицит теплоты и рассчитывается тепловая мощность когенерационного комплекса, работающего по графику, исключающему выдачу электроэнергии в энергосистему.

Кроме того, подбирается типоразмер двигателей внутреннего сгорания и разрабатывается тепловая схема по критерию максимальной эффективности.

УДК 697.2

Разработка системы теплоснабжения мобильного объекта

Иокова И.Л., Мостыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В связи с ростом в мире количества техногенных и природных катастроф, военных конфликтов в качестве примера мобильного объекта для выполнения научных исследований был выбран мобильный полевой госпиталь. В качестве источника теплоснабжения был выбран вихревой кавитационный теплогенератор, обладающий исключительными свойствами: компактность и простота устройства, взрыво- и пожаробезопасность, возможность работы с различными теплоносителями и отсутствие химводоподготовки, а также автономность и эффективность работы. Для нужд теплоснабжения мобильных объектов вихревые теплогенераторы ранее не использовались. Для снижения массы системы теплоснабжения полевого госпиталя предложена новая конструкция гибких отопительных приборов, изготовленных из пластичного материала с низкой плотностью – поливинилхлорида (ПВХ). Продукция из поливинилхлорида отличается высокой гибкостью и прочностью. Он также устойчив к воде и химическим реакциям. Кроме того, поливинилхлорид – один из самых дешевых материалов. Использование ПВХ также открывает возможность иметь в грузовом отсеке транспортного средства несколько комплектов уже подготовленных к эксплуатации систем теплоснабжения.

Для увеличения теплоотдачи от поверхности отопительного прибора и уменьшения затрат со стороны источника энергии был предложен способ интенсификации теплообмена – с помощью нанесения на поверхность отопительного прибора искусственной шероховатости.

С применением теории вероятности получено новое критериальное уравнение, позволяющее производить необходимые расчеты для оценки теплоотдачи от поверхности гибкого отопительного прибора, учитывая особенности его положения, а также наличие мер по интенсификации теплообмена.

Разработанная новая система отопления обеспечивает эффективную

работу при невысоких затратах электроэнергии, что важно при эксплуатации госпиталя в труднодоступных местах, где могут быть проблемы со своевременной доставкой топлива. Также предложенная система характеризуется гибкостью и простотой подключения, малыми габаритными размерами и массой, что имеет большое значение при транспортировке.

УДК 621.311.22

Диверсификация вариантов регулирования мощности генерации Белорусской энергосистемы

Романюк В.Н., Бобич А.А., Бойко Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

С вводом в строй двух блоков Белорусской АЭС возникает проблема с регулированием графиков нагрузки энергосистемы, поскольку из генерации вытесняются традиционные регуляторы мощности – паротурбинные КЭС и решение комплекса задач, сопутствующих проблеме, невозможно без участия ТЭЦ. Также в отопительный период в энергосистеме Беларуси прогнозируются неизбежные избытки генерации по отношению к потреблению электроэнергии. Для ликвидации ожидаемого дисбаланса предусматривается использование взаимосвязанных комплексов в составе «электродвигатель–тепловой аккумулятор», обеспечивающих увеличение электрической нагрузки энергосистемы. Указанные комплексы необходимы в условиях, которые будут иметь место в энергосистеме страны, поскольку они в состоянии обеспечить необходимую динамику процесса регулирования. Однако, такое искусственное увеличение электрической нагрузки не решает всех задач по обеспечению надежности потребителей, снижению удельного расхода топлива на ТЭЦ и проблем связанных с необходимостью разгрузки отборов паровых турбин до технического минимума. В этой связи очевидна необходимость придания не свойственных ТЭЦ способностей: резервировать и изменять генерацию электроэнергии при сохранении отпуска тепловой энергии без перерасхода природного газа и без потери моторесурса основного оборудования; значительно (снижать) удельную выработку электроэнергии на тепловом потреблении.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- применять тепловые аккумуляторы для регулирования мощности;
- утилизировать низкотемпературные потоки теплоты в абсорбционных тепловых насосах;
- использовать сбросные схемы ГТУ на ТЭЦ.

Одновременно с указанными мероприятиями необходима проработка экономических шагов с принятием соответствующих нормативных актов

для стимулирования населения и предприятий к потреблению электроэнергии в ночные часы, а также собственников распределенных когенерационных источников (блок-станций) на промышленных предприятиях к прекращению генерации в часы провалов нагрузок путем продажи им электроэнергии, замещающей собственное производство, например, по тарифу не превышающему себестоимость ее генерации на предприятии.

Годовое снижение потребности в природном газе до 0,6 млн т у. т.

УДК 652

Опыт использования газотурбинных установок на биомассе с внешним подводом теплоты

Седин В.А. Мясникович В. В., Шкловчик Д.И.
Белорусский национальный технический университет

Одна из первых установок ГТВПТ на биомассе была Talbott's BG100 (Великобритания) с микротурбиной Bowman Power Systems (Великобритания). Начиная в 2002 году с прототипа мощностью 30 кВт и КПДе 10 %, в 2006 году была готова коммерчески доступная установка мощностью 90 кВт и КПДе 20 % [1-3].

Большой вклад в изучение ГТВПТ на биомассе внес Свободный Брюссельский университет (Бельгия). Первоначальные исследования велись на базе газовой турбины Volvo VT600, с 2003 года - на базе микротурбины Turbес T100 (Швеция). В итоге был получен опытный образец мощностью 100 кВт и КПДе 15 %. Также были исследованы режимы с впрыском пара в воздушный тракт ГТВПТ, а также с сов-местным сжиганием биомассы и газа, за счет чего при той же мощности удалось добиться КПДе 20-22 % [1-3].

Компания Hans Huber AG и центр развития ATZ (Германия) исследовали теплотехнологическую установку по утилизации шлама сточных вод, также на базе микротурбины Turbес T100 [2]. А компания Ansaldo Ricerche совместно с университетом Генуи (Италия) исследовали установку на базе микротурбины Elliot TA-80R (США), мощностью 80 кВт [1]. Исследования по применению ГТВПТ на биомассе проводились и другими компаниями: Max Bögl and Dresser-Rand, Ökozentrum langenbruck, ZAE Bayern (Германия) [2].

Литература

1. Al-attab K.A. Externally fired gas turbine technology: A review / K.A. Al-attab, Z.A. Zainal // Applied Energy. – Vol. 138. – 2015. – P. 474-487.
2. Gallmetzer, G. Konzepte zur Realisierung indirect mit Biomasse befeuerter Heißluftturbinen, ZAE – Symposium 11-12 december 2006,

“Biomasse Polygeneration - die Zukunft” [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.zae-bayern.de/files/westermark_zae-symposium06.pdf.

3. Tristan Vincent, Linking a Fluidized Bed Combustion Reactor with an Externally Fired Micro Gas Turbine : dis. PhD: urn:nbn:de:gbv:28-diss2009-0091-4 / Tristan Vincent. – Rostock, 2008. – 156 pp.

УДК 621.18

Анализ конструкций электродов

Кузьмич К.А., Прокопья И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Электрод – устройство, преобразующее электрическую энергию в тепловую. Чаще всего используется для нужд отопления либо горячего водоснабжения. Основными преимуществами данных котлов является высокий КПД (не менее 97%), простота обслуживания, отсутствие топливного хозяйства (по сравнению с газовыми и мазутными котлоагрегатами), экологичность, безопасность.

Основные виды конструкции электродов:

- ТЭНовые
- электродные
- индукционные

В электродах первого типа нагрев теплоносителя осуществляется ТЭНов – термоэлектрическим нагревателем. Принцип действия такого котла достаточно прост: ТЭН нагревает воду (масло), которая в свою очередь передает тепло в помещение. Наиболее существенным недостатком такой конструкции является образование накипи на элементах, что повышает термическое сопротивление, из-за чего интенсивность теплообмена между нагревателем и теплоносителем снижается.

В электродных котлах нагревательным элементом является электрод. В качестве теплообменника в нем представлен электрод, который передает электроэнергию теплоносителю. Под действием тока вода расщепляется на ионы, которые проходят к электродам соответствующей полярности. Во время этого процесса происходит быстрый нагрев теплоносителя. При этом происходит постепенное растворение электрода, что является основным недостатком данной конструкции котла.

Индукционные котлы отапливают помещение за счет катушки индуктивности, нагревающей теплоноситель. При этом для котлов данной конструкции нет необходимости в специальной водоподготовке, так же они способны работать длительное время без изменения характеристик. Минусами данной установки считаются большие размеры котла и высокая цена.

**Использование теплообменников на основе тепловых труб
для утилизации теплоты бытовых стоков**

Прокопеня И.Н., Власюк Д.И., Седнин А.А.
Белорусский национальный технический университет

Теплообменное оборудование на основе тепловых труб (ТТ) давно и прочно закрепилось в различных областях промышленности и энергетики. ТТ используются в гелиоколлекторах, в хлебопекарных и кондитерских печах, в системах рекуперации воздуха, в системах отопления почвы в теплицах за счет теплоты земли, в сушильных установках и системах утилизации низкопотенциальных потоков тепла различных технологических процессов. Одним из перспективных направлений использования теплообменников на ТТ является утилизация теплоты канализационных стоков для подогрева водопроводной воды, идущей на нужды ГВС.

В данной работе рассматривается возможность использования теплообменников на основе ТТ для передачи теплоты от канализационных стоков к водопроводной воде.

Расход теплоты на нужды горячего водоснабжения в жилых домах составляет примерно 25% от общего потребления энергии в них. Канализационные стоки жилых домов имеют температуру около 25°C, а температура водопроводной воды около 12°C. Применение теплообменников на ТТ позволяет утилизировать излишки тепловой энергии стоков, и при этом сократить общее теплопотребление в доме.

Преимущества данного метода:

1. Утилизация теплоты канализационных стоков и экономия теплоты на нагрев горячей воды для нужд ГВС.
2. При использовании теплообменника на основе ТТ между греющей и нагреваемой средой есть видимый разрыв, что обеспечивает надежную защиту от смешивания 2 потоков.
3. Теплообменник на основе ТТ имеет малое гидравлическое сопротивление.
4. Теплообменникам на основе ТТ присуща низкая чувствительность к загрязнению поверхности теплообмена.

Но, не смотря на все плюсы рассматриваемой технологии, у предлагаемой схемы есть и свои недостатки:

1. Высокие капитальные затраты на закупку ТТ для теплообменника
2. Необходимость изменения схемы циркуляции обеих сред.

**Термо- и газодинамические основы процессов сжигания
мультидисперсного твердого топлива**

Ярмольчик Ю. П.

Белорусский национальный технический университет

Целью исследования является повышение энергоэффективности и безопасности сжигания мультидисперсного твердого топлива в энергогенерирующих устройствах. Проведен термодинамический анализ процесса сжигания мультидисперсного твердого топлива в топках и камерах сгорания при разработке технологических режимов, обеспечивающих стабильное функционирование и эффективную безопасность эксплуатации энергогенерирующих устройств. Разработана математическая модель процессов распыления и сжигания мультидисперсного топлива, а также газодинамических потоков в камерах сгорания сложной геометрии, включающая систему дифференциальных уравнений движения газовых потоков, уравнение энергии и кинетическое уравнение горения. Численными методами определены оптимальные режимные параметры при различной пропорциональности подачи аксиального и радиального воздуха без снижения мощности горелки, при этом эти же параметры являются определяющими при формировании геометрии:

- тонкое короткое пламя (аксиальный воздух - открыт, радиальный - редуцирован);
- короткое пламя (аксиальный воздух - открыт, радиальный - открыт);
- длинное и мягкое пламя (аксиальный - редуцирован, радиальный - редуцирован);
- длинное и жесткое пламя (аксиальный - редуцирован, радиальный - открыт).

Проведен численный эксперимент, позволяющий установить оптимальные параметры стабильного функционирования процессов горения без отрыва пламени с вторичными турбулентными потоками, обеспечивающими значительное снижение вредных веществ (NO_x , CO , SO_x и др.) в дымовых газах. Разработана практическая монограмма, устанавливающая связь между основными параметрами процессов смешения различных фаз топлив и окислителя при изменении их динамических давлений, входящих температур и расходов. В результате определена методика, позволяющая в оперативном режиме проводить пуско-наладочные работы для организации стабильного и чистого горения многофазного топлива в камерах сгорания сложной геометрии.

**Участие ТЭЦ в регулировании электрической мощности
энергосистемы Республики Беларусь**

Бегляк А.В., Бегляк В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минская ТЭЦ-3

Совместное производство тепловой и электрической позволяет получить эффективность использования топлива на электростанции более 80%, в то время как максимальная величина электрического КПД конденсационной электростанции (электростанции простого цикла) около 61%.

В Республике Беларусь до настоящего времени ТЭЦ функционировали по тепловому графику и обеспечивали базовую электрическую нагрузку энергосистемы. Покрытие электрических нагрузок от ТЭЦ составляло от 30 до 70% в зависимости от величины электрической нагрузки энергосистемы и тепловой нагрузки энергоисточника. Причем изменение происходит в зависимости от времени суток (день, ночь) и времени года (отопительный, межотопительный период). Дефицит электрической энергии покрывался конденсационными электростанциями.

После ввода конденсационной атомной электростанции (с электрическим КПД менее 40%) функция обеспечения базовой нагрузки перейдет к ней. В то время как ТЭЦ будут вынуждены активно участвовать в регулировании электрической нагрузки энергосистемы.

Основным рассматриваемым способом регулирования выработки электрической энергии на ТЭЦ является передача тепловых нагрузок на электрические водогрейные котлы. Это существенно снижает эффективность использования первичного топлива.

Предлагаемый способ повышения гибкости ТЭЦ состоит в создании комбинированного энергоисточника состоящего из теплофикационного блока ПГУ, паротурбинного блока с сетевым подогревателем на выходе турбины и бака-аккумулятора. В соответствие с проведенным анализом это позволит регулировать выработку электрической энергии от 40 до 100% в теплофикационном режиме при условии покрытия актуальных тепловых нагрузок, а также сохранить коэффициент использования первичного топлива на уровне 80 %.

**Научные основы организации стабильного потока воздуха
с оптимально распределенными частицами дисперсного твердого
топлива для факельного сжигания**

Ярмольчик Ю. П.

Белорусский национальный технический университет

Задача снижения энергозатрат генерирует интерес к использованию твердого топлива как к дополнительному альтернативному энергоносителю.

Однако использование подобных видов топлива сопровождается необходимостью решения сложной задачи организации стабильного горения и минимизации эмиссии вредных веществ в дымовых газах.

Целью исследования является организация энергоэффективного, полного и стабильного факельного сжигания мелкодисперсного твердого топлива. В работе дается анализ современного состояния белорусской энергетики и подчеркивается актуальность проблемы замещения или смешения проектных топлив (прежде всего природного газа) с дисперсными твердыми топливами. Обосновывается выбранная методика проведения исследований, рассмотрены основные тенденции, связанные с замещением проектных топлив. Представлен обзор проведенных исследований, связанных с проблемой перехода на непроектное топливо, как на основе экспериментального подхода, так и на основе применения пакетов прикладных программ. При замещении базового топлива требуется изменить конструкцию топки и условия эксплуатации оборудования, применить принципиально новое горелочное устройство, что приводит к значительным материальным затратам, привлечения большого числа специалистов, вывода теплогенерирующего агрегата из эксплуатации на длительный срок, но при этом гарантировать надежную и эффективную работу агрегата после реконструкции невозможно. Проведение вычислительных экспериментов позволяет значительно снизить затраты и повысить эффективность разработки по сравнению с экспериментальными исследованиями. Для построения адекватной математической модели динамики потоков дымовых газов, процессов горения и теплообмена в топках используется метод Эйлера-Лагранжа для описания движения газа и взвешенных в нем частиц. Численными методами определены режимные параметры при изменении дисперсности и плотности твердого топлива, скорости потока топливовоздушной смеси и вторичного воздуха, подаваемого на горение, а также конфигурация и геометрические характеристики оптимального пламени.

**Определение оптимального соотношения топливо-воздух
в модуляционном режиме регулирования при факельном горении**

Ярмольчик М. А., Ярмольчик Д. Ю.
Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный университет

Одноступенчатый способ регулирования количества сжигаемого топлива в зависимости от запроса тепла характеризуется тем, что при отказе в запросе тепла на горелку подаётся соответствующий сигнал и подача топлива прекращается. При возобновлении запроса – регулирующий клапан полностью открывается и топливо подаётся в смесительное устройство горелки с расходом, обеспечивающим максимальную мощность теплогенерирующего агрегата, на котором установлена горелка. Подобный способ регулирования имеет ряд недостатков, главный из которых – частый розжиг горелки. В результате, в начальный момент пуска горелочного устройства происходит частичный недожог топлива, перепады температур по объёму камеры сгорания (более всего – по длине) и, как следствие, термические напряжения. С целью снижения влияния этих факторов применяется двухступенчатое регулирование. В этом случае при отказе в запросе тепла подача топлива не прекращается, а резко снижается (обычно до 30-50% от максимального значения), и число пусков/остановов значительно уменьшается. Однако, резкое изменение мощности горелки приводит к изменению динамических условий взаимной диффузии потоков топлива и воздуха, подаваемого на горение и, как следствие, к ухудшению качества топливо-воздушной смеси. Дальнейшая оптимизация регулирования привела к применению плавного двухступенчатого и ещё более сбалансированного модуляционного режима регулирования. Последний характеризуется наладкой по, как правило, восьми крайним и промежуточным точкам в диапазоне требуемой мощности, начиная от наименьшего сбалансированно поддерживаемого расхода топлива. Определение наиболее оптимальных точек наладки зависит от нескольких факторов: диапазона изменяемой мощности, геометрии и аэродинамического сопротивления камеры сгорания, эффективности смесительного устройства горелки, графика потребления тепла. Для решения этой задачи проведены вычислительные эксперименты на основе построения адекватной математической модели аэродинамики дымовых газов, процессов горения и теплообмена в топках по методу Эйлера-Лагранжа.

Оптимизированная схема сжигания многофазного топлива

Ярмольчик М. А., Ярмольчик Д. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный университет

Логистическая схема поставок диспергированного твердого топлива на теплоиспользующие технологические предприятия определяется рядом факторов, ограничивающих объемы поставок: сезонность, дискретность добычи и транспортировки, использование определенных бункеров для локального хранения, технологического оборудования ограниченной ёмкости и производительности. По этим причинам теплотехнологические предприятия вынуждены время от времени переходить на традиционные виды топлива, прежде всего на природный газ. Такие переходы требуют частичного изменения в монтаже и переналадки оборудования, что сказывается на экономичности, инерционности и качестве экологии процессов сжигания. Определяющим является аспект непрерывности и малой инерционности тепловой генерации, требуемой для современных технологических и теплоэнергетических процессов. Оптимальным решением является применение факельного сжигания комбинированного многофазного топлива. Сложность организации таких процессов, прежде всего, обусловлена значительной разницей в скорости горения твердого и газообразного топлива.

Для оптимизации процессов сжигания многофазного топлива необходимо провести выбор принципиальной схемы, аэродинамических параметров смешения потоков топлива и воздуха в зависимости от возможности расходов, физических и химических параметров проектных видов топлива и геометрических характеристик камеры сгорания.

В результате исследования определено, что для осуществления сбалансированной подсветки диспергированного твердого топлива и/или атомизированного высоковязкого жидкого топлива газообразным и/или маловязким жидким топливом каналы подачи подсвечиваемого топлива целесообразно располагать внутри осевых и тангенциальных каналов подачи воздуха. Такая схема обеспечивает образование турбулентных потоков топливо-воздушной смеси непосредственно у корня факела, а также стабильность и неразрывность пламени.

Численными методами определены режимные параметры при изменении дисперсности и плотности топлива, скорости потока топливовоздушной смеси и вторичного воздуха, подаваемого на горение, а также конфигурация и геометрия оптимального пламени.

Перспективы развития систем теплоснабжения

Седнин В.А., Петюк С.В.

Белорусский национальный технический университет

В последние десятилетия безусловным лидером в разработке новых технических решений применяемых в системах теплоснабжения является Дания. Исследования, проводимые в этой стране, а также в ряде других Европейских стран направлены на широкое использование возобновляемых источников энергии в системах теплоснабжения и возможность значительно снижения расхода теплоты на отопление зданий.

Большинство исследований сводится к мнению, что развитие систем централизованного теплоснабжения должно происходить по пути уменьшения потерь теплоты в тепловых сетях, использования различных технологий, в том числе низкотемпературного теплоснабжения, а также реализацию концепции "интеллектуальное теплоснабжение". Все это по мнению авторов позволит в перспективе эксплуатировать системы теплоснабжения без использования органического топлива.

Перспективные системы централизованного теплоснабжения должны отвечать следующим требованиям:

- возможность подачи теплоты с низкой температурой для новых и существующих зданий. Предполагается, что в будущем для систем отопления будет применяться теплоноситель с температурой 40 °С. При этом температура обратной сетевой воды составит порядка 20 °С. Системы отопления, вмонтированные в стены и в пол, позволят работать с температурой воды на несколько градусов больше требуемой температуры воздуха в помещении;

- возможность транспортировки теплоты с минимальными потерями в тепловых сетях. Для систем горячего водоснабжения предлагается минимизировать расстояния от теплообменника системы ГВС до конечного потребителя. Это позволит уменьшить температуру воды в систему ГВС до уровня 40-50 °С, при условии обеспечения требуемого качества воды;

- возможность повторного использования теплоты низко потенциальных источников и возможность интеграции возобновляемых источников, таких как солнечная энергия и геотермальные источники;

- создание систем "интеллектуальное теплоснабжение" с внедрением адаптивных систем управления. Данные системы управления позволяют производить балансировку требуемой тепловой энергии в течение суток, и в частности понизить пиковые нагрузки.

Повышение эффективности преобразования солнечной энергии

Петровская Т.А., Богдан А.А., Иванова Д.С.
Белорусский национальный технический университет

Максимальный достигнутый в лаборатории КПД солнечных элементов (СЭ) на основе каскадных гетероструктур составляет 36,9 % (фирма Спектролаб, США), для СЭ из кремния 24%. Практически все заводы за рубежом выпускают солнечные элементы с КПД 14 -17%. Sun Power Согр. США начала в 2003 г. производство солнечных элементов из кремния размером 125 x 125 мм с КПД 20%.

Разрабатывается новое поколение СЭ с предельным КПД до 93%, использующее новые физические принципы, материалы и структуры. Основные усилия направлены на более полное использование всего спектра солнечного излучения и полной энергии фотонов по принципу: каждый фотон должен поглощаться в полупроводнике с запрещенной зоной, ширина которой соответствует энергии этого фотона. Это позволит на 47% снизить потери в СЭ. Для этого разрабатываются перспективные СЭ: каскадные из полупроводников с различной шириной запрещенной зоны; с переменной шириной запрещенной зоны; с примесными энергетическими уровнями в запрещенной зоне.

Другие подходы к повышению КПД СЭ связаны с использованием концентрированного солнечного излучения, созданием полимерных СЭ, а также наноструктур на основе кремния и фуллеренов. Предлагается использовать принципы микроволнового преобразования энергии (резонатор – волновод – выпрямитель) для преобразования солнечной энергии .

Новые технологии и материалы позволят в ближайшие пять лет увеличить КПД СЭ на основе каскадных гетероструктур в лаборатории до 40%, в производстве до 26 – 30%, КПД СЭ из кремния в лаборатории до 28%, в промышленности до 22%.

Основные пути снижения стоимости СЭС: повышение КПД СЭС, увеличение размеров СМ и объема производства, снижение стоимости солнечного кремния, снижение расхода солнечного кремния на единицу мощности СЭС, комбинированное производство электроэнергии и теплоты на СЭС.

Петровская Т.А., Гречко В.В.

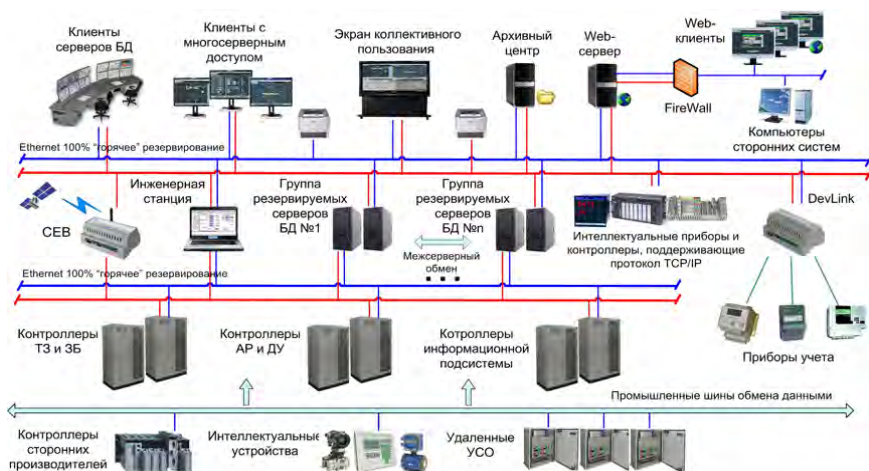
Белорусский национальный технический университет

Современная автоматизация обеспечивает более быстрое и качественное регулирование; повышение экономичности установок; снижение вредных выбросов и другие преимущества. Повышение надежности микропроцессорной и оптоволоконной техники

Основные пути совершенствования систем автоматического регулирования: переход с металлических проводов на оптоволокно; окончательный переход на микропроцессорную технику.

Благодаря развитию информационных систем появилась возможность отслеживать состояние оборудования на расстоянии, в частности появилась возможность создания диспетчерских пунктов на несколько котельных. Также у организаций, обслуживающих оборудование появилась возможность отслеживать состояние оборудования в реальном времени в любой точке мира, и это позволяет оперативно реагировать на неполадки и сбои, помогать персоналу на местах.

Благодаря развитию автоматизации и информационных технологий снижается роль человеческого фактора, повышается экономичность, безотказность оборудования, облегчается работа персонала, улучшается диагностика повреждений.



Расчет расхода тепловой энергии на производство сиропа (жидкого сахара)

Мигуцкий И. Е.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается процесс производства сахарного сиропа (жидкого сахара) по следующей схеме:

- после 6 корпуса выпарной станции забирают сироп с концентрацией 74% и разбавляют его до концентрации 65%. В этом случае не работает отделение сушки сахара, упаковка сахара, часть оборудования продуктового отделения, вакуум-аппараты. Этот вариант, естественно, самый экономичный, но могут возникнуть проблемы с качеством сахара, так как в вакуум-аппаратах с оттеками уходит часть загрязняющих сахар веществ.

Ниже приводится расчет потребления тепловой и электрической энергии по трем рассмотренным вариантам

Таким образом, удельный нормативный расход тепла на технологические нужды при производстве сахара из сахарной свеклы, Гкал/т

$$Q_{\text{норм}}^{\text{св}} = D * r / A = 86,6 * 523 / 333,3 = 135,9 \text{ Мкал / т.}$$

С учетом надбавок удельная технологическая норма расхода тепла на производство сахара из сахарной свеклы составит:

$$q_{\text{норм}}^{\text{св}} = 135,9 + 22,8 = 158,7 \text{ Мкал / т.}$$

Надбавки к технологической норме равны 22,8.

С учетом рассчитанных выше норм на переработку свеклы, выходом сахара при сахаристости свеклы 15,0% и того, что концентрация сахара в сиропе должна быть 65%, удельные норма расхода тепловой энергии на производство сахарного сиропа будет:

$$q_{\text{сир}} = q_{\text{св}} \frac{0,65}{0,15} = 0,65 * 158,7 / 0,15 = 687,7 \text{ Мкал / т.}$$

Экономика и организация энергетики

Бокун И. А., Левчук Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет

В связи с нестабильностью импорта топлива и цен на него становится целесообразным преобразование центральных котельных как в городах, так и в посёлках в мини-ТЭЦ с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии.

При этом в качестве топлива могут использоваться продукты газификации низкосортных местных топлив и биомассы. Работу мини-ТЭЦ целесообразно проектировать в маневренных режимах с учётом необходимости обслуживания потребителей с неравномерным графиком нагрузок (суточным, сезонным). Мини-ТЭЦ могут производить электроэнергию и теплоту для удовлетворения нужд потребителя.

В мини-ТЭЦ сочетается ряд энерготехнологий, способных производить потоки тепловой энергии на различных уровнях плотности.

Мини-ТЭЦ может включать следующие функциональные блоки (рисунок 1): компрессор 1, камера сгорания 2, ГТУ 3, котёл-утилизатор 4, паровую турбину 5, аккумулятор тепловой энергии 6 для потребителей 7. Выхлопные газы после котла-утилизатора поступают в подогреватель топлива 8. Компрессором подаётся в камеру сгорания воздух и топливо, которое подогревается уходящими из котла-утилизатора газами. Пар из котла-утилизатора поступает в паровую турбину, а затем отработанный пар поступает в аккумулятор тепловой энергии, который выполняет как функцию деаэратора, так и источника тепловой энергии для потребителей.

Следует отметить, что КПД таких мини-ТЭЦ достигает выше 60 %.

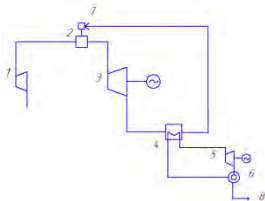


Схема мини-ТЭЦ

Критерии и модели принятия решений по обеспечению энергоэффективности

Лапченко Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Механизм управления энергоэффективностью предприятия включает факторы обеспечения энергоэффективности и направления энергосбережения, а также этапы деятельности по обеспечению энергоэффективности (проведение анализа состояния и определение структуры энергопотребления, диагностика и оценка резервов экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), составление плана мероприятий по реализации резервов экономии ресурсов, реализация планируемых мероприятий по экономии и рациональному использованию энергоресурсов). Процесс управления эффективностью использования ТЭР на промышленном предприятии включает следующие процедуры: комплексная оценка эффективности использования ТЭР; формирование оптимального портфеля организационно-технических мероприятий по повышению эффективности использования ТЭР; контроль развития в области повышения энергоэффективности.

Можно выделить три основных типа критериев энергоэффективности – термодинамические, натуральные, экономические, использование которых зависит от многих факторов. В настоящее время потенциал малозатратных организационно-экономических мероприятий в области энергосбережения практически исчерпан, и дальнейшая работа по повышению энергоэффективности требует все более значительных инвестиций. Поэтому приоритетное значение имеют экономические критерии, так как эффективное использование энергетических ресурсов есть достижение именно экономически оправданной эффективности использования энергетических ресурсов при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. Критерии и модели принятия решений по обеспечению энергоэффективности включают:

- критерий чистой дисконтированной стоимости объекта, потребляющего энергию, рассчитанной как разница между дисконтированными доходами и текущими и капитальными затратами;
- критерий снижения себестоимости выпускаемой продукции промышленного предприятия, достигнутого в результате повышения эффективности использования ТЭР.

Система оценочных показателей энергопредприятия при внедрении управленческого учета

Манцера Т.Ф.

Белорусский национальный технический университет

При существующей вертикально-интегрированной модели управления энергокомплексом Республики Беларусь, государство осуществляет централизованное регулирование производственно-хозяйственной деятельностью предприятий энергетике. Проблема перекрестного субсидирования и отсутствие рыночных механизмов регулирования в энергетике становятся причиной снижения инвестиционной привлекательности отрасли. Общепринятая система финансового учета не позволяет детально изучить затраты на каждом этапе производства электроэнергии, и, как следствие, не позволяет сформировать обоснованный тариф. Поэтому для этих целей необходимо, параллельно с традиционным финансовым учетом, вести управленческий (раздельный) учет.

Для эффективного использования механизма управленческого учета, контроля проведенных процедур и корректировки управленческих воздействий необходима система оценочных показателей. Система показателей должна отражать уровень иерархии управления и особенность технологического цикла производства энергии. Так, для генерирующих объектов в условиях оптового рынка структурно можно выделить несколько блоков оценочных показателей. Первый блок должен дать оценку производственной мощности, технической оснащенности и эффективности использования оборудования. Он должен включать как объемные натуральные показатели, так и качественные. Для формирования объективной информации о деятельности целесообразно выделить специальный блок показателей, характеризующий уровень затрат и их обоснованность. Он может включать как общепринятые показатели (уровень себестоимости 1 кВтч и 1 Гкал), так и отдельные общепроизводственные или общехозяйственные расходы. Так как топливная составляющая в энергетике является самой весомой, поэтому целесообразно контролировать уровень и характер затрат на топливо (3 блок).

Перекрестное субсидирование

Нагорнов В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Повышение цен на коммунально-бытовое обслуживание населения привело к новой волне интереса к ценам продукции естественных монополий и, в частности, к так называемому перекрестному субсидированию. В настоящее время перекрестное субсидирование является своеобразным тормозом развития топливно-энергетического комплекса республики. В частности перекрестное субсидирование приводит к таким негативным последствиям, как:

- увеличение себестоимости промышленной продукции на сумму скрытых дотаций населению;
- нерациональное и расточительное использование энергоресурсов населением и другими льготными потребителями;
- повышение себестоимости промышленных товаров приводит к потере конкурентоспособности энергоемкой экспортной продукции;
- с увеличением тарифов промышленности сокращается доходная часть бюджета, так как уменьшается основная часть налогообложения предприятий – прибыль;
- наибольшую выгоду от льготных тарифов получает наиболее обеспеченная часть населения, имеющая большие квартиры, коттеджи и использующая электроэнергию для получения тепла;
- отказ части потребителей тепла от централизованного тепло-снабжения приводит к уменьшению комбинированного производства электроэнергии и теплоты на ТЭЦ, что вызывает рост импортируемых энергоресурсов и одновременно увеличивает пресс перекрестного субсидирования на оставшихся потребителях тепла;
- высвобождаемые средства населения оказывают определенное инфляционное давление на всю экономику республики.

Себестоимость электроэнергии в значительной мере зависит от режима электропотребления и напряжения, на котором потребитель получает электроэнергию. Коммунально-бытовой сектор потребляет энергию в пиковой и полупиковой зонах нагрузки и на самом низком напряжении, с дорогими разветвленными сетями и высокими потерями. Промышленный сектор, наоборот, потребляет энергию в базовой и полупиковой зонах нагрузки на высоком напряжении. Таким образом, себестоимость энергии для населения получается выше себестоимости энергии, потребляемой промышленностью.

Пути повышения финансовой устойчивости предприятия

Макарецкая Т.Д.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Финансовая устойчивость предприятий зависит от многих факторов, которые можно разделить на внешние, оказывающие влияние вне зависимости от интересов и деятельности предприятия, и внутренние, на которые предприятие может и должно активно влиять. На современном этапе развития экономики к основным внешним факторам можно отнести такие, как кризис неплатежей, темпы инфляции, уровень налогов, высокие ставки банковского кредита и др.

Обеспечение финансовой устойчивости должно осуществляться предприятиями по разным направлениям, на которые субъекты хозяйствования могут воздействовать. Сюда относится прежде всего разработка на основе финансового анализа грамотной финансовой стратегии предприятия, включающей как текущие финансовые задачи, так и перспективные.

Важным является также формирование и обеспечение современного подхода к производству, который основан на внедрении новых инновационных технологий. Одним из эффективных методов обновления материально-технической базы предприятия может стать лизинг, который не требует полной единовременной оплаты арендуемого имущества и служит одним из видов инвестирования.

Большую помощь в выявлении резервов повышения финансовой устойчивости предприятия может оказать маркетинговый анализ по изучению спроса и предложения, рынков сбыта и формированию на этой основе оптимального ассортимента и структуры производства продукции.

Важным направлением является также поиск внутренних резервов по увеличению прибыльности производства и достижению безубыточной работы за счет более полного использования производственной мощности предприятия, повышения качества и конкурентоспособности продукции, снижения ее себестоимости, рационального использования материальных, трудовых и финансовых ресурсов, сокращения непроизводительных расходов и потерь.

Экологическая безопасность территорий

Кабушко А.М.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Анализ динамики экологической ситуации последних лет в целом по стране и в региональном разрезе позволяет сделать заключение о наметившейся относительной стабилизации состояния природной среды, что явилось следствием осуществляемой в Республике Беларусь природоохранной деятельности. Вместе с тем высокая степень износа основных средств производства, устаревшие материалоемкие технологии являются серьезным фактором потенциального экологического риска территорий.

Состояние природной среды республики в современных условиях находится на стадии «накопления» потенциальных риск-ситуаций, что и обуславливает необходимость совершенствования управления экологической безопасностью территорий. Основой его информационного обеспечения является государственная статистика, использующая систему показателей, комплексно характеризующих компоненты окружающей среды. Однако там отражена исключительно первичная информация и отсутствуют такие обобщающие характеристики, как самовосстановительный потенциал природных систем, их самоочищающая способность, соизмерение природного и производственного потенциалов.

Мы предлагаем разрабатывать экологические паспорта территории, содержащие три блока: информационный, экономический, проблемно-целевой. С таким содержанием паспорт может рассматриваться как эколого-экономический и стать основой стратегической эколого-экономической программы развития территории.

Информационный блок может включать общую характеристику территории, его географическое положение, климатические условия и др. В этот же раздел паспорта следует включать информацию о структуре антропогенной нагрузки на окружающую среду. В экономическом блоке предлагается отражать: экономические показатели производственно-хозяйственной деятельности, налоговые льготы предприятия, связанные с его природоохранной деятельностью, затраты на проведение природоохранных мероприятий; показатели внутреннего и внешнего ущерба. Проблемно-целевой блок должен отражать природоохранные проблемы территории и пути их решения.

К оценке остаточной стоимости основных фондов в технико-экономических расчётах

Лимонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

Если основные фонды (ОФ) созданные в результате единовременных затрат, высвобождаются в связи с завершением проекта до окончания их срока службы и эффективно продолжают функционировать или могут до конца своего срока службы эффективно использоваться на других участках, то при оценке и (или) сравнении проектов по эффективности необходим учёт остаточной стоимости фондов. Допустим, что оптимальный срок службы ОФ (K) равен T , а в году $\tau < T$ они отслужили только часть этого срока, то остаточная стоимость фондов (K_O), высвобождаемых в год τ и приведенная по времени к данному моменту времени, может быть определена:

$$\begin{aligned} K_O &= (K - K_L) (E + \alpha) \sum_{t=\tau+1}^T (1 + E)^{\tau-t} + K_L = \\ &= K - (K - K_L) (E + \alpha) \sum_{t=1}^{\tau} (1 + E)^{\tau-t}, \end{aligned}$$

где α – норма отчислений на реновацию, принимаемая постоянной величиной по годам расчётного периода, рассчитанная с учётом фактора времени; K_L – ликвидационная стоимость ОФ.

Под знаком суммы в приведенных формулах – конечные убывающие прогрессии, сумма членов которых равна:

$$S = (a_1 - a_1 q^n) / (1 - q),$$

где a_1 и q для первого выражения будут равны $(1 + E)^{-1}$; n – количество членов (в первой формуле) геометрической прогрессии – $(T - \tau)$.

В результате сумма членов будет равна:

$$S = \frac{(1+E)^{-1} - (1+E)^{-1} (1+E)^{-(\tau-T)}}{1 - (1+E)^{-1}} = \frac{(1+E)^T - (1+E)^{\tau}}{E (1+E)^T}.$$

Так как

$$(E + \alpha) = E + \frac{E}{(1+E)^T - 1} = \frac{E (1+E)^T}{(1+E)^T - 1}.$$

И в результате остаточная стоимость будет

$$K_O = K_L + (K - K_L) \frac{(1+E)^T - (1+E)^{\tau}}{(1+E)^T - 1}.$$

Если в год $\tau < T$ заканчивается расчётный период, то при расчёте ЧДД (как и других абсолютных критериев) остаточная стоимость единовременных затрат учитывается следующим образом:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{\tau} (R_t - I_t) (1 + E)^{-t} - K + K_O (1 + E)^{-\tau}.$$

Обоснование метода учета затрат в энергетике

Самосюк Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Управление затратами предусматривает набор методик сбора, формирования необходимой информации, последующей обработки, разработки различных сценариев, обеспечивающих полное представление о возможных эффективных направлениях снижения затрат.

Выделение центров ответственности позволяет существенно повысить эффективность производственного учета, контроля и управления. Деление производственного предприятия на центры ответственности зависит от отраслевых особенностей, технологии и организации производственного процесса, методов переработки исходных материалов, состава выпускаемой продукции, уровня технической оснащенности и других факторов.

Существуют различные классификации центров ответственности. В соответствии с классификацией принято выделять четыре типа центров ответственности: центр затрат, центр доходов, центр прибыли, центр инвестиции. На ТЭЦ можно выделить центры доходов и центры затрат. К центрам доходов можно отнести: бухгалтерию (оперативное управление производственными затратами), финансовый отдел (тактическое управление производственными затратами), планово-экономический отдел (стратегическое управление производственными затратами). К центрам затрат: топливно-транспортный цех, котлотурбинный цех, электрический цех, теплофикационное отделение. Учет затрат по центрам ответственности на предприятиях энергетики целесообразно осуществлять по нормативному методу. Данный метод предусматривает учет затрат по нормам, изменениям норм, отклонениям от норм.

Для контроля снижения удельного расхода топлива и получения обоснованной себестоимости производства энергии целесообразно использовать попроцесный метод калькулирования. На ТЭЦ он может быть заменен на поперечный с формированием цеховой себестоимости и себестоимости полуфабрикатов. Затраты оборудования не связанного с комбинированным производством, которое работает параллельно, калькулируются отдельно.

Для эффективного учета затрат необходимо использовать параллельно использовать несколько методов учета затрат это возможно в системе автоматизированной системы информации.

Проблемы управления экономическим риском

Тымуль Е.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время необходимость управления рисками на предприятии не вызывает сомнения. По мере развития предприятий, усложнения их организационных структур управления, всё большего влияния внешних факторов на деятельность предприятия возрастает необходимость внедрения комплексной системы управления рисками, охватывающей все виды деятельности предприятия. Управление любыми рисками должно основываться на разработанной методике, которая представляет собой алгоритм определенных последовательных действий. Прежде всего, необходимо выявить все возможные внешние и внутренние риски, которые способны повлиять на функционирование предприятия или на определенный вид экономической деятельности. Следующим шагом является выявление причин возникновения данных рисков. Затем следует оценка величины возможного риска, основанная на методологии, с помощью которой анализируется будущая неопределенность для того, чтобы определить влияние риска на предполагаемый результат. Заключительным шагом в данной модели управления должен стать выбор определенных мер по предотвращению или снижению самых значимых рисков, выявленных и проанализированных на предыдущих шагах. На сегодня к наиболее распространенным методам управления рисками относят: избежание рисков или отказ от них; принятие рисков на себя; предотвращение убытков; уменьшение размера убытков; страхование; самострахование; передача рисков. Выбор той или иной процедуры управления рисками определяется общей стратегией организации в отношении рисков, которая, в свою очередь, зависит от суммарного размера потенциальных убытков, с одной стороны, и финансовых возможностей организации, с другой. Критерием выбора той или иной процедуры управления рисками являются шкалирование и лимитирование рисков, т.е. установление неких пороговых значений рисков и определенных действий воздействия на риски в зависимости от величины оцениваемого риска.

Результативность управления вообще и управленческих решений в частности связана с комплексным использованием множества обстоятельств, в том числе во многом зависит и от процедуры принятия решений, порядка и условий их практической реализации. Поэтому столь важны методологические основы при разработке и принятии решений.

Требования к подготовке операторов в АСУ ТП

Кравчук Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Надежность работы человека-машинной системы (ЧМС) в значительной степени определяется надежностью человека-оператора, и чем сложнее ЧМС, тем более выражена эта зависимость. Это объясняется тем, что человеку свойственна высокая реактивность, чувствительность, он функционально динамичен и подвержен влиянию множества факторов внешней и внутренней среды. В силу этих и других особенностей в условиях роста сложности и напряженности работы деятельность человека-оператора является многофункциональным параметром и зависит от многих факторов.

Человеку-оператору ЧМС в заданном промежутке времени требуется обрабатывать большие объемы поступающей информации. Так как длительность этого процесса в значительной степени определяет оперативность процесса принятия решения, то работа оператора характеризуется количеством обрабатываемой информации. Поэтому одной из основных задач является определение пропускной способности человека-оператора, его основной информационной характеристики. Пропускная способность оператора ограничена. Она зависит от типа решаемой задачи, объема выводимой информации на систему отображения, яркости символов, их контрастности, размеров, и других факторов. Поэтому возникает необходимость в целях оптимизации взаимодействия человека-оператора с аппаратно-программой средой ЧМС осуществлять согласование предъявляемой оператору информационной модели с реальными объектами, информацию о которых она содержит.

Соотношение между качеством работы человека и действующими нагрузками показывает, что зависимость частоты появления ошибок от действующих нагрузок является нелинейной. При очень низком уровне нагрузок большинство операторов работают неэффективно (так задание кажется скучным и не вызывает интереса) и качество работы далеко от оптимального. При умеренных нагрузках качество работы оператора оказывается оптимальным, и поэтому умеренную нагрузку можно рассматривать как достаточное условие обеспечения внимательной работы человека-оператора. При дальнейшем увеличении нагрузок качество работы человека начинает снижаться. Эффективность и устойчивость работы ЧМС зависит от многих составляющих и в первую очередь от того, как распределены и согласованы функции между человеком и машиной.

Экономическая эффективность жилых зданий при применении «активного» и «пассивного» энергосбережения

Баранников А. И.

Белорусский национальный технический университет

Здания, удовлетворяющие нормативным требованиям удельной потребности в тепловой энергии на отопление (или охлаждение) и вентиляцию, получили название «энергоэффективные здания». Таким образом, разработчики нормативно-правовой документации, посвященной энергетической эффективности зданий, определяют энергетическую эффективность здания как свойство объекта и его инженерных систем обеспечивать заданный уровень расхода тепловой энергии для поддержания оптимальных параметров микроклимата помещений.

При проектировании важным является вопрос о выборе оптимального сочетания решений, обеспечивающих экономически обоснованное снижение энергопотребления и сохранение комфорта в помещении. Для этого необходимо представить структуру энергетического баланса здания и связанных с ней возможности изменения энергозатрат по различным составляющим баланса.

Существуют различные способы энергосбережения, которые можно поделить на две группы: активные и пассивные.

Группировка способов энергосбережения

Активные

Солнечный коллектор
Солнечная батарея на основе фотоэлементов
Тепловой насос
Рекуператор
Теплообменник
Теплый пол
Энергосберегающее освещение
Фотоэлементы систем освещения
Автоматизированная система управления инженерным оборудованием здания

Пассивные

Ориентация дома на юг
Общая архитектурно-планировочная концепция здания
Светлая кровля
Площадь остекления должна быть увеличена с южной стороны и уменьшена с северной
Вентилируемые окна
Рециркуляционный воздуховод в плитах перекрытий
Отраженное освещение
Теплоемкие ограждающие конструкции
Узел учета энергоресурсов

Возможность применения логистики в энергетике

Чиж Е.П.

Белорусский национальный технический университет

Роль и значение энергетики, эффективность ее функционирования с целью повышения уровня обеспеченности национальной экономики материальными, финансовыми, информационными ресурсами в оптимальной пропорции, предполагает разработку и реализацию логистической стратегии ее развития.

Логистика в энергетике базируется на ее специфических особенностях, таких как непрерывность производства, распределения и потребления энергии по периодам времени и часам суток. Модель энергетической системы, по мнению Бутковского И.П., представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов логистического процесса, интегрированных в налаженные механизмы поставок энергии.

В основе механизма поставок энергии лежат потоки, которые имеют ряд существенных отличий от материальных потоков, которые характерны для классических логистических систем. Основные физические и химические свойства энергетических потоков (давление, температура и т.д.) подвержены постоянному изменению. Энергетика – довольно фондоемкий вид деятельности, следовательно, здесь велика стоимость основных средств, которые формируют значительную часть стоимости логистической системы. Следует также отметить небольшой выбор возможных вариантов транспортировки энергетических потоков. В то же время, при применении логистического подхода в энергетике следует принимать во внимание и специфику финансовых потоков, которые формируются при оплате поставок энергии. Для энергетики республики, как вариант, можно рассмотреть следующую логистическую структуру, включающую поставщиков оптового рынка электро и теплоэнергии (ТЭЦ, котельные и т.д.), поставщиков розничного рынка электроэнергетики (электрические сети), потребителей электроэнергии (юридические и физические лица), оперативно-диспетчерское управление, Энергонадзор.

Использование процедуры бенчмаркинга на предприятии

Русак Е. С.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

В последние годы бенчаркинг входит в тройку самых распространенных методов управления бизнесом и изучения конкурентов в крупных международных компаниях.

В практике управления бенчмаркинг определяют как метод, основывающийся на опыте взятого за эталон предприятия, применение лучшей практики на своём предприятии и выработке лучшей стратегии развития, нацеленной на совершенствование организации.

В теории различают несколько видов бенчмаркинга:

1. внутренний бенчмаркинг – производится между подразделениями в одной организации;
2. конкурентный бенчмаркинг – сравнение показателей своей фирмы с конкурентами;
3. функциональный бенчмаркинг – сравнение с организациями, не являющимися конкурентами;
4. общий бенчмаркинг – сравнение бизнес-процессов с организациями, относящимися к разным отраслям рынка.

Благодаря бенчмаркингу собственники, управляющие, менеджеры располагают информацией, необходимой для выбора стратегии развития предприятия и эффективного распределения ресурсов. Процедуры бенчмаркинга позволяют, с одной стороны, объективно оценить собственные идеи, цели и задачи предприятия, а с другой – сравнить показатели своей работы с параметрами деятельности других предприятий, чтобы оценить уровень ее конкурентоспособности.

В Республике Беларусь применение бенчмаркинга пока недостаточно по сравнению с зарубежными странами. Например, использование бенчмаркинга в зарубежных странах регулируется и поддерживается на государственном уровне, создаются специализированные компании для поиска партнёров по бенчмаркингу, в Республике Беларусь такая практика отсутствует.

Среди основных причин, тормозящих полноценное и успешное применение бенчмаркинга в стране можно выделить следующие:

1. недостаточность информации для обмена опытом;
2. отсутствие финансирования программ бенчмаркинга государством, отсутствие достаточного количества практики в нашей стране;
3. влияние особенностей ведения национального бухгалтерского учёта.

Создание кластеров в энергетике Вьетнама

Нго Ань Туэт

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день во Вьетнаме функционирует довольно много региональных экономических кластеров, в том числе кластеров по различным отраслям. В тоже время, в энергетике пока кластеры не созданы и отсутствует механизм формирования кластера в энергетической отрасли Вьетнама. Автором проведены независимые исследования и разработана методика научных исследований формирования энергетического кластера Вьетнама. В частности, особый интерес представляет методика создания регионального кластера возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Алгоритм создания кластера энергии Вьетнама обусловлен следующим:

1. Формирование, опознавание объектов: на основе теории кластерной и региональной экономик М.Портера определяются объекты, связанные с формированием кластера и устанавливаются их взаимосвязи. Они включают органы национального и регионального управления, учебные учреждения; научно-исследовательские институты; энергетические предприятия в регионе или за пределами региона.

2. Оценка групп ВИЭ в регионе: Оценка приоритета развития ВИЭ во Вьетнаме и в регионе (малые ГЭС, биомасса, энергия ветра, солнечная энергия).

3. Оценка состояния социально-экономического развития региона.

4. Оценка потенциала и возможности формирования кластера: возможность формирования кластера оценивается по определенным критериям.

5. Выбор участники в кластере: энергетические предприятия или связанные с ними технологически, выбирают по определенным критериям.

6. Создание модели энергетического кластера: на основе выбранных участников и объектов создается модель энергетического кластера.

7. Определение уровня инвестиций и оценка их эффективности в кластер ВИЭ.

8. Определение стратегии развития кластера.

Для создания энергетического кластера во Вьетнаме необходимо разработать методику, основанную на основе кластерной теории М.Портера и анализа социально-экономического развития страны, состояния и перспектив развития энергетики Вьетнама.

Основные принципы тарифообразования за рубежом

Левковская А.В.

Белорусский национальный технический университет

Практически во всех развитых странах мира в быту применяются тарифы, дифференцированные по зонам. Такие тарифы отражают фактическую стоимость электроэнергии, отпускаемую потребителям. При этом оплата за электрическую энергию исчисляется по различным вариантам тарифов: стоимость одного киловатт-часа может меняться несколько раз в день. В выходные тарифы могут отличаться от действующих в рабочие дни.

В европейских странах в бытовом секторе широко используются тарифы, состоящие из фиксированной платы (так называемый абонемент на электрическую энергию) и платы за потребленную электроэнергию. Например, в бытовых тарифах Ирландии и Швейцарии фиксированная плата пропорциональна числу комнат в квартире.

Во Франции существует универсальный тариф для бытовых потребителей, включающий в себя фиксированную плату и двухступенчатый тариф на электроэнергию (дневной и ночной). Тариф на электроэнергию в дневной зоне примерно в 1,7 раза выше, чем в ночной.

Великобритания для бытовых потребителей предлагает три формы оплаты электроэнергии: по одноставочному тарифу, по дифференцированному (дневному и ночному) тарифу и по одноставочному тарифу с абонентской платой.

В Германии тарифы для населения определяются основной платой за год, которая зависит от годового объема потребляемой электроэнергии, и платой за фактически потребленную энергию.

В Италии в настоящее время крупнейшая национальная энергоснабжающая компания завершает работы по созданию автоматизированной системы для бытовых потребителей, которая позволит не только дистанционно считывать показания электросчетчиков, но и централизованно управлять электропотреблением. Потребители получат возможность использовать дифференцированные тарифы по потребляемой мощности.

В США существуют бытовые тарифы на суточную пиковую и внепиковую электроэнергию. Для потребителей, использующих внепиковую энергию, тариф может быть ниже в 2–16 раз в зависимости от энергосистемы, что позволяет в пиковые периоды снизить электропотребление в бытовом секторе до 30 %.

**Преимущества газификации низкосортных местных топлив
в пульсирующем слое**

Бокун И. А., Левчук Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрены технологии газификации биомассы и низкосортных топлив с целью производства энергии. Предложена конструкция газогенератора с пульсирующим слоем.

Предполагается, что в будущем получат развитие газификационные установки большой и средней мощности. Газогенераторы малой и средней мощности основаны на реакторах плотного слоя (газогенераторы с нижним и верхним дутьём), в то время как в установках средней и большой мощности, предназначенных для производства электроэнергии, применяются газогенераторы с кипящим слоем, а также с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС). С целью повышения эффективности работы газогенератора за счёт снижения уноса пылевидных частиц, предотвращения спекания топлива, интенсификации перемешивания и процессов тепло- и массообмена в слое, предложен газогенератор с пульсирующим слоем. Газогенератор содержит вертикальный корпус, поверхности охлаждения, трубопровод подачи воздуха в воздушную камеру, разгрузочное устройство, трубопровод подачи топлива в кипящий слой на распределительной решетке внутри вертикального корпуса, трубопровод подачи топлива выполнен в виде шахты, примыкающей к верхней части вертикального корпуса, и снабжен устройством аэродинамического торможения слоя, выполненным в виде расположенных с противоположных сторон трубопровода подачи топлива и смещенных по высоте коробов, на которых установлены соленоидные клапаны.

Энергетическое строительство

Основные виды нарушений нормальной эксплуатации сооружений

Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н., Мурашко О.А., Алисевич М.Г.
Белорусский национальный технический университет

Во время эксплуатации гидротехнических сооружений на них действуют воздушная и водная среда, волны, шуга, лед, низкая и высокая температуры, атмосферные осадки, ветер, бури, солнечная радиация. Кроме того, происходит взаимодействие между сооружением и его основанием.

К основным видам нарушений нормальной эксплуатации сооружений относятся:

1. Размыв крепления русла перед сооружениями. Вымыв грунта из-под плит крепления, расстройство стыков между ними.
2. Повреждение щитовых устройств и винтоподъемников. Выход затворов из строя вследствие перекоса, заклинивания и других причин.
3. Расстройство стыков между элементами сборных сооружений (особенно между звеньями труб, башен и т.д.). Сдвиг звеньев относительно друг друга в вертикальной и горизонтальной плоскости, раскрытие стыков и вымыв грунта засыпки в водопроводящий тракт и в нижний бьеф.
4. Размыв грунта по контуру сооружения. Значительная контактная фильтрация.
5. Разрушение крепления в нижнем бьефе. При этом зафиксировано большое разнообразие видов разрушений, вызванных различными причинами.
6. Размыв отводящего русла. При этом различается боковая эрозия, т.е. разрушение откосов и размывы дна.
7. Заиление водобойных колодцев, забивка вертикальных шахт растительностью и сором.
8. Шелушение бетона – отслоения затвердевшего цементного раствора с последующим выщелачиванием заполнителя. При несвоевременном ремонте они могут быть очагами более серьезных разрушений - выбоин, оголений арматуры, проломов плит и т.п.
9. Разрушение заполнителя деформационных швов: выкрашивание, выплывание, выдувание, вымывание.
10. Разрушение стыковых соединений плит облицовок, покрытий.
11. Истирание бетона; разрушение облицовок водослива, водобоя.
12. Коррозия бетона.
13. Разрушения элементов земляных плотин (верхового и низового откосов и их креплений; гребня и его крепления; противофильтрационного устройства в теле плотины; противофильтрационного устройства в основании плотины; дренажного устройства; ливнеотводящих и дренажных канав), а также в зонах сопряжений с бетонным сооружением и основанием.

Основные причины уменьшения долговечности бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений

Линкевич Н.Н., Круглов Г.Г., Селезнев В.И., Мурашко О.А.
Белорусский национальный технический университет

Эти причины можно разделить на следующие группы:

1. Нарушение технологии изготовления бетонных и железобетонных конструкций и применение материалов, несоответствующих предъявляемым требованиям. Причинами разрушений сооружений может быть недостаточная морозостойкость их, применение цемента заниженного класса и не того вида, залежавшегося и потерявшего свои свойства. Возможно применение стали не того класса, уменьшение количества необходимой арматуры, а также применение заполнителя заниженного качества. В процессе изготовления потери качества могут быть вследствие ошибок дозирования, при увеличении или уменьшении времени перемешивания бетонной смеси, из-за недостаточной степени уплотнения бетонной смеси, а также не выдерживания правильного режима тепловлажностной обработки. Повреждение сборных элементов возможно из-за того, что конструкции отпускаются с заводов при пониженной марочной прочности бетона, а также из-за превышения транспортных и монтажных нагрузок.

2. Разрушения гидротехнических сооружений, связанные с их конструкцией, методами возведения и режимом эксплуатации. К ним относятся: а) расстройство стыков между блоками; б) возникновение нерасчетных, переходных гидравлических режимов, которые сопровождаются целым рядом неблагоприятных для эксплуатации сооружений явлений: пульсация давлений, порождающая вибрацию; сработка уровня воды в верхнем бьефе и образование кривой спада или подпора; захлестывание входного отверстия; образования всплесков и волнений в нижнем бьефе – одной из причин разрушения креплений и откосов канала; в) возникновение контактной и обходной фильтрации, в результате чего начинается интенсивный вынос грунта из зоны контакта "бетон сооружения – грунт"; г) отступление от проектных размеров при строительстве сооружения: недостаточная длина креплений, недостаточное затопление выходного отверстия в трубчатых сооружениях, несовпадение оси сооружения с осью отводящего канала, выполнение отдельных частей сооружений с заниженными или завышенными отметками и т.д.; д) низкое качество выполнения работ при строительстве сооружений: плохое уплотнение основания сооружений, грунта в пазухах, неплотная заделка стыков при монтаже, плохо выполненная гидроизоляция. Чем выше плотность и меньше водопроницаемость бетона, тем больше возможность повысить его долговечность.

**Тема воды в концепции национального павильона Беларуси
на EXPO-2015 в Милане**

Гатилло А.С.*, Гатилло С.П.**

*Белорусский государственный университет

**Белорусский национальный технический университет

С темой «Накормить планету, энергия для жизни» выставка «ЭКСПО 2015 в Милане» предложила странам и международным организациям платформу для обсуждения и поиска ответов на эти важные вопросы. Здесь можно было представить наилучшие примеры практической деятельности и установить руководящие принципы на будущее. Участники продемонстрировали свое видение и решение данных проблем через работу павильонов и специальные мероприятия, а ООН, с помощью Продовольственной и сельскохозяйственной организации, в партнерстве с организаторами, работала над содержанием тематических площадок и вовлекала посетителей в свою программу «Нулевой голод». Экспозиции, дебаты, конференции, концерты и дегустации блюд дали посетителям практический опыт погружения в вопросы питания. На выставке ЭКСПО 2015 в Милане было представлено 137 стран, из них 53 национальных павильона и 84 страны в кластерах (всего 9 тематических кластеров). Кроме того, на выставке были представлены павильоны Организации Объединённых Наций и Евросоюза. Свои отдельные экспозиции представили также различные компании. Одним из 53 национальных павильонов был павильон Республики Беларусь. Павильон Беларуси полностью отвечает задачам выставки как с точки зрения ее идеологии, так и с точки зрения оформления. Беларусь для ЭКСПО-2015 построила павильон с названием «Колесо жизни». Внешне он стилизован под мельницу, которая стоит на небольшом зеленом холме с протекающей у его подножия речкой. Этот холм – полностью искусственный, на самом деле, это здание, внутри которого расположены выставочные пространства, магазин, ресторан, а также конференц-залы. Холм разделен на две части рекой, которая протекает между половинками, над рекой закреплено мельничное колесо, приводимое в движение протекающей по нему «электронной водой».

Пройдя под колесом жизни по руслу реки, посетители белорусского павильона попадают внутрь выставочной части павильона, где они могут узнать о Беларуси. Эта часть экспозиция представлена в виде штольни соляной шахты. Первое, чем их удивляют экскурсоводы-переводчики – это информация о запасах пресной воды в Беларуси, о большом количестве рек и озер в стране.

**К вопросу о введении квот на строительство электростанций
на возобновляемых источниках энергии**

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

*НПО «Малая энергетика»

**Белорусский национальный технический университет

Политика энергосбережения, проводимая в Республике Беларусь, предусматривает в качестве одного из направлений использование для выработки электроэнергии возобновляемых источников энергии (ВИЭ). На 1 декабря 2015 г. в Республике Беларусь действуют: 51 гидроэлектростанция суммарной установленной электрической мощностью около 34,6 МВт; 50 ветроэнергетических установок суммарной электрической мощностью около 29 МВт; 29 фотоэлектрических станций суммарной электрической мощностью около 12,8 МВт; 17 биогазовых установок суммарной электрической мощностью около 22,7 МВт [1]. Доля электроэнергии, выработанной на гидро-, ветро- и солнечных электростанциях, составляла в 2010 году 0,1 процента от объема производства электрической энергии, в 2014 году – 0,7 процента. По приведенным выше данным видно, что прогресс в развитии ВИЭ есть. Но полученный результат, к сожалению, еще уступает тому уровню использования ВИЭ для получения электроэнергии, который достигнут во многих странах Европы. До сих пор развитие энергоисточников с участием ВИЭ шло инициативным путем с получением разрешений на строительство без ограничения мощностей в целом по стране. Сейчас принято решение придать этому процессу несколько иной путь, что выразилось в создании системы квотирования по каждому из видов ВИЭ и распределению их на конкурсной основе государственной комиссией. При этом определены критерии оценки выбора претендентов на квоты, по которым будет назван победитель конкурса. Одним из основных критериев при этом является размер предлагаемого коэффициента к тарифам на продажу электроэнергии [2]. В качестве максимальных значений коэффициентов, по всей видимости, необходимо использовать значения коэффициентов по постановлению Министерства экономики Республики Беларусь от 07.08.2015 № 45.

Литература

1. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016-2020 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 28.03.2016 № 48. – 44 с.
2. Об установлении и распределении квот на создание установок по использованию возобновляемых источников энергии. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 06.08.2015 №662. – 10 с.

Медведева Ю. А.

Белорусский национальный технический университет

При интенсивной круглосуточной эксплуатации высокодебитных водозаборных скважин и продления их срока службы предлагается способ реагентной регенерации скважин путем бурения в ближней зоне регенерируемой скважины дополнительных мелкотрубчатых скважин и осуществления циркуляции реагента между регенерируемой скважиной и мелкотрубчатыми скважинами (рисунок 1). Для описания установившегося промывного фильтрационного потока и расчета понижений уровня в различных точках прифильтровой зоны регенерируемых скважин, пробуренных в напорных водоносных пластах, получена зависимость

$$S = \frac{Q_n}{4\pi k m} \left(\ln \frac{2,25at}{r^2} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{2,25at}{\rho_i^2} \right) =$$

$$= \frac{Q_n}{4\pi k m} \left(-\ln r^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \rho_i^2 \right),$$

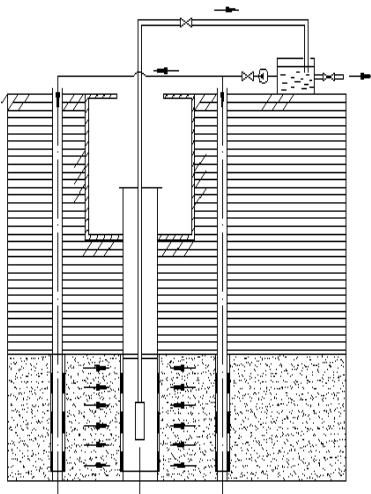


Рисунок 1
Технологическая схема
промывки скважины

где r – расстояние от восстанавливаемой скважины радиусом r_c до точки, в которой определяется понижение; ρ_i – расстояние от i -й циркуляционной трубки до точки, в которой определяется понижение; t – время;

a, k – коэффициенты пьезопроводности и фильтрации грунта; m – мощность пласта.

Выражение (1) позволяет построить гидродинамическую сетку фильтрационного потока, необходимую для нахождения скорости движения реагента в «кольматационном кольце».

Расчеты показали, что из условий обеспечения равномерной промывки закольматированного фильтра восстанавливаемой скважины при $Q=const$, $k=const$ и $m=const$ необходимо пробурить минимум три дополнительные скважины для равномерной и эффективной обработки реагентом.

Ремонтопригодные высокодебитные скважины

Ивашечкин В. В., Хаврукова А.Н., Магарян М.П.
Белорусский национальный технический университет

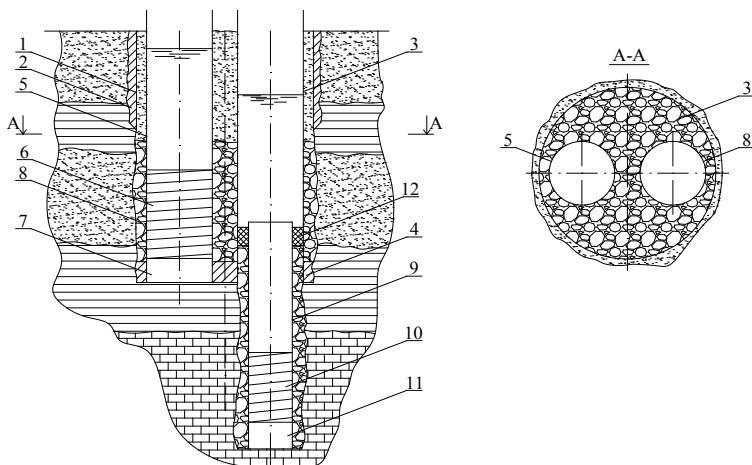
Большинство высокодебитных скважин городских водозаборов г. Минска – это скважины глубиной 60-70м с фильтрами диаметром 325мм, установленными на сплошной эксплуатационной колонне, выведенной на устье скважины. Фильтр здесь имеет гравийно-песчаную обсыпку, а эксплуатационная колонна снаружи обсыпана песком. Такая конструкция практически неремонтопригодна для проведения капремонта (реконструкции) путем извлечения фильтра и эксплуатационной колонны и их замены из-за значительных сил трения о грунт. В некоторых случаях кондуктор зацементирован и снаружи и внутри, что делает конструкцию скважины полностью неизвлекаемой. В тоже время стоимость тампонажа и бурения новой скважины существенно выше стоимости реконструкции старой, поэтому создание новых ремонтнопригодных скважин актуально.

Нами предложена скважина усовершенствованной конструкции. Новым в ней является то, что эксплуатационная колонна обсыпана снаружи не кварцевым, а керамзитовым песком, который имеет меньшую насыпную плотность и поэтому его можно легко размыть и извлечь с помощью эрлифта перед подъемом всей конструкции. Для этого помещают эрлифт с размывающими насадками сверху на керамзитовый песок и, постепенно смещая эрлифт вниз, удаляют из затрубного пространства керамзитовую засыпку, а чтобы обеспечить устойчивость необсаженных стенок ствола, заполняют затрубное пространство глинистым раствором. В новой конструкции скважины отстойник закрыт снизу деревянной пробкой и под ним предусмотрена песчаная подушка толщиной 1,5-2 м. На устье скважины устанавливают буровой станок и долотом разбуривают деревянную пробку в отстойнике, а затем, используя расширитель, выбуривают песчаную подушку под отстойником. Устанавливают эрлифт, откачивают гравийную обсыпку. Это позволяет удалить часть обсыпки, обжимающей фильтр и создать под ним полость. Затем ударным усилием или с помощью домкратов смещают фильтр вместе с эксплуатационной колонной вниз в полость под фильтром. Это позволяет срезать цементирующие связи между гравийной обсыпкой и фильтром и облегчить его последующее извлечение. Затем тяговым усилием за низ отстойника с вибрацией поднимают всю конструкцию вместе с эксплуатационной колонной на поверхность. Выбуривают старую закольматированную обсыпку и устанавливают новую фильтровую колонну.

Двухколонная водозаборная скважина

Ивашечкин В. В., Курч А.Н., Осипов А.В.
Белорусский национальный технический университет

С целью экономии средств на строительство водозабора, вместо двух скважин, каптирующих по отдельности два гидравлически не связанных между собой водоносных горизонта с различными пьезометрическими напорами, предложена конструкция скважины с двумя эксплуатационными колоннами в одном кондукторе (рисунок 1).



- 1 - кондуктор; 2 - затрубная цементация; 3 – основная эксплуатационная колонна; 4 - подбашмачная цементация; 5 - дополнительная эксплуатационная колонна; 6 - фильтр эксплуатационной колонны; 7 - отстойник; 8 - гравийная обсыпка; 9 - надфильтровая колонна; 10 - фильтр дополнительной эксплуатационной колонны; 11 - отстойник; 12 - сальник

Рисунок 1- Конструкция двухколонной скважины

Производят бурение ствола под кондуктор и после спуска его на забой цементируют. Вскрывают верхний водоносный горизонт. Опускают дополнительную эксплуатационную колонну с фильтром и отстойником, рядом устанавливают основную колонну и производят ее подбашмачную цементацию. Производят обсыпку фильтра в верхнем горизонте. Через основную колонну опускают долото и, вскрыв нижний горизонт, оборудуют его фильтром. В обоих стволах монтируют погружные насосы. Для двухколонной скважины требуется один павильон, что позволяет экономить материальные средства и площади под застройку.

Богданович М.И., Барскова А.С.

Белорусский национальный технический университет

Подходные каналы судоходных шлюзов, располагающиеся со стороны верхнего и нижнего бьефов, предназначены для обеспечения безопасного маневрирования судов при входе и выходе судов в шлюз и из шлюза и отстоя судов в ожидании шлюзования. Наполнение водой камер большинства шлюзов производится из верхнего подходного канала. Опорожнение - в нижний подходной канал. В каналах возникает волновое движение воды. Суда, находящиеся в них, подвергаются воздействию гидродинамической силы, которая изменяется по направлению и величине. Как и для камеры шлюза, оценка условий отстоя судов в подходных каналах выполняется путем сравнения максимальной расчетной гидродинамической силы, действующей на судно, с нормативным ее значением, вычисляемым по зависимости, представленной в ТКП 45-3.04-171-2009. Расчетное значение силы определяется по не нормированным даже на уровне локальных нормативных документов методикам, основанным на гипотезе о том, что гидродинамическая сила складывается из трех составляющих:

$$P(x,t) = P_1(x,t) + P_2(x,t) + P_3(x,t),$$

где $P_1(x,t)$ - волновая составляющая гидродинамической силы, кН;

$P_2(x,t)$ - составляющая гидродинамической силы, обусловленная силами трения о корпус судна и лобового сопротивления, кН;

$P_3(x,t)$ - составляющая гидродинамической силы, обусловленная неравномерностью распределения скоростей по глубине потока, кН;

$$P_3(x,t) = (\alpha - 1)P_2(x,t), \text{ где}$$

α - коэффициент кинетической энергии потока;

x - координата по оси, направленной вдоль канала; t - время.

Расчет максимальной $P(x,t)$ производится для момента времени t , соответствующего моменту прохождения гребнем прямой волны створа с координатой x , совпадающей с координатой мидель - шпангоута расчетного судна, стоящего в подходном канале у причала. Остается не учтенной возможность возникновения интерференции и дифракции при волновом движении, что приводит к несовпадению проектных и реальных условий отстоя и движения судов в подходных каналах эксплуатируемых шлюзов. Поэтому разработка методик расчета гидродинамической силы, действующей на судно в подходных каналах при наполнении (опорожнении) камеры является важной задачей. Ее успешное решение позволит улучшить эксплуатационные характеристики шлюзов.

Перспективы развития гидроэнергетики в республике Беларусь

Елисеев А.Е., Замотаев Л.А., Радайкина А.С.
Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь преимущественно равнинная страна, тем не менее, ее гидроэнергетические ресурсы оцениваются в 850 МВт, в том числе технически доступная 520 МВт, а экономически целесообразная – 250 МВт. К началу 40-х годов 20-го века на территории Беларуси насчитывалось 1094 гидросиловых установок. Массовое строительство гидроэлектростанций, в основном малых, было начато в 1935 г. Подавляющее количество ГЭС было разрушено во время Второй мировой войны. В первые годы после войны многие гидроэлектростанции были восстановлены. К концу 1956 г насчитывалось 162 гидроэлектростанции общей установленной мощностью 11854 кВт. Однако по мере развития централизованного электроснабжения и строительства крупных тепловых электростанций многие малые ГЭС были выведены из эксплуатации и демонтированы.

В начале 90-х годов в нашей республике начался третий этап развития малой гидроэнергетики, обусловленный, главным образом, желанием экономии органического топлива и экологической эффективностью возобновляемых ресурсов, в первую очередь, гидроэнергетических. Кроме того, современные достижения техники и автоматики средств управления позволяют преодолеть определенные недостатки, свойственные ранее действующим малым ГЭС, обеспечить их полную автоматизацию и улучшить показатели рентабельности за счет существенных сокращений эксплуатационных затрат. В настоящее время в стране работают более 40 малых ГЭС общей установленной мощностью более 15000 кВт. Основной гидроэнергетический потенциал сосредоточен в основном на трех реках: Западной Двине, Немане и Днепре. На Западной Двине намечено сооружение каскада из четырех ГЭС: Верхнедвинская, Полоцкая, Бешенковичская и Витебская, общей мощностью 122,5 МВт. На реке Неман намечено сооружение каскада из двух ГЭС: Гродненской и Немновской, общей мощностью 37,5 МВт. На Днепре намечено сооружение каскада из трех ГЭС: Оршанская, Шкловская и Могилевская, общей мощностью 14,9 МВт. На всех ГЭС напоры порядка 7-12 м (реки Западная Двина и Неман) и 4-7 м (река Днепр). Значительное затопление земель при этом не предусматривается. В ближайшие 10 лет достаточно реально сооружение малых ГЭС на существующих водохранилищах, на притоках основных рек, а также на промышленных водосбросах, в частности на очистных сооружениях. С учетом указанных малых ГЭС общий гидроэнергетический потенциал можно будет оценить в размере 220 МВт.

Влияние структурных параметров геотекстилей на их водопроницаемость

Митрахович А.И.*, Климков В.Т.**, Казмирук И.Ч.*

* РУП «Институт мелиорации»

**Белорусский национальный технический университет

Для регулирования водного режима переувлажненных почв в гумидной зоне применяют горизонтальный дренаж, эффективность которого обуславливается работой фильтров дренажных труб. В их качестве на пластмассовом дренаже применяют в основном геотекстили, которые должны удовлетворять ряду требований по физико-механическим, фильтрационным и др. характеристикам. Фильтр должен задерживать частицы грунта, способные заилить дренажные трубы и обеспечивать вынос мелких частиц. Для предотвращения заилиения дрен должны обеспечиваться соответствующие транспортирующие скорости потока. Минимально-допустимые скорости рекомендуются в глинистых и суглинистых грунтах – 0,20 м/с, в суглинистых и песчаных – 0,30 м/с, в пылеватых – 0,40 м/с. Материал не должен пропускать частицы грунта более 0,1 мм. Коэффициент фильтрации его должен быть не менее 45 м/сут., с учетом его уменьшения за счет коагуляции не более 50%. Фильтрационные характеристики материалов обуславливаются его структурой. Которая характеризуется в том числе и пористостью, которая зависит от диаметра элементарных волокон.

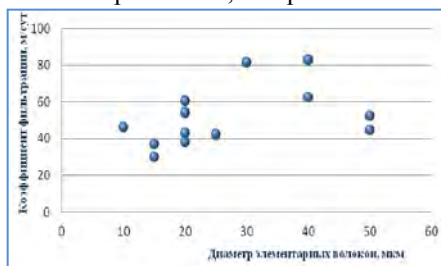


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента фильтрации геотекстиля от диаметра элементарных волокон

Были проведены исследования отечественных и зарубежных геотекстильных материалов, средние коэффициенты фильтрации их колебались в пределах от 42 м/сут. до 86,7 м/сут. Под микроскопом ОМП-ДТ 7.216.009 ПС определены диаметры элементарных волокон и установлено влияние структуры геотекстиля на его коэффициент фильтрации. При увеличении диаметра волокон до 40 микрон, коэффициент фильтрации увеличивается

(см. рисунок 1). Дальнейшее его увеличение не оказывает существенного влияния на коэффициент фильтрации. Полученные результаты исследований позволяют изготавливать для дренажа защитно-фильтрующие материалы, наиболее оптимальные по структурным параметрам и фильтрационным характеристикам, что повысит его эффективность.

Процессы, вызывающие заиливание дренажа

Митрахович А.И.,
РУП «Институт мелиорации»

Водоприемные отверстия дренажных труб при отсутствии защитных фильтров находятся в непосредственном соприкосновении с грунтом. При движении воды к ним происходит существенное сужение грунтового потока, увеличение скоростей фильтрации и возрастает напорный градиент. В околдренной области происходит фильтрационная деформация грунта, обусловленная суффозией мелких частиц, и может происходить истечение грунтовой массы в полость трубы через перфорационные отверстия пластмассовых труб. Результатом этих процессов является заиливание дренажа. Наиболее подвержены процессам заиливания дрены, уложенные в несвязные грунты. Применение защитного фильтра на дренажной трубе увеличивает эффективность ее работы за счет повышения водопримной способности. Наличие его позволяет избежать сужения потока на входе в перфорационные отверстия дрены и тем самым снизить градиенты напора вблизи них. Фильтр является преградой между фильтрационным потоком, несущим взвешенные частицы грунта и дренажной трубой, уменьшает скорость выноса мельчайших частиц из осушаемого грунта и задерживает те из них, которые могут осесть в полости труб, вызывая их заиливание. Фильтр увеличивает долговечность закрытой осушительной сети.

Процесс кольматации фильтров происходит, если размеры его пор имеют недостаточную величину и дренаж укладывается в суффозионные грунты.

Устойчивое сводообразование над водоприемным отверстием или защитным фильтром, препятствующее просыпанию и истечению грунтовой массы в полость труб происходит в случае, когда в грунте содержится достаточное количество сводообразующих частиц и сам фильтр не кольматирован пылеватыми частицами грунта. Для выполнения этих условий необходимо, чтобы поры фильтра свободно пропускали пылеватые частицы, влекаемые фильтрационным потоком, тогда над порами фильтра должно произойти сводообразование из оставшихся более крупных частиц скелета грунта. Размеры пор структурного фильтра должны иметь определенные границы, соответствующие по своим параметрам осушаемому грунту.

Общие требования к фильтрам – их высокая водопроницаемость, долговечность. Коэффициент фильтрации фильтра должен быть не менее 45 м/сут. После завершения деформационных процессов в фильтрах и частичной их кольматации (не более чем на 50%) коэффициент фильтрации фильтра должен составлять не менее 20 м/сут (по данным А.И. Мурашко).

Опыт применения рейтинговой системы оценки знаний по учебным дисциплинам

Селезнев В.И.*, Казьмирук И.Ч.**

*Белорусский национальный технический университет

**РУП «Институт мелиорации»

Рейтинговая система оценки знаний является неотъемлемой частью учебного процесса. Это система накопительного типа, которая отражает успеваемость студентов, их творческий потенциал и дисциплинированность. Задачей рейтинговой системы является получение знаний студентами на протяжении всего учебного семестра. Ведется контроль посещения занятий, контроль проверки знаний, получаемых студентами. Это важный стимул обучения и воспитания, которое выполняет следующие функции: констатация – фиксирование фактического уровня знаний; уведомление – сообщение результата заинтересованным сторонам; контроль – определение уровня подготовки каждого студента, который позволяет избежать случайных ошибок; прямое воздействие — непосредственное регулирование учебной деятельности; стимул – стремление лучше учиться, добросовестнее усваивать материал.

У рейтинговой системы оценки знаний как и у любой другой системы существуют определенные противоречия, которые вызваны объективными причинами это: изначально различные способности студентов; различная базовая школьная подготовка, неодинаковые домашние условия усвоения знаний; а также расхождение целей субъектов образовательного процесса.

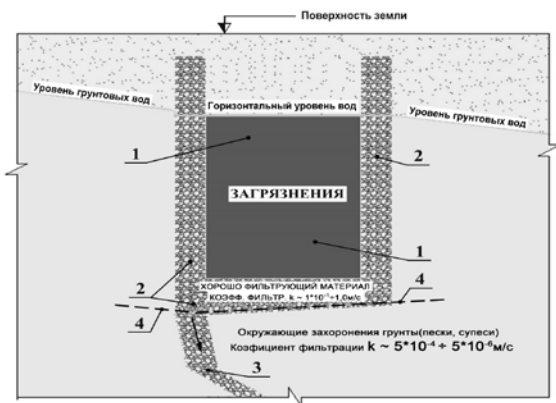
Рейтинговая система эффективна по предметам, которые имеют как практические, так и лекционные занятия, которые оцениваются в конце учебного семестра дифференцированно. В состав проверки знаний по учебным дисциплинам входят промежуточные контрольные и самостоятельные работы студентов. Пропуски занятий без уважительной причины учитываются путем вычитания 0,1 балла от рейтинговой оценки за каждый пропущенный академический час. Участие студентов в конференциях, написание ими студенческих научных работ, публикация статей и тезисов повышает на 1 балл итоговую оценку. Итоговая оценка учитывается преподавателем при ответе на экзамене (дифференцированном зачете). Если по учебной дисциплине в семестре не предусмотрена дифференцированная аттестация, то преподаватель может учесть рейтинговые оценки по той же дисциплине в следующем семестре, где программой предусмотрены лекции. Из всех систем оценивания знаний, рейтинговая система позволяет более объективно подходить к процессу образования, стимулирует студентов к самообразованию, началу самостоятельной научно-исследовательской деятельности.

Гидравлическая изоляция подземных вод от загрязнений радиоактивными отходами

Рогунович В.П., Бобков А.И., Заяц М.Б.
Белорусский национальный технический университет

Для захоронений радиоактивных отходов, в которых загрязнения представляют опасность для биологической жизни, управление сводится, во-первых, к созданию практически горизонтального уровня грунтовых вод и, во-вторых, к поиску «безопасных» объектов и отводу в них загрязнений с помощью миграционных устройств. Специальными исследованиями устанавливается расположение «безопасных» объектов. Из «безопасных» объектов строят миграционное устройство, входящее в днище захоронения.

Плоское сечение по захоронению радиоактивных загрязнений



1 – локальный источник загрязнения, 2 – обсыпка из хорошо фильтрующего материала, например, щебня как «вечного» материала, 3- миграционная устройство в «безопасные» объекты, 4 – дренажная система для уже существующих захоронений вместо горизонтальной подсыпки по дну захоронения хорошо фильтрующими материалами

Вокруг захоронения представлена обсыпка

– 2 из хорошо фильтрующего материала, образующая вокруг захоронения систему сообщающихся сосудов. В захоронении уровень грунтовых вод близок к горизонтальному, поэтому горизонтальная конвективная миграция сведена к минимуму. Однако при изменении уровня грунтовых вод вокруг захоронения и в захоронении возникает необходимость отвода загрязненных вод из захоронения в безопасные места. Для выполнения этой функции строится миграционная труба 3. Загрязнения по миграционному устройству, поскольку коэффициент фильтрации щебня, а значит и скорость фильтрации, на несколько порядков больше чем окружающих захоронение грунтов. Таким образом, ограничивается попадание значительных количеств загрязнений в среду активной биологической жизни.

Повышение эффективности крепления земляных каналов

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

Для поддержания каналов в работоспособном состоянии необходимы значительные затраты, поэтому создание эффективного крепления земляных каналов – важная задача. Особую роль ирригация играет в развивающихся странах. Многие из них расположены в регионах с неблагоприятными климатическими условиями, как, например, Республика Сирия: ограниченное количество осадков, неравномерность их выпадения, высокие температуры не позволяют интенсивно без орошения развивать сельскохозяйственное производство, хотя при орошении земель имеется возможность собирать 2 урожая в год. Существенно отметить, что канал как проектируемый объект в настоящее время рассчитывается не на силы, воздействующие на канал как инженерную конструкцию, а на средние скорости потока. Однако опубликованные экспериментальные данные показывают, что касательные канала распределяются весьма неравномерно.

Изложенное позволяет логично предположить, что целесообразно укреплять именно участок откоса, где касательные напряжения максимальны. Из рис. следует, что это нижняя половина откоса.

Эта гипотеза проверялась экспериментальным исследованием в лаборатории гидротехнических сооружений Белорусского Национального Технического Университета.

Канал крепился, как показано на рисунке.



После получения данных наблюдений, производится статистическая обработка результатов наблюдений, которая привела к следующему результату измерений:

Незакрепленный канал: $8,84\text{г} \pm 3,15$, $p=0,95$.

Закрепленный канал: $4,08\text{г} \pm 2,93$, $p=0,95$.

Из экспериментальных данных следует вывод: вынос влекомых наносов в закрепленном предлагаемым способом канале более чем в 2 раза меньше, чем в незакрепленном канале. Это позволяет утверждать, что эксперимент был удачным.

**Об эффективности реализации неотложных мероприятий
по устранению недопустимых колебаний фундамента
под турбоагрегат на Минской ТЭЦ-3**

Повколас К.Э., Корбут О.Б., Пригодич И.Н.
Белорусский национальный технический университет

В октябре 2013 в подшипниках турбоагрегата ПТ-50 был отмечен рост значительный колебаний до 5,77 мм/с в осевом направлении, что превысило предельную величину в 4,5 мм/с. Запущенный, после планового ремонта в сентябре-октябре 2014 г., турбоагрегат был сразу же остановлен из-за больших осевых, горизонтальных и вертикальных колебаний. Колебания отдельных участков фундамента достигали 12 мм/с. Резонировали консольные свесы, выполненные с нарушением действующих норм. Обследование фундамента выявило ряд дефектов в виде сквозных трещин и проштрабленных через несущую балку технологических отверстий. Авторами было предложено снизить их колебания за счет изменения уровня преднапряжения в разгрузочных стойках, установленных под консольные свесы фундамента с наибольшим уровнем колебаний, и создания инерционной пригрузки на поверхности фундамента. Использовались грузы с суммарным весом около 2-х тонн в виде 3-х фундаментных стеновых блоков. Уровень преднапряжения стоек варьировался за счет поворота болтов в опорных базах. Для поиска оптимального приложения инерционного пригруза было выполнено около 10-ти перестановок грузов.

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы:

1. Совместное изменение уровня преднапряжения стоек и выбор оптимального расположения грузов позволял уменьшить среднюю квадратическую величину виброскорости (в осевом направлении для заднего подшипника генератора) на момент окончания исследования на величину равную около 1 мм/сек до приемлемого для эксплуатации уровня в 4,3 – 4,4 мм/с.

2. Для демпфирования колебаний фундаментов, имеющих повреждения, в качестве неотложных мероприятий, целесообразно использование конструктивных временных мер в виде размещения преднапрягаемых стоек, подведенных под резонирующие консольные свесы.

Перспективы использования керамзитового песка в качестве обсыпки фильтров водозаборных скважин

Магарян М. П.

Белорусский национальный технический университет

При производстве капитального ремонта скважин для уменьшения подъемных усилий при извлечении фильтров предлагается в качестве обсыпки фильтра и эксплуатационной колонны вместо песчано-гравийного материала использовать керамзитовый песок, который представляет собой отходы производства керамзитового гравия.

Керамзитовый песок обладает рядом положительных качеств. Во-первых, объемный вес керамзитового песка в 2 раза меньше чем у песчано-гравийного материала, применяемого для обсыпки: $0,7 \text{ г/см}^3$ против $1,57 \text{ г/см}^3$. Данная особенность позволяет существенно уменьшить горизонтальное давление, передаваемое керамзитовой засыпкой в зоне кондуктора на эксплуатационную колонну. Это соответственно уменьшит силу трения на этом участке при подъеме колонны. Измеренный в опытах коэффициент трения между парой сталь – керамзит оказался на 15% меньше чем у пары сталь-гравий, из чего следует, что при прочих равных условиях подъемные усилия при извлечении колонны, обсыпанной керамзитовым песком, пропорционально уменьшатся по всей длине колонны. Во-вторых, малый удельный вес керамзитового песка позволяет производить его размыв струями воды снаружи колонны и вынос восходящим потоком из прискважинной зоны на поверхность или при помощи откачки эрлифтом. Коэффициент фильтрации керамзитового песка крупностью 0,5-5мм производства Петриковского керамзитового завода составил $0,62 \text{ см/с}$, что почти в 2 раза превышает аналогичный показатель у сеяного песка крупностью 0,8 - 2 мм из карьера Крапужино Минского района, широко применяемого для гравийных обсыпок буровыми организациями. К недостаткам керамзитового песка следует отнести более высокий коэффициент неравномерности частиц.

Средний диаметр частиц керамзитового песка $D_{50} = 2,25 \text{ мм}$ больше чем у сеяного песка ($D_{50} = 1,45 \text{ мм}$), что позволяет применять керамзитовый песок в качестве гравийной обсыпки в более проницаемых пластах, сложенных среднезернистыми песками.

Использование керамзитовой обсыпки позволяет снизить подъемные усилия при извлечении фильтровых колонн в процессе капитального ремонта водозаборных скважин и дает возможность повысить их ремонтно-пригодность.

Орошение сельскохозяйственных культур дождеваниемЛеонов А.Н.², Басаревский А.Н.¹, Кравцов А.М.², Шахрай Д.С.²¹ РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Обеспечение продовольственной безопасности в государстве – одна из самых главных социально-экономических задач перед руководством и гражданами Республики Беларусь. Насколько продуктивно будет решаться данный вопрос напрямую зависит от потенциала сельскохозяйственного производства. Территорию Беларуси принято считать зоной рискованного земледелия. За 2015 год в стране выпало 541 мм осадков, что ниже нормы на 115 мм. Таким образом, остро встаёт вопрос сохранения урожаев в засушливые периоды, которые всё чаще случаются в стране. В связи с этим возникла необходимость решения актуальной задачи – развития систем водоснабжения в растениеводстве.

В настоящее время в республике наблюдается тенденция к сокращению орошаемых земель. Одной из причин этого является устаревший парк техники для орошения. Системы построены в основном в 1980 - 1990 годы начинают выходить из строя по причинам износа и истечения срока амортизации поливного и насосного оборудования.

В нынешних условиях приобретает особое значение разработка дождевальной техники, разработка новых технологий, а также совершенствование существующих технических средств и приемов повышающих показатели эффективности орошения сельскохозяйственных культур.

На современном этапе необходимо ориентироваться на разработку оросительных машин нового поколения, позволяющих уже в первый год эксплуатации обеспечивать значительную экономическую отдачу и быструю окупаемость затрат на их введение. Основная тенденция – создание автоматизированных производительных технических средств для орошения, при минимизации материально-технических, трудовых ресурсов и максимизации критериев безопасности, надежности, экологичности.

Особый интерес представляет разработка позиционной широкозахватной дождевальной техники, в конструировании которой используются гибкие трубопроводы (полиэтиленовые, плоскостворачиваемые и др.) с намоткой на барабан. Такое техническое решение позволит производить полив при движении по кругу или в процессе фронтального перемещения установки, применять новые прогрессивные схемы орошения, увеличивать расстояние между трубопроводами и гидрантами закрытых оросительных систем, повысить коэффициент использования земли на 3-5%.

Анализ применения схем водоподготовки на объектах теплоэнергетики Республики Беларусь

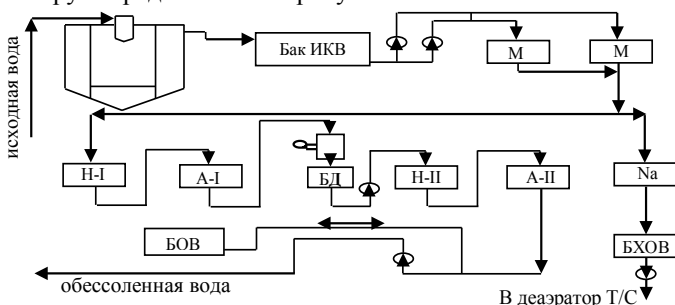
Адиканко И.И., Дубенок С.А.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Водоподготовка на объектах теплоэнергетики предназначена для:

- получения обессоленной воды, используемой на восполнение потерь в пароводяном тракте энергетических котлов;
- получения умягченной воды, используемой для подпитки теплосети.

Принципиальная схема водоподготовки объектов теплоэнергетики Республики Беларусь представлена на рисунке.



Принципиальная схема водоподготовки

ОСВ – осветлитель; Бак ИКВ – бак известково-коагулированной воды; М – механический фильтр; Н-I, Н-II – Н-катионитовые фильтры первой и второй ступени; А-I, А-II – анионитные фильтры первой и второй ступени; Д – декарбонизатор; БД – бак декарбонизированной воды; Na – Na-катионитовый фильтр; БХОВ – бак химочищенной воды; БОВ – бак обессоленной воды. Наиболее технологически емким является процесс получения обессоленной воды. На объектах теплоэнергетики Республики Беларусь наибольшее распространение получила технология реагентного обессоливания на основе прямоточных ионообменных фильтров. Данный метод хорошо подходит для мало и среднеминерализованных вод, однако, введенные в эксплуатацию в 60-70-е гг. схемы водоподготовки не учитывают современные доступные технологии по сокращению расхода воды на собственные нужды и сокращению расхода реагентов. С целью соответствия мировым тенденциям в области водоподготовки необходимо внедрение современных схем водоподготовки, снижающих воздействие на окружающую среду за счет повторно-последовательного использования сбросных вод, а также рационального сочетания технологий обработки воды.

Нормирование потерь и неучтенных расходов воды в системах коммунального водоснабжения Республики Беларусь

Дубенок С.А., Голод Ю.В.

РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»

Нормирование водопользования на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) и снижение потерь воды при ее добыче, водоподготовке и подаче потребителю является важной задачей. В Республике Беларусь согласно данным Государственного водного кадастра потери и неучтенные расходы воды на предприятиях ВКХ составили в 2014 г. более 130 млн. м³ или около 20% от объема добытой воды. Расчёт норматива потерь и неучтенных расходов воды для предприятий ВКХ в Беларуси регламентирован Инструкцией по расчету потерь и неучтенных расходов воды из систем водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. № 43, в соответствии с которой норматив потерь и неучтенных расходов воды на предприятиях ВКХ составляет от 10% до 39% от объема воды, поданной в сеть водоснабжения. В Республике Беларусь в расчет норматива потерь и неучтенных расходов воды входят следующие составляющие: потери воды из систем подачи и распределения воды (ПРВ) и неучтенные расходы воды. При этом, расчёт воды, затраченной на технологические нужды предприятий ВКХ, проводится по отдельной методике и составляет от 3% до 15% от объема воды, поданной в сеть водоснабжения. Расчет потерь воды в странах ЕС схож с белорусской методикой и содержит следующие составляющие: физические потери (потери воды из систем ПРВ) и коммерческие потери (неучтенные расходы воды). В Российской Федерации расчет норматива потерь и неучтенных расходов воды регламентирован Методическими указаниями по расчёту потерь горячей, питьевой, технической воды в централизованных системах водоснабжения при ее производстве и транспортировке от 17 октября 2014 г., в соответствии с которыми в расчёт норматива входят как расходы и потери при производстве воды, так и расходы и потери воды при ее транспортировке потребителю. В Украине, по аналогии с российской методикой, в расчет норматива потерь и неучтенных расходов воды входят: технологические расходы воды, а также потери и неучтенные расходы воды.

Главным отличием анализируемых методик, является совместный расчет норматива технологических расходов воды совместно с расчетом потерь и неучтенных расходов воды в России и Украине и отдельные расчёты указанных составляющих в Беларуси и ЕС.

Подбор насосного оборудования для установки закачки избыточных рассолов калийных производств

Шейко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для утилизации образовавшихся отжимных рассолов, избыточных маточных растворов технологии обогатительной фабрики предусматривается строительство установки по закачке избыточных рассолов (УЗИР) в нагнетательные скважины. Учитывая опыт эксплуатации действующих УЗИРов ОАО "Беларуськалий" на ЗРУ и ЗРУ, для утилизации рассолов необходимо строительство комплекса сооружений. К таким сооружениям относятся: насосная станция подачи рассолов, магистральные трубопроводы, насосная станция закачки рассолов в нагнетательные скважины. Для подбора насосного оборудования насосных станций УЗИРа принимаются следующие характеристики рассола, подлежащей закачке: плотность $1,20 \text{ т/м}^3$, кинематическая вязкость $1,63 \text{ мм}^2/\text{с}$; содержание твердых частиц в среднем составляет 11 мг/л . Расчетный расход определяется исходя из максимальной возможной аккумуляции поступающих на рассолохранилище рассолов с учетом атмосферных осадков. Насосная станция подачи рассолов необходима в случае значительного удаления куста нагнетательных скважин от рассолохранилища. Подбор насосного оборудования сводится к определению полного напора с учетом потерь напора по длине магистральных трубопроводов. Насосные агрегаты могут располагаться на передвижных платформах на открытом воздухе и перемещаются в зависимости от уровня рассолов.

Насосная станция закачки рассолов в нагнетательные скважины оборудуется высоконапорными насосными агрегатами. Количество насосных агрегатов определяется исходя из расчетного расхода закачки с учетом плановых ремонтов нагнетательных скважин. Напор насосных агрегатов, исходя из опыта эксплуатации насосных станций по закачке избыточных рассолов ЗРУ ОАО «Беларуськалий», не должен превышать $3,0 \text{ МПа}$ из условия недопущения давления на устьях скважин выше $4,5 \text{ МПа}$. Под действием развиваемого насосными агрегатами напора происходит закачка рассола в нагнетательные скважины. Принятые параметры насосных агрегатов, трубопроводной арматуры и контрольно-измерительных приборов подлежат уточнению после сооружения нагнетательных скважин и проведения на них комплекса опытно-фильтрационных исследований с определением фактических данных по закачке рассолов.

**Влияние климатических изменений на режим отведения
поверхностных сточных вод**

Ануфриев В.Н., Минина Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Одним из существенных источников загрязнения водных объектов являются поверхностные сточные воды, образующиеся на территориях городов и промышленных предприятий в результате выпадения осадков и полива территории. В настоящее время в стране одним из приоритетных направлений охраны окружающей среды является защита водных объектов от загрязнения, разработка и внедрению на промышленных предприятиях современных систем водопользования, ускорение строительства водохранных сооружений.

В соответствии со Стратегией в области охраны окружающей среды Республики Беларусь до 2025 года должна быть обеспечена очистка дождевых и талых вод в населенных пунктах с численностью населения более 50 тыс. человек, курортных и промышленных зонах. Таким образом, предполагается масштабное строительство систем дождевой канализации и очистных сооружений поверхностных сточных вод, определение параметров которых основано на оценке гидрометеорологических характеристик осадков. Поэтому совершенствование расчетных зависимостей по определению расходов и объемов поверхностных сточных вод являются актуальным направлением исследований.

На территории Республики Беларусь, как и во всем мире, наблюдаются климатические изменения, заключающиеся в повышении среднегодовой температуры воздуха, сокращении периода с устойчивым снежным покровом, изменении количества осадков и их распределения. Наблюдается тенденция к увеличению количества осадков в летний период и их сокращение зимой и весной. Указанные процессы влекут изменения в нагрузках на системы дождевой канализации населенных пунктов. Снижаются пиковые расходы талых сточных вод вследствие многочисленных оттепелей и неустойчивости снежного покрова, приводящих к периодическому поступлению талых сточных вод в канализацию в течение всего зимнего периода и как результат отсутствие высоких расходов таких сточных вод в период марта-апреля, когда наблюдалось интенсивного снеготаяние. С другой стороны увеличилась контрастность распределения осадков в летний период, с увеличением числа ливней с чрезмерно высокой интенсивностью выпадения дождей.

Проектирование канализационных насосных станций с погружными моноблочными насосными агрегатами

Ануфриев В.Н., Пацинко А.И.

Белорусский национальный технический университет

Канализационные насосные станции (КНС) являются неотъемлемым элементом систем канализации, обеспечивающих надежность и бесперебойность их эксплуатации, экологическую и санитарно-гигиеническую безопасность. Ежегодно в Беларуси перекачивается более 1500 млн. м³ сточных вод. Даже при снижении удельного водоотведения указанный показатель будет возрастать в связи с развитием населенных пунктов, усложнением их инженерной инфраструктуры. КНС наряду с очистными сооружениями сточных вод, являются основными потребителями энергоресурсов при эксплуатации систем водоотведения. В связи с чем, применение устаревших технических решений снижает эффективность проектирования строительства и реконструкции очистных станций, приводит к повышенному расходу энергоресурсов и снижению показателей энергоэффективности систем. Практика проектирования и строительства КНС в течение продолжительного периода времени основывалась на использовании консольных насосов и вертикальных насосных агрегатах с трансмиссионным валом, оснащенных общепромышленными электродвигателями с воздушным охлаждением, что и отражалось в нормах проектирования. Данные технические решения повсеместно встречаются и в современных проектах, хотя в части обеспечения надежности и энергоэффективности эти решения уже являются устаревшими. За последнее время в Республике Беларусь стало доступным современное оборудование для КНС, насосы, в том числе блочного исполнения, с режущими механизмами, устойчивые к засорению, а также устройства контроля, защиты и автоматики, комплектные КНС заводского изготовления. Часть оборудования из указанного списка производится белорусскими предприятиями. Канализационные насосы, в том числе погружного исполнения, с различными типами рабочих колес, с двигателями, оснащенными встроенными системами охлаждения, которые остаются работоспособными даже при полном затоплении машинного помещения КНС, позволяют решать задачи по водоотведению на более высоком техническом уровне.

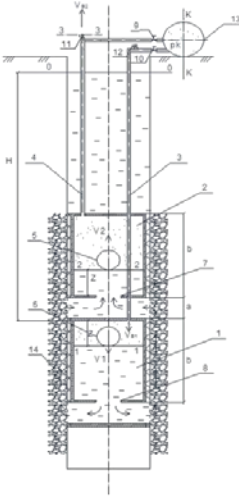
Таким образом, совершенствование проектирования канализационных насосных станций с моноблочными насосными агрегатами, а также методов их расчета, позволяющих повысить эффективность их работы является весьма актуальной задачей.

Экспериментальные исследования реверсивно-реагентного метода регенерации скважин

Иванова И.Е.

Белорусский национальный технический университет

Предложена установка для реверсивно-реагентной регенерации водозаборных скважин, состоящая из компрессора, шлангов и погружного устройства, выполненного в виде двухкамерного пневматического насоса вытеснения (см. рисунок 1).



1,2 – нижняя и верхняя камеры;
3,4 – воздуховоды; 5,6 –
плавающие шаровые клапаны;
7,8 – отверстия в камерах; 9, 10
– вентили; 11,12 – сбросные
вентили; 13 – компрессор; 14 –
гравийная обсыпка.

Рисунок 1 – Схема
установки для регенерации
скважин

Рабочей средой, осуществляющей реверсивное движение реагента в камерах погружного устройства, стволе скважине и прифилтровой зоне, является сжатый воздух, подаваемый из ресивера компрессора. Давление и расход сжатого воздуха будет зависеть от глубины установки и геометрических размеров фильтра скважины, фильтрационных параметров гравийной обсыпки, геометрических размеров погружного устройства, величины задаваемой скорости фильтрации в гравийной обсыпке. Для установления этой взаимосвязи весь путь движения сжатого воздуха и реагента разбивается на три участка, лежащих между сечениями К-К, 1-1, 2-2 и 3-3. Движение считается установившимся.

Необходимое давление компрессора находим из уравнений Д. Бернулли, записанных для сечений К-К, 1-1, 2-2, 3-3:

$$p_k = \rho_{ж} g (H + 3Z + a + h_{зр.обс} + h_{\phi 1} + h_{\phi 2} + h_{оме1} + h_{оме2}) + \rho_{возд1} g (h_{тр.возд1} + h_{вход}) + \rho_{возд2} g (h_{тр.возд2} + h_{выход}) \quad (1)$$

где p_k – давление создаваемое компрессором; $\rho_{ж}$ – плотность реагента в водозаборной скважине; $\rho_{возд1}$, $\rho_{возд2}$ – плотность воздуха в воздуховодах; H – расстояние от сечения 1-1 до сечения 0-0; Z – высота слоя реагента в нижней камере; $h_{тр.возд1}$, $h_{тр.возд2}$ – потери напора в воздуховодах; $h_{вход}$ – потери напора на входе воздуха в камеру; a – расстояние между двумя камерами; $h_{зр.обс}$ – потери напора реагента в гравийной обсыпке; $h_{\phi 1}$, $h_{\phi 2}$ – потери напора на первом и втором участках фильтра соответственно; $h_{оме1}$, $h_{оме2}$ – потери напора реагента после прохождения первого и второго отверстий в камерах соответственно; $h_{выход}$ – потери напора на выходе воздуха из камеры в воздуховод.

**Оптимизация основных параметров водохозяйственного комплекса
в бассейнах малых рек Вьетнама**

Фам Нгок Киен

Белорусский национальный технический университет

Оптимизация параметров водохозяйственного комплекса (ВХК) в бассейнах не только больших и средних, но и малых рек актуальна не только во Вьетнаме, но и во многих регионах других государств. В бассейнах малых рек регионов с интенсивным развитием орошения и ограниченными водными ресурсами самыми важными параметрами ВХК являются: емкость водохранилища и площадь орошаемых земель. Для обоснования этих параметров может быть использован разработанный автором и представленный на конференции 2015 года следующий критерий оптимизации: минимум регулируемого объема речного стока на единицу орошаемой площади. В настоящем докладе кроме общего алгоритма оптимизации приводятся условия применения предлагаемого критерия, состав необходимых исходных данных и анализируется влияние основных факторов на выбор оптимального решения, т.е. на определение оптимальной емкости водохранилища и площади орошаемых земель.

Предлагаемый критерий и алгоритмы оптимизации применяются в условиях, когда лимитирующим водопользователем является орошение, а требования других участников ВХК (предотвращение затоплений, водоснабжение населения и промышленности, рыбное прудовое хозяйство и обеспечение минимальных расходов воды в руслах рек для рекреационных и других целей) учитываются в виде нормируемых ограничений.

Необходимые для оптимизации основные исходные данные: потребности в воде на нужды орошения в зависимости от осадков, выпадающих в вегетационный период; требования других водопользователей; ресурсы речного стока по месячным или декадным интервалам времени в расчетный маловодный год; морфометрические характеристики водохранилищ и затопляемых пойм рек; зависимости потерь на фильтрацию и дополнительное испарение с поверхности водохранилищ от их полезного объема.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: 1) наибольшее влияние на величину критерия оптимизации оказывают мертвый объем водохранилища (зависящий от заиления), потери на фильтрацию и дополнительное испарение, а также режим речного стока; 2) при прочих равных условиях оптимальный полезный объем водохранилищ в бассейнах рек Беларуси меньше, чем во Вьетнаме из-за особенностей режима речного стока и морфометрических характеристик пойм.

Оценка экономической эффективности дамб обвалования технологических прудов, имеющих уположенные откосы

Левкевич В.Е.

Белорусский национальный технический университет

Создание водных объектов – прудов различного типа, водохранилищ требует на отдельных участках побережья берегоукрепительных работ, а также ряда защитных мероприятий. На водохранилищах (прудах) наливного типа осуществляется строительство подпорных дамб по периметру водоема. В Беларуси для защиты верховых откосов дамб и плотин, а также размываемых берегов водохранилищ применяются различные типы берегозащитных мероприятий. На ряде объектов республики осуществлено строительство сооружений в виде дамб обвалования с уположенными откосами, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. Так земляные сооружения с уположенными верховыми откосами применены при строительстве водохранилищ «Селец» на р.Ясельда, «Рудня», «Зельва», «Левки», «Горочичи», «Загатье», «Муровно» и ряде других.

При всех своих несомненных достоинствах сооружения распластанного профиля в ряде случаев имеют местные размывы верховых откосов, явление которых обусловлено различными причинами.

Простейшим и наиболее распространенным способом оценки экономической эффективности того или иного типа крепления является сравнение объема капитальных затрат на строительство берегозащиты по вариантам. Если возможно выделить величину годовых расходов на эксплуатацию плотины (а не всего гидроузла), сравнение экономической эффективности рассматриваемых вариантов сооружения следует выполнять путем сопоставления суммы капитальных вложений и эксплуатационных расходов, т.е:

$$П_i = M_i + K_i E_n,$$

где $П_i$ - приведенные затраты по каждому варианту, руб./год;

M_i - годовые эксплуатационные расходы (по вариантам), руб./год;

E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (0,1...0,18);

K_i - капитальные вложения по вариантам.

Наилучший вариант крепления определяется с учетом критерия эффективности, рассчитанного выше, по которому и принимается окончательный вариант берегозащиты.

Особенности проектирования резервных водосбросов

Богославчик П.М.

Белорусский национальный технический университет

Резервный водосброс с размываемой грунтовой вставкой вводится в напорный фронт гидроузла с целью уменьшения опасности возникновения аварийной ситуации в случае большого катастрофического расхода, то есть для повышения надежности гидроузла в условиях паводка.

Одновременно наличие резервного водосброса позволяет пойти на уменьшение пропускной способности основного водосброса, что может снизить единовременные затраты на строительство гидроузла. Эти аспекты определяют некоторые особенности проектирования подобных сооружений.

Следует иметь в виду, что резервный водосброс должен рассматриваться как сооружение временное, которое включается в работу достаточно редко, только в аварийной ситуации при больших расходах и играет роль предохранительной вставки (по аналогии с системами электроснабжения).

Поэтому затраты на его возведение могут быть минимальны. Однако при каждом срабатывании резервного водосброса требуются затраты на его восстановление. При увеличении частоты его срабатывания эти затраты значительно увеличиваются. Эта частота зависит от соотношения пропускных способностей основного и резервного водосбросов, сумма которых равна расчетному паводковому расходу.

Оптимальное соотношение определяется на основании анализа приведенных затрат по этим двум сооружениям для различных вариантов, определяемых по формуле:

$$Z = \Pi + E_n K_0 ,$$

где Z – приведенные затраты; K_0 – капиталовложения; Π – текущие (эксплуатационные) затраты; E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Определив приведенные затраты строится график оптимизации пропускной способности основного и резервного водосбросов (рис. 1), позволяющий установить их оптимальное соотношение. На графике: 1 – суммарные затраты; 2 – затраты по основному водосбросу; 3 – то же по резервному; 4 – кривая обеспеченностей максимальных расходов.

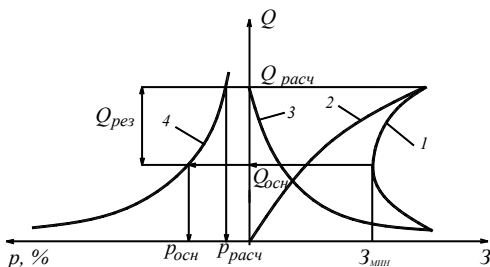


Рис. 1. График оптимизации основного и резервного водосбросов

УДК 627.83

Технико-экономическое сравнения вариантов реконструкции ГЭС «Гонолес»

Коревицкий Г.А., Моргунов С.В., Типляков Д.А.
Белорусский национальный технический университет

Гидроузел на водохранилище "Заславское" ВМВС был введен в эксплуатацию в 1956 г. В состав сооружений гидроузла входит ГЭС "Гонолес". В 60-х годах прошлого века ГЭС была выведена из эксплуатации. В 1994 году ГЭС была восстановлена и эксплуатируется по сей день.

В настоящее время, по данным отчета БНТУ "Исследование технического состояния сооружений гидроузла на водохранилище "Заславское" рекомендуется провести реконструкцию ГЭС с заменой устаревшего и выработавшего свой ресурс гидросилового оборудования.

При разработке предпроектной документации "Реконструкция здания гидроэлектростанции "Гонолес" и водосброса-плотины на Заславском водохранилище Минский район, Ждановичский с/с, район д. Качино" были рассмотрены два варианта реконструкции ГЭС.

Вариант 1. Замена существующей турбины на новую турбину мощностью $N=250$ кВт.

Вариант 2. Строительство новой ГЭС (на новой площадке) с установкой двух вертикальных турбин с сифонным забором воды, мощностью $N=2 \times 110$ кВт.

При сравнении вариантов, при существующей системе тарифов на электроэнергию, с экономической точки зрения, предпочтительней оказался вариант 2 строительство новой ГЭС на новой площадке.

Нормирование расходов приточного воздуха в помещениях зданий

Борухова Л.В., Шибeko А.С.

Белорусский национальный технический университет

В теплопотерях современного здания большую часть составляют теплопотери на нагрев инфильтрующегося воздуха (для жилых зданий доля достигает 60 %). Это связано с ужесточением норм по теплозащите зданий. Более 30 лет назад соотношение было противоположным: 66 % составляли теплопотери через ограждающие конструкции, остальное – на нагрев воздуха.

С точки зрения энергоэффективности существуют различные подходы для уменьшения теплопотерь на нагрев приточного воздуха. Первый подход заключается в проектировании централизованной приточно-вытяжной вентиляции в жилых зданиях, что приводит к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат. Второй подход состоит в уменьшении потерь теплоты за счёт снижения расхода приточного воздуха. В настоящее время норма расхода приточного воздуха для жилых зданий устанавливается в размере 3 м³/ч на 1 м² жилой площади. Данный расход и получен исходя из исследований немецкого гигиениста К. Флюгге. Он рассчитал так называемый «воздушный куб», задавшись выделением углекислого газа от человека 40 г/(ч·чел.), концентрацией углекислого газа в наружном воздухе 0,73 г/м³ и допустимым содержанием во внутреннем воздухе 1,83 г/м³. Отсюда получается, что на 1 человека должно подаваться 36 м³/ч чистого воздуха. При принятой в СССР норме жилой площади 12 м² на человека и получается нормативный расход.

Однако в Республике Беларусь обеспеченность жилой площадью составляет 20 м² на человека. Взяв выделение СО₂, как у Флюгге, и современные рекомендуемые концентрации углекислого газа в наружном воздухе, получим расход 40 м³/ч на человека. Разделив данный расход на обеспеченность получаем, что нормативный расход приточного воздуха должен составлять 2 м³/ч на 1 м² жилой площади, что даёт уменьшение расхода теплоты на нагрев воздуха в 1,5 раза.

В результате расчёта для 9-этажного жилого дома было установлено, что показатель удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию при расчёте из расхода приточного воздуха 2 м³/ч на 1 м² жилой площади приблизительно в 1,4 раза меньше, чем при существующей норме. К тому же, класс по энергоэффективности получился выше, при этом не произошло никаких изменений в планировке и конструкциях здания. Таким образом, существующая норма должна быть изменена.

**Методы расчета и опыт применения текстильных воздуховодов
в Республике Беларусь**

Борухова Л.В., Конаш С.В., Ширяков А.А.
Белорусский национальный технический университет

Текстильные воздуховоды могут одинаково хорошо использоваться как для транспортировки, так и для распределения воздуха. Различают приточные текстильные системы распределения воздуха (текстильные воздуховоды и воздухораспределители) и текстильные воздуховоды для вытяжки. Эта технология позволяет заменять традиционные металлические воздуховоды на текстильные аналоги различных сечений.

Распределение воздуха осуществляется сквозь материал, перфорированный отверстиями различного диаметра, размещенными на ткани особым образом. Варьируя размеры отверстий и их расположение, можно обеспечить бесконечное количество способов воздухораспределения, начиная с рассеивания с низкой скоростью и заканчивая целенаправленной подачей на большое расстояние. Для рассеивания воздуха предназначены малые отверстия диаметром 0,2-0,4 мм, которые называются микроперфорацией. Для направленной подачи воздуха используются ряды отверстий диаметром 4 мм и более, которые называются перфорацией.

Достижение определенного значения скорости в рабочей зоне зависит от правильно подобранного способа раздачи воздуха. При необходимости можно комбинировать рассеянную и направленную подачу.

Минимальное статическое давление, необходимое для поддержания правильной формы воздуховода, зависит от массы используемой ткани. Для легких материалов достаточно 20 Па, для средних и тяжелых 50 Па. Однако распределение давления по длине диффузора отличается от традиционного трубопровода за счёт снижения продольной скорости.

Наиболее важными параметрами расчета воздухораспределительной системы на основе тканевых воздуховодов являются:

- высота перекрытия;
- перепад температур с учетом нагрузки в летний и зимний периоды;
- геометрия участка (объекта) – его высота, ширина, глубина;
- базовый диаметр воздуховодов, их количество, производительность;
- Скорость движения воздуха в рабочей зоне: если объект не относится к особому типу, рабочей считается зона высотой 1 800 мм от пола. Комфортной в такой зоне считается скорость движения воздуха в диапазоне от 0,15 до 0,20 м/с. Другие значения определяются в соответствии с особенностями конкретного объекта.

Использование энергии солнца для подготовки воды систем горячего водоснабжения

Протасевич А.М., Павленко А.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших задач в области энергетики является использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, в том числе и солнечной энергии, для горячего водоснабжения и отопления в жилищно-коммунальной и производственной сферах. Возможности использования энергии солнца для организации горячего водоснабжения (ГВС) рассмотрены на примере здания административно-бытового назначения строительным объемом 5526 м^3 . Объект исследований расположен в г.Мозыре.

Приемниками солнечной энергии служат коллектора площадью $2,37 \text{ м}^2$ с оптическим КПД $\eta_0 = 0,77$ и величиной теплопотерь $U = 0,0037 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Оптимальный угол наклона коллекторов для систем сезонного действия принят равным географической широте минус 15°C .

Результаты расчетов показывают, что эффективное использование солнечной энергии на ГВС для рассмотренного объекта составляет семь месяцев.

| Показатель | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь |
|---|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|
| суммарная радиация на наклонную поверхность, \mathcal{E}_β^m , кВт·ч/м ² месяц | 54,9 | 69,5 | 103,6 | 105,9 | 102,4 | 93,38 | 67,1 |
| Теплопроизводительность коллектора, $Q_{\text{пол}}^m$, кВт·ч/м ² месяц | 87,9 | 117,9 | 182,6 | 187,5 | 180,5 | 163,3 | 113,2 |
| Теплопроизводительность горячего водоснабжения, $Q_{\text{ГВС}}$, кВт·ч/ месяц | 1083 | 1048 | 1083 | 1048 | 1083 | 1083 | 1048 |
| Коэффициент замещения, f | 0,33 | 0,35 | 0,36 | 0,37 | 0,37 | 0,37 | 0,36 |
| $f \cdot Q_{\text{ГВС}}$, кВт·ч/ месяц | 358,4 | 363,5 | 391,7 | 386,0 | 402,1 | 399,6 | 376,2 |

Для остальных месяцев эксплуатации ГВС следует использовать бивалентные схемы подготовки горячей воды

К вопросу о проектировании слоистых конструкций наружных стен зданий с применением штучных материалов

Лешкевич В.В., Черванёва Е.А., Якимович Д.Д.
Белорусский национальный технический университет

Представлены результаты исследований теплотехнических характеристик наружных стен 20-этажного каркасного жилого дома со стенами из поризованных керамических блоков. Целью исследований являлось выявление причин высокой воздухопроницаемости наружных стен здания и разработка рекомендаций по нормализации их теплового режима.

В результате первичного исследования определено значение приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен квартир здания и выявлены причины его снижения. На основании этого принято решение о проведении ряда мероприятий, заключающихся в заполнении пенным утеплителем мест возможного проникновения наружного воздуха внутрь конструкций стен. Повторные исследования показали значительное улучшение показателей, в результате чего было принято решение о распространении указанных мероприятий для всего здания. После выполнения строительной организацией рекомендаций приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен здания составило 3,24...3,35 м² °С/Вт.

Выявлены характерные особенности стен из поризованных керамических блоков: снижение термического сопротивления происходит по всей плоскости конструкции, а не только вблизи теплопроводных включений, а также наблюдается при более низких значениях температуры воздуха в смежных помещениях; количество и размер щелей в блоках таково, что при выполнении кладки происходят проваливания раствора в пустоты блоков; снижение термического сопротивления ограждения происходит за счёт конвективной составляющей тепломассопереноса в щелевой крупноячеистой конструкции, совмещенной с фильтрацией наружного воздуха внутрь помещений; аналогичная картина проявляется в кладке из керамзитобетонных блоков низкой плотности, щелевых силикатных блоков и не отмечается в заметной степени в конструкциях из блоков ячеистого бетона (газосиликат) и керамзитобетонных панелях высокой плотности.

При проектировании и строительстве стен данной конструкции рекомендовано: использование кладочных растворов высокой вязкости; оштукатуривание кладки (до 2 мм) с обеих сторон; выполнение заделки деформационных стыков выполнять с помощью пенного утеплителя; не допускать наличие полостей в местах стыков кладки с каркасом; исключительно качественное запенивание по контурам оконных проёмов.

Распределение приточного воздуха в крытом ледовом катке

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение требуемых условий микроклимата в пространстве крытых ледовых катков является сложной технической задачей, поскольку в области ледового поля и в зрительской зоне необходимо поддерживать существенно отличающиеся значения температуры воздуха.

Цель исследования – определить по результатам численного моделирования влияние режима работы воздухораспределителей в зоне ледовой площадки крытого ледового катка, расположенного в Минске, на циркуляцию воздуха и распределения температуры и влагосодержания.

Расчетная область содержит фрагмент внутреннего пространства катка, представляющий собой половину зоны обслуживания двух воздухораспределителей ледовой площадки. С одной стороны расположена зрительская трибуна с шестью рядами мест. В пространстве между элементами ферм расположены воздуховоды приточных и вытяжных систем, а также светильники. Система кондиционирования воздуха К1 зоны ледового поля оборудована воздухораспределителями, которые позволяют задавать количество воздуха, подаваемого вниз и через боковую поверхность в стороны. Исследуются два варианта, отличающиеся способом подачи воздуха в зону ледового поля: 1) весь расход системы К1 подается вниз; 2) по 50 % расхода К1 вниз и в стороны. Система В1 расположена в противоположной стороне от трибуны и удаляет воздух в количестве, соответствующем расходу системы К1. Трибуна обслуживается системой кондиционирования воздуха К2, представленной круглым воздуховодом с расположенными на нем воздухораспределителями. Система В2 предназначена для удаления над трибуной воздуха в количестве, равном расходу системы К2.

В первом варианте обнаружен вход приточных струй в игровую зону со скоростью выше нормируемой, при этом наблюдается локальный разогрев поверхности льда, что негативно отражается на его качестве и увеличивает нагрузку на холодильную машину. Для обоих вариантов характерно поступление холодного воздуха со стороны ледовой площадки в область нижних рядов трибуны, в то время как относительно теплые приточные струи системы К2, направленные в сторону третьего ряда зрительских мест, всплывают, не достигая трибуны. Рекомендуется организовать раздачу воздуха системы К2 в обслуживаемой зоне, например, под сиденья. Для исключения чрезмерных значений относительной влажности при расчетных условиях теплого периода необходимо осушать приточный воздух.

Особенности проектирования вновь прокладываемых и реконструируемых теплосетей в РУП «БелНИПИэнергопром»

Копко В.М., Щаулова Е.М.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании тепловых сетей в проектной организации РУП «БелНИПИэнергопром» особенности заключаются в следующем:

– как для вновь проектируемых, так и для реконструируемых теплосетей принимаются ПИ-трубопроводы, т.е. трубопроводы в оболочке из полиэтиленовых труб с пенополиуретановой теплоизоляцией, изготавливаемых на предприятиях Беларуси;

– проектируется преимущественно бесканальная прокладка, в соответствии с Постановлением Совета Министров РБ от 27.12.2002 №1820, при этом руководствуясь нормативными документами ТКП 45-4.02-182-2009, ТКП 45-4.02-89-2007. Как правило, проектируется бесканальная прокладка открытым способом, как наиболее дешевая, с обязательной укладкой сигнальных лент над трубопроводами; прокладка в железобетонных каналах применяется при проходе трассы по территории школ и дошкольных учреждений, при пересечении всех улиц и дорог с интенсивным движением транспорта. В этом случае проектируются специальные скользящие опоры на бетонных плитах, разработанные «БелНИПИэнергопромом». В ряде случаев применяют открытый способ бесканальной прокладки в гильзах из стальных труб. При пересечении проспектов и улиц с интенсивным движением транспорта применяют закрытый способ – продавливание или горизонтальное бурение.

Для компенсации температурных удлинений, как правило, используют естественные повороты и «П»-образные компенсаторы с широким применением компенсационных матов из различных синтетических материалов. Применение сильфонных компенсаторов ограничено экономическими соображениями. Ответвления от прямых участков, переходы диаметров, сопряжения с существующей теплосетью выполняются в соответствии с ТКП. В качестве запорной арматуры применяют преимущественно предизолированные шаровые краны и затворы, устанавливаемые в типовых камерах. Неподвижные опоры, разработанные «БелНИПИэнергопромом», устанавливают в определенных местах, указанных в нормативных документах. Система оперативного дистанционного контроля (ОДК) оформляется в виде отдельного проекта с использованием типовых решений, аппаратуры и отдельных элементов.

**Возможность использования стеклянных трубопроводов в системах
напольного отопления**

Лонская Т.Г., Корсун А.М.

Белорусский национальный технический университет

На современном рынке доступны разнообразные трубы отопления, которые могут использоваться в стяжке пола. В основном, это полиэтиленовые, металлопластиковые, полипропиленовые, медные трубы.

Обзор областей применения стекла показал, что стеклянные трубопроводы могут быть применены в напольном отоплении. Поэтому представляется целесообразным проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку системы напольного отопления из стеклянных труб. Анализ характеристик трубопроводов из различных материалов позволил выделить основные преимущества стеклянных трубопроводов наряду с другими: распространенность сырья в условиях Республики Беларусь; сравнительно невысокая стоимость для применения на территории нашей страны по сравнению с медными трубами; полное отсутствие коррозии и диффузии кислорода; низкая тепловая инерционность; сравнительно высокий коэффициент теплопроводности (для кварцевого стекла $1,4 \text{ Вт/м}\cdot^{\circ}\text{C}$); низкое гидравлическое сопротивление (коэффициент шероховатости кварцевых труб составляет $0,0001 \text{ мм}$, что в несколько сотен раз меньше, чем для металлопластиковых или полиэтиленовых труб); коэффициент термического расширения α исключительно мал (в интервале $20\text{-}800^{\circ}\text{C}$ он составляет $\alpha=3,5\cdot 10^{-4} \text{ мм/м}\cdot\text{град}$); экологичность; долговечность. Однако стекло обладает рядом недостатков: хрупкость, значительная чувствительность к механическим воздействиям, особенно ударным. Этого можно избежать предварительным изготовлением деталей и узлов в заводских условиях, монтажом труб из стекла готовыми узлами или блоками, максимальной механизацией работ, в том числе и на строительной площадке; устройством противоударных и защитных оснований. Перечисленные приемы сократят сроки выполнения работ, затраты труда, повысят качество. Ведутся поисковые исследования по разработке наиболее рациональных типов соединений для монтажа напольного отопления из стеклянных трубопроводов. Выполнены расчетные исследования по тепловому расширению трубопроводов из различных материалов.

Численный и тепловизионный анализ теплопотерь индивидуального дома, построенного по технологии МБОО «ЭкоСтроитель»

Кресова Е.В.¹, Кужелко Д.Ю.¹, Супринович Ю.Л.²

Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ¹, Международное благотворительное общественное объединение «ЭкоСтроитель»²

В настоящее время актуальным направлением жилищной политики является «зелёное» строительство – вид строительства и эксплуатации зданий, воздействие которых на окружающую среду минимально. Его целью является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания: от выбора участка по проектированию, строительству, эксплуатации, ремонту и сносу. Другой целью «зелёного» строительства является сохранение или повышение качества зданий и комфорта их внутренней среды.

Распространение получает также «этническое» строительство. В рамках этого направления возрождаются такие направления, как дома из прессованных соломенных, соломенно-глиняных блоков и каркасные дома (по типу фахверка) с соломенно-глиняным заполнением с использованием скользящей опалубки, а также дома с применением тростника в качестве теплоизоляционного материала.

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.

Объект исследования настоящей работы – индивидуальный жилой дом, построенный по технологии МБОО «ЭкоСтроитель» в деревне Старый Лепель. Теплоизоляция дома выполнена 5-ю слоями тростниковых матов общей толщиной 250 мм.

При исследовании объекта рассчитан удельный расход энергии на квадратный метр/год, проведено компьютерное моделирование и экспериментальные тепловизионные исследования его естественного охлаждения после отключения отопления.

Результаты исследований свидетельствуют о минимальных теплопотерях через ограждающие конструкции. Установлено, что удельный расход энергии на отопление дома не превышает $50 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$, уменьшение температуры внутри дома в течение суток – не более 7°C .

Научный руководитель работ: д-р техн. наук, проф. Кундас С.П.

Системы теплоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (опыт Норвегии)

Станецкая Ю.А., Кундас С.П.

Белорусский национальный технический университет

В связи с подписанием Республикой Беларусь Парижского соглашения по климату 22.04.2016 г. вопрос увеличения доли использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становится еще актуальнее. Опыт Норвегии, в энергобалансе которой ВИЭ составляют 64,5% (данные Евростата за 2013 г.) и запланировавшей увеличение доли ВИЭ к 2020 г. до 67,5% может быть полезным и интересным для Республики Беларусь (РБ).

Такие успехи Норвегии в области возобновляемой энергетики объясняются прежде всего большими ресурсами и вкладом в энергопотребление страны гидроэнергетики (98%). Имеющиеся в стране нефть и природный газ не используются для производства электроэнергии, большая часть экспортируется, обеспечивая порядка 25% ВВП. Достаточно низкая себестоимость производства электроэнергии позволяет поддерживать один из самых высоких в мире уровней ее потребления.

Системы теплоснабжения в Норвегии также строятся на основе ВИЭ, 49% теплоснабжения обеспечивается за счет прямого сжигания промышленных и коммунальных отходов, производства биогаза. Нефтяное топливо может быть использовано только для покрытия пиковых нагрузок. Согласно требований «Новых технических строительных норм» (ТЭК10) для отопления зданий площадью свыше 500 м² доля энергии от ВИЭ должна быть не менее 60%, до 500 м² - не менее 40%.

Централизованное теплоснабжение в Норвегии развивается по пути отказа от строительства новых теплоэлектростанций за счет увеличения доли использования низкопотенциальной энергии (тепловые насосы) и повышения эффективности работы и рентабельности уже существующих ТЭЦ, повсеместной модернизации теплосетей, снижения верхней температуры теплоносителя до 100-110°С. Преимущества централизованного теплоснабжения в районах с плотной городской застройкой несомненны, подключение к системам централизованного теплоснабжения в некоторых регионах страны является обязательным. Децентрализованный способ теплоснабжения применяется для небольших населенных пунктов с низкой концентрацией населения. Анализ развития систем теплоснабжения Норвегии показал, что для РБ наиболее интересен может быть опыт применения тепловых насосов на основе низкопотенциальной энергии земли и канализационных стоков, а также биогазовых технологий.

**Система теплоснабжения индивидуального жилого дома
на основе теплового насоса**

Умецкий Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Использование экологически чистых возобновляемых источников энергии при строительстве жилья в сельской местности является одним из актуальных направлений жилищной политики, направленной на широкое внедрение энергоэффективных стандартов.

Целью настоящих исследований является анализ перспектив применения в нашей стране тепловых насосов в системах отопления индивидуальных жилых домов с разработкой реального проекта их использования. Показано, что в Республике Беларусь более перспективными являются тепловые насосы, использующие низкопотенциальную энергию земли (грунтовые зонды) и окружающего воздуха. Однако, ввиду отсутствия отечественных производителей оборудования стоимость проектов пока относительно высокая.

Объектом для практического применения теплового насоса является индивидуальный жилой дом, построенный из газосиликатных блоков с утеплением на основе матов из минеральной ваты.

В работе представлены результаты расчетов удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, а так же нагрузки на систему горячего водоснабжения объекта.

На основе этих показателей произведен выбор оборудования системы теплоснабжения, а так же выполнен проект системы отопления и горячего водоснабжения. В качестве основного источника тепловой энергии выбран тепловой насос марки Nibe F1145-17 EXP, дополнительно укомплектованный модулем активного охлаждения HPAC. Отопление комнат общего пользования (санузлы, кухня и столовая) осуществляется с помощью системы «теплый пол», жилые комнаты отапливаются фанкойлами марки LIEBERT-HIROSS FC 1.3-2T совместно с радиаторами Kermi Therm X2 (в летний период на их основе производится холодоснабжение) и радиаторное отопление подсобных помещений (гараж). Система горячего водоснабжения включает бак для нагрева горячей воды с встроенным теплообменником S-TANK серии SS-HP.

Показано, что эксплуатация тепловых насосов в системах теплоснабжения индивидуальных жилых домов максимально выгодна при их комплексном использовании (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирования воздуха).

Научный руководитель работ: д-р техн. наук, проф. Кундас С.П.

УДК 620.952; 620.953

Анализ потенциала и перспектив применения биогазовых технологий в Республике Беларусь

Величко В.В., Кундас С.П.

Белорусский национальный технический университет

Исчерпаемость углеводородных источников энергии, вопросы энергетической безопасности и проблемы глобального изменения климата обуславливают все более широкое применение возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Эта задача актуальна и для нашей страны, обладающей незначительными объемами собственных энергоресурсов (около 70% импортируется). В Республике Беларусь на сегодняшний день основной вклад в развитие ВИЭ вносит биоэнергетика (использование древесного сырья в энергетических целях). Большое внимание уделяется также развитию биогазовых технологий. Так, по сведениям Департамента по энергоэффективности в соответствии с Программой строительства энергоисточников на биогазе на 2010-2015 гг. в стране введено в эксплуатацию 17 биогазовых установок общей мощностью около 24 МВт.

Наиболее доступным сырьем для производства биогаза на территории Республики Беларусь являются стоки животноводческих ферм и комплексов.

Исходя из данных РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» энергетический потенциал использования биогазовых установок позволит получать более 2,5 млрд м³ биогаза ежегодно. На его основе возможна выработка 5 млрд кВт·ч электрической энергии и более 8,5 млн Гкал тепловой энергии. Для реализации такого потенциала суммарная установленная мощность биогазовых установок может составлять около 625 МВт и это позволило бы экономить 2,9 млн т.у.т. в год.

В работе проведен анализ особенностей и эффективности эксплуатации, работающих в Республике Беларусь биогазовых установок, применяемого сырья, логистики его поставки, оптимизации состава исходя из максимального выхода биогаза, факторы, влияющие на процесс ферментации (наличие песка, антибиотиков в курином помете, аммиака и др.). Показано, что одной из важных проблем эффективного использования биогазовых технологий в сельском хозяйстве является применение вырабатываемой тепловой энергии. Рассмотрены возможные направления решения этой задачи (сушка сельскохозяйственной продукции, твердого осадка ферментации, отопление парниковых хозяйств, самих ферм и т.п.).

**К вопросу о расчете газопроводов высокого давления I категории
из полиэтиленовых труб**

Артихович В.В., Волчек Е.А.

Белорусский национальный технический университет

В 2014 году на конференции были представлены результаты расчетов по определению потерь давления в газопроводах низкого, среднего и высокого давления из полиэтиленовых труб. Для газопроводов высокого давления расчеты были выполнены для труб с SDR 11. С 1 ноября 2015 г. на территории Республики Беларусь разрешено использовать полиэтиленовые трубы при давлении 1,2 МПа. В связи с этим возникла необходимость построения таблиц и номограмм для расчета газопроводов высокого давления из полиэтиленовых труб с SDR 9.

Распределительные газопроводы работают в турбулентном режиме, газопроводы высокого давления работают в режиме гидравлически шероховатых труб. В этом случае все поперечное сечение газопровода, в том числе и шероховатости, заполнены турбулентным течением. Гидравлический коэффициент трения λ и потери давления ΔP уже не зависят от числа Re , а зависят от характера шероховатости внутренней поверхности газопровода и ее относительной величины k_s .

На значения k_s влияют: изготовитель, способ соединения труб, марка материала, увеличение внутреннего диаметра трубы (из-за явления ползучести и с течением времени). Это увеличение составляет 1,5% за первые 10 лет эксплуатации и около 3% за весь срок.

Таким образом, значение k_s является важным условием для определения пропускной способности газопровода. При проектировании газовых сетей из полиэтиленовых труб k_s необходимо принимать для труб завода-изготовителя, чью продукцию предполагается использовать в проекте. При $k_s = 0,002$ см для полиэтиленовых труб получена зависимость для определения потерь давления в полиэтиленовых газопроводах высокого давления.

По ней определен удельный среднеквадратичный перепад давления A , МПа²/км, для полиэтиленовых газопроводов высокого давления различного диаметра с SDR 9 при различных расходах стандартного природного газа ($\rho_o = 0,73$ кг/м³). Полученные результаты сведены в таблицы и использованы для построения соответствующей номограммы.

Данная номограмма может быть использована в дипломном проектировании, в инженерной практике при проектировании межпоселковых газопроводов высокого давления из полиэтиленовых труб.

**Перспективы подписания международного соглашения
по сокращению выбросов парниковых газов**

Бракович И.С.

Белорусский национальный технический университет

Киотский протокол, полное название которого – Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата – это международный договор, названный в честь японского города, в котором он обговаривался в декабре 1997 года, направленный на сокращение выбросов вредных газов, способствующих глобальному потеплению. Протокол, который вступил в силу с 2005 года, призывает к сокращению выбросов шести парниковых газов в 41 стране, а также в странах Европейского Союза до 5,2 процента ниже уровня 1990 года во время периода действия принятых этими странами обязательств, а именно, в 2008-12 годах.

Обязательное сокращение выбросов парниковых газов государствами-членами ООН, варьируется в зависимости от уникальных особенностей каждой страны. Другие страны, подписавшие протокол, в основном, это развивающиеся страны, не были обязаны ограничивать свои выбросы.

Протокол вступил в силу в феврале 2005 года, через 90 дней после его ратификации, по крайней мере, 55 странами, что в совокупности составляло не менее 55 процентов общих выбросов диоксида углерода в 1990-е годы. В докладах, опубликованных в течение первых двух лет после вступления договора в силу, указано, что большинство участников Протокола не сможет достичь своих целей по эмиссии.

На 18-й Конференции Сторон, которая состоялась в столице Катара, Дохе, в 2012 году, делегаты договорились о продлении Киотского протокола до 2020 года. Они также подтвердили свои обязательства по 17-й Конференции сторон, которая была проведена в Дурбане, Южная Африка, в 2011 году, на которой обговаривались детали по созданию к 2015 году нового, всеобъемлющего, юридически обязательного договора по климату.

В декабре 2015 года в Париже (Франция) прошла очередная конференция стран, подписавших Киотский протокол. Всего приняло участие более 190 делегатов. Консенсус по дальнейшей судьбе договора найден не был и в результате сложных переговоров пришли к созданию рабочей группы для подготовки окончательной редакции договора. Беларусь принимает на себя обязательство обеспечить к 2030 году выбросы парниковых газов на уровне не выше 75% от уровня выбросов 1990 года.

Покотилов В.В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Возобновляемая тепловая энергетика в основном являются низкопотенциальной и реализуется с помощью тепловых насосов, утилизаторов тепловых сбросов, систем с аккумуляторами теплоты, гелиосистем и низкотемпературных конденсатных водогрейных котлов. Энергоэффективность возобновляемых источников энергии повышается с понижением расчётной температуры теплоносителя в системах теплоснабжения. Эти системы называют системами низкотемпературного отопления. Такие системы водяного отопления отличаются от традиционных систем методами проектирования и эксплуатации.

В больших помещениях монтируют более двух отопительных приборов с установкой «термостата-регулятора» на каждом из них. Это неправильное решение, так как здесь для одного объекта регулирования устанавливаются несколько регуляторов температуры воздуха. Правильное решение зонального отопления возможно только при условии применения одного регулятора в помещении. Например, на радиаторные клапаны можно установить теплоприводы, управляемые от одного регулятора, или же запроектировать отдельные гидравлические ветки отопления помещений с самостоятельными зональными регулирующими клапанами. Для запыленных производственных помещений применяют системы с регистрами из гладких труб. Вместо традиционных систем предлагаем применять зональную автоматизированную систему отопления с опрокинутой циркуляцией. В этом случае отсутствует проблема скопления воздуха в регистрах, так как воздух удаляется в направлении движения теплоносителя.

Одним из вариантов экономичных зональных систем является трехтрубная система водяного отопления. В системе для каждого потребителя реализуется режим качественного регулирования при неизменном расходе теплоносителя. При качественном регулировании температура воздуха изменяется за счёт изменения температура теплоносителя путём подмешивания обратного теплоносителя в смесительных трехходовых регулирующих органах.

Особенности проектирования низкотемпературной системы отопления:

1. Исключается применение однотрубных систем. Следует проектировать двухтрубные системы отопления;
2. Требуемые поверхности нагревательных приборов почти в 2 раза больше, поэтому следует применять пластинчатые конвекторы или невысокие радиаторы.

Способы модернизации инженерных систем усадебных домов с приоритетом возобновляемых источников энергии

Покотилов В.В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Инженерные системы современного европейского усадебного жилого дома проектируют с применением энергоэффективных насосов, контроллеров и др. В Беларуси такие системы также применяют для теплоснабжения некоторых домов в городских поселках. Но такая система требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат и поэтому не может быть массовой для жителей агрогородков и белорусских деревень.

Предлагаем для усадебных домов применение схемы, показанной на рис.1. Все характеристики такой системы не ниже характеристик классической европейской системы, в том числе и энергоэффективность.

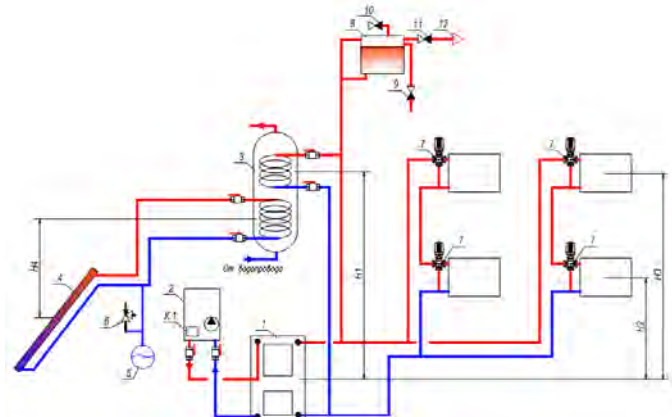


Рис.1. Схема теплоснабжения усадебного дома. 1–котел; 2–котел газовый; 3–бойлер; 4–гелиоколлектор; 5–расширительный бак мембранный; 6–предохранительный клапан; 7–трехходовой термостатический клапан; 8–расширительный бак; 9,10,11–пружинные обратные клапаны; 12–свечная труба

В таком виде система является привычной для сельского жителя и безопасной при закипании воды в твёрдотопливном котле. Предлагаем использование дровяного котла также в качестве гидравлического разделителя. Это решение обеспечивает приоритетность использования твёрдотопливного котла относительно газового в автоматическом режиме эксплуатации. Такое решение является также простым способом присоединения газового котла к существующей системе без демонтажа последней.

УДК658.26

Автономное энерго- и теплоснабжение усадебного дома с использованием солнечных панелей и теплового насоса

Разуменко А.А.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы: создание автономного энерго- и теплоснабжения усадебного дома, полностью удовлетворяющего свои нужды в обеспечении электроэнергией, тепловой энергией для отопления и водоснабжения. Используем фотоэлектрические панели, аккумулятор, стабилизатор. Для дома 150 м² с теплотерями 8 кВт требуется электроэнергия 40 кВт-час в сутки. В качестве теплового насоса выбираем воздушно-водяной тепловой насос Ostorus. На профиле образуется иней или лёд, который представляет собой для хладагента аккумулятор тепловой энергии. Максимальная эффективность достигается при температуре наружного воздуха +5...-5 °С.

Для системы отопления используем панельное отопление с контуром, проложенным в соломенно-глиняных перегородках. Панельное отопление хорошо сочетается с системой, включающей в себя тепловой насос, т.к. температура теплоносителя около 45°С. В качестве параллельного источника тепла для водоснабжения и для приготовления пищи используем стальные водогрейные котлы-плиты TEMU Plus P25. Предусматривается буферный бак на 1-2м³.

Оценочная характеристика стоимости оборудования

| Наименование оборудования | Цена за 1 ед. | Схема энерго- и теплоснабжения |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Солнечные панели | N=250 Вт - 160\$; N=320 Вт - 220\$ | |
| Тепловой насос | 12,900 - 14,700\$ | |
| Контроллер | 100\$ | |
| Аккумулятор | 300\$ | |
| Стабилизатор | 550\$ | |
| Котёл-плита | 1,800 - 2,000\$ | |
| Буферный бак | 310-370\$ | |

Способ определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

Сизов В.Д., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Способ определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций при различных, в том числе и тепловизионных, методах измерения температур поверхностей основан на предположении, что ограждающая конструкция рассматривается как неограниченная пластина.

Процесс нагрева (охлаждения) такой пластины при ГУ III рода для определения относительной избыточной температуры можно воспользоваться выражением:

$$\Theta = \frac{t_{(0,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}}{t_{(\infty,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}} = \frac{B_i \cdot (1-\eta)}{B_i + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin}[v_n \cdot (1-\eta)] \times \exp(-v_n^2 \cdot F_0). \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует, что относительная температура θ является функцией теплофизических характеристик ограждения, коэффициентов теплоотдачи у наружной поверхности и продолжительности измерений.

Используя конкретные величины указанных характеристик ($\lambda_{\text{эк}}$, a , $R_{\text{эк}}$, B_i и F_0) соотношение (1) можно записать в неявном виде:

$$\Theta = \frac{t_{(0,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}}{t_{(\infty,\tau_i)} - t_{(0,\tau_0)}} = \frac{\bar{\alpha} \cdot R \cdot (1-\eta)}{\alpha \cdot R + 1} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \text{Sin}[v_0 \cdot (1-\eta)] \times \exp\left(-v^2 \cdot \frac{\tau_i}{\delta_i \cdot C_{\text{эк}} \cdot \rho_{\text{эк}} \cdot R_{\text{эк}}}\right). \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что, определив относительную температуру θ или темп охлаждения по результатам натуральных измерений в любой момент времени, пока тепловой потенциал не достиг внутренней поверхности пластины, можно определить и термическое сопротивление конструкции.

Таким образом, можно сделать вывод, что расчетное соотношение (2) показывает адекватность проведенным натурным измерениям, а построенными по нему графиками можно пользоваться для контроля сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции.

На способ определения сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции подана заявка на патент стран СНГ ЕА 149/15 от 27.11.15.

Исследование влияния расхода и температуры теплоносителя на тепловой поток нагревательных приборов с использованием методов CFD-моделирования

Соколов И.С.

Белорусский национальный технический университет

Визуализировать процесс затекания теплоносителя в отопительный прибор в натуральных и лабораторных исследованиях практически невозможно. Поэтому знания о том, что происходит внутри прибора, до сих пор носят предположительный характер.

В работе представлены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований отопительного прибора (радиатора). Задача исследований заключается в создании методики, которая позволит заранее прогнозировать результат использования отопительного прибора в заданных рабочих условиях.

В качестве объекта исследования был выбран 7-секционный алюминиевый радиатор Fondital.

Численное моделированиепрогрева секций радиатора при натуральных параметрах теплоносителя проводились с использованием программного комплекса Autodesk Simulation CFD с применением SST-модели турбулентности. Метод CFD моделирования позволяет получить визуальную картину полей переменных, таких как скорость и температура, в радиаторе, а также численные значения этих переменных.

Первым этапом при решении задачи численного моделирования является создание трехмерной геометрии с необходимой точностью. 3D модель объекта исследования строилась в AutoCAD и экспортировалась в AutodeskSimulation CFD.

Второй этап – постановка задачи. На этом этапе задавались материалы радиатора и теплоносителя, а так же граничные условия для расчета.

Третий этап – построение расчетной сетки со сгущением в местах контакта теплоносителя и стенок радиатора.

5 этап – расчет и анализ полученных результатов.

Для верификации данных, полученных в результате численного моделирования, проводились экспериментальные исследования в испытательной камере РУП «Институт БелНИИС».

В работе представлены результаты оценки влияния расхода и схемы подключения отопительного прибора на тепловой поток. Результаты численного моделирования в AutodeskSimulation CFD хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Использование современных тепловизионных приборов для теплового контроля теплоиспользующих объектов

Сизов В.Д., Кудряшова А.О.

Белорусский национальный технический университет

В силу того, что государственная политика направлена на снижение энергопотребления существует необходимость контроля и снижения потребления энергии теплоиспользующими системами и установками (системами отопления, теплоснабжения, тепловыми установками, сушильными камерами и печами, и т.д.).

Для определения энергоэффективности, в первую очередь, определяют фактические теплотехнические характеристики систем и установок в условиях их эксплуатации посредством выявления теплопотерь с наружных поверхностей теплоиспользующего оборудования и систем.

В основном теплотехнические характеристики определяются с использованием тепловизионных устройств, которые входят в комплексы для определения теплотехнических характеристик.

У комплекса приборов, используемых для этих целей и разработанных НИИЛСТИСЗ БНТУ совместно с Шандуньским компьютерным центром, данный каждого датчика (датчик теплового потока выполнен воедино с датчиком температуры) поступают на индивидуальный радиопередатчик (узловые точки в помещении или узловые точки вне помещения) и посредством радиосигнала Wi-Fi поступает на центральный блок радиоприема и радиопередачи сигналов от узловых точек, где осуществляется как их визуализация на экране прибора (для анализа результатов непосредственно в условиях объекта) так и передача этих сигналов посредством встроенного устройства связи стандарта GSM с последующим получением через интернет на компьютер, который может располагаться где угодно. Такая схема организации получения и передачи результатов измерений позволяет располагать датчики не только в любом помещении исследуемого объекта, но и на любом этаже и в любой секции здания или зданий (в пределах достижения радиосигнала от радиопередатчиков).

Помимо этого полученные результаты можно получить и проанализировать не только в условиях объекта, но и что самое важное, в любой точке земли, доступной для приема сигнала GSM или сети интернета. Это является весьма важным обстоятельством при проведении измерений на объектах ограниченного (по времени) доступа или при неустойчивых внешних условиях, а кроме того, в любой момент можно проверить работоспособность как всего прибора, так и каждого датчика в отдельности.

Оптимизация систем теплоснабжения г. Костюковичи

Акельев В.Д., Широкова Е.М.

Белорусский Национальный технический университет

В работе выявлены недостатки системы теплоснабжения г. Костюковичи, представлены мероприятия по ее оптимизации и рассмотрены варианты строительства нового источника централизованного теплоснабжения.

Город Костюковичи – районный центр Могилевской области расположен в 160 км на юго-восток от города Могилев. Численность – 15,9 тыс. чел, общая жилая площадь – 440,1 тыс. кв. м.

Особенностями схемы и системы теплоснабжения города являются относительно низкий уровень тепловых нагрузок и намечаемый их прирост, значительная удаленность источника централизованного теплоснабжения – Костюковичской котельной с повышенными затратами на транспорт тепла, неполная обеспеченность жителей многоквартирных жилых домов централизованным горячим водоснабжением, преобладание мелких индивидуальных теплогенераторов и отопительных печей на твердом топливе.

В рамках оптимизации системы теплоснабжения города рассматриваются различные варианты ее развития:

- модернизация существующей системы теплоснабжения от Костюковичской котельной;
- строительство нового централизованного теплоисточника на площадке, приближенной к городу.

Предусматривается расширение использования электроэнергии в системе теплоснабжения города в целях использования мощностей Белорусской АЭС.

В работе рассмотрены мероприятия по повышению эффективности существующей системы теплоснабжения: расширение зоны действия централизованного теплоснабжения изменение; состава оборудования на котельной (в том числе установка электродкотлов); сокращение теплотерь в транзитной теплотрассе посредством применения высокоэффективной теплоизоляции; аккумулирование теплоэнергии в транзитной теплотрассе в неотопительный период и т.д.

Представлены различные варианты строительства нового теплоисточника, приближенного к городу и определение наиболее энергоэффективного.

Теплогидравлические расчеты выполнены на базе электронной модели, созданной в программе ГИС «Zulu-Thermo».

Способ термомодернизации оболочек пневмоопорных объектов

Акельев В.Д., Золотарева И.М. Якимович Д.Д.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является уменьшение теплотерь в холодное время года и теплопоступлений – в теплое, которые могут быть уменьшены многократно. Задача достигалась термомодернизацией пневмообъектов, включающих многослойную оболочку из эластичного материала и устройства для подачи воздуха после монтажа оболочки, при которой происходит расслоение пространства между более и менее нагретыми поверхностями оболочек для минимизации конвекции, когда число Рэлея находится в пределах 1700-1800, следовательно, увеличения теплозащитных характеристик пневмоопорных объектов. В межслойное пространство внедряются сферические элементы или близкие к ним по форме емкости с полимерными стенками (т.е. ограниченные объемы воздуха или газа с большими молекулярными массами) устройствами (пневмонагнетателями), которые укладываются произвольно (гексагональная, кубическая укладка). Сферические элементы в целях многократного уменьшения радиационной составляющей покрываются материалами с высокими радиационными отражательными характеристиками или экранируются элементами различной формы с малой объемной массой. Укладка, удаление сферических элементов осуществляется пневмонагнетателями из емкости, которая может иметь различную форму и быть расположена на любом уровне относительно поверхности пола, даже под землей, через воздухопровод, в пространстве между слоями оболочки. Расстояние между слоями оболочки рассчитывается в зависимости от её оптимального сопротивления теплопередаче и давления воздуха в межсферическом пространстве.

Использование предлагаемых технологических аспектов оболочек на различных пневмоопорных объектах способствует их функционированию в течение всего года при различных климатологических параметрах наружного воздуха.

Выполнены лабораторные исследования, в которых моделировались теплофизические процессы в оболочках пневмоопорных объектов. Использовались сферические, цилиндрические воздушные элементы с экранированием и без экранирования, их эквивалентные размеры находились в пределах от 70 до 80 мм. Тепловой и конвективный режим – стационарный, граничные условия I и III рода, число сферических и цилиндрических рядов от 4 до 6 рядов, термическое сопротивление теплопередаче превышало известные сопротивления в 4-8 раз.

Использование биогазовых комплексов

Янчук Л.Ф.¹, Могилат Г.А.¹, Карпецкая Ю.А.²

Учреждение образования «Государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров в области газоснабжения «Газ – Институт»¹, Белорусский национальный технический университет²

Биогазовый комплекс (БГК) – это комплекс зданий, сооружений и наружных установок, включающий в себя биогазовую установку и оборудование для дальнейшего преобразования биогаза в другие виды энергии, топлива и удобрения [1].

Область применения установок по производству биогаза – это крупные агропромышленные комплексы, фермы, птицефабрики, рыбные заводы, хлебобулочные комбинаты, мясокомбинаты, сахарные заводы и другие сельскохозяйственные и промышленные предприятия.

Биогаз как энергоноситель может использоваться на ТЭЦ, в микротурбинах, как моторное топливо, а также переработанный биогаз (биометан) подается в сеть газоснабжения после его сжатия до давления в трубопроводе.

В настоящее время максимальное количество биогазовых установок (около 15 млн) действуют в Китае, 10 млн – в Индии. В Европе первое место принадлежит Германии (около 9000 БГУ), затем следуют Дания, Великобритания, Швеция, Норвегия, Италия, Франция, Испания, Польша.

Беларусь является подходящей страной для развития БГК, где в настоящее время работает 7 биогазовых комплексов, мощностью от 340 кВт до 4,8 МВт. Всего запланировано построить 22 БГУ, суммарной установленной мощностью 21,7 МВт.

Также Беларусь получает финансирование межструктурной технической помощи из средств Евросоюза.

Применение БГУ в Беларуси имеет экономическую, экологическую, агрономическую и социальную перспективы, т.к. Беларусь располагает собственными богатыми сырьевыми ресурсами и инновационными технологиями.

Таким образом, перед белорусскими учеными и проектировщиками стоит задача разработать оптимальный вариант использования БГУ в нашей стране, опираясь на зарубежный опыт.

Литература

1. ТКП 17.02.-03-2010. Правила размещения и проектирования биогазовых комплексов. – Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 23 с.

**Совершенствование методик расчета и монтажа
гибких воздуховодов**

Морозюк А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью данного исследования является измерение коэффициентов сопротивления трения, изучение влияния степени сжатия воздуховода на потери давления, визуализация турбулентного потока и анализ результатов эксперимента. Гибкие воздуховоды имеют ряд преимуществ перед оцинкованными, таких как: намного меньшая стоимость, вес, большая компактность, возможность зачастую не применять фасонные детали, а также большая стойкость к агрессивным средам. В связи с все более частым применением воздуховодов такого типа, становится актуальным вопрос более подробного изучения его аэродинамических свойств.

Гибкие воздуховоды круглого сечения производятся с диаметрами от 76 до 710 мм с последующим применением их в системах вентиляции и кондиционирования с низким давлением или в периферийных секциях больших центральных систем, а также в промышленности для отвода дыма от электрической или газовой сварки, в деревообработке и химическом производстве. Конструкция и, соответственно, свойства гибких воздуховодов довольно разнообразны: начиная от типичных каркасных с металлической или полимерной оболочкой и заканчивая «специальными» антистатическими и антибактериальными.

В настоящее время производители гибких воздуховодов для оценки потерь давления предоставляют диаграммы для абсолютно растянутых воздуховодов. В данной работе визуализация турбулентного потока и экспериментальное исследование должны установить аэродинамические свойства гибких воздуховодов: численные значения коэффициентов сопротивления трения, значимость степени сжатия воздуховода, влияние конфигурации местных сопротивлений и распределения витков по длине на перепад давления.

На стенде монтируется образец, в качестве которого используются воздуховоды различных видов (металлический, полиуретан, ПВХ и т.д.). Все образцы имеют одинаковые длины в пределах 5-6 метров. Образец снабжается устройством для натяжения гибкого воздуховода. Расход измеряется с помощью анемометра. На стенде устанавливается каналный вентилятор с выравнителем потока и регулятором частоты вращения. Диапазон скоростей от 2 до 7 м/с, что соответствует числу Рейнольдса для развитого турбулентного режима.

**Влияние окружающей среды на параметры льда
МСК «Минск-Арена»**

Ливанский Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

Ледовые катки бывают открытыми и крытыми. Открытые ледовые катки наиболее простые сооружения, для устройства которых требуется достаточно ровная площадка заливаемая водой при устойчивом стоянии отрицательных температур наружного воздуха. Функционирование открытых ледовых катков существенно зависит от режима погоды.

Крытые ледовые катки лишены этого недостатка, в них ледовое поле может поддерживаться круглый год. Для этого решаются сложные технические задачи по обеспечению требуемых параметров ограждающих конструкций и инженерных систем здания. Это позволяет снизить негативное влияние солнечной радиации, атмосферных осадков, ветра, температуры наружного воздуха на параметры ледового поля.

Ледовое поле в общем случае занимает значительную часть от общей площади здания ледового катка. В связи с этим в помещении с ледовым полем формируется особый микроклимат, так как температура воздуха на уровне груди спортсмена на ледовом поле составляет в среднем $+6^{\circ}\text{C}$, температура воздуха в зоне расположения мест для зрителей должна быть $+10\dots+18^{\circ}\text{C}$, а температура льда может быть от -3°C до -8°C , в зависимости от вида проводимых соревнований.

Первым важным параметром микроклимата является влажность воздуха. Повышенная влажность приводит к возникновению тумана над ледовым полем, образованию конденсата и микрофлоры на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, что приводит к преждевременному разрушению строительных конструкций, а также к увеличению нагрузки на систему холодоснабжения.

Вторым важным фактором, оказывающим влияние на температуру льда, является правильно организованное воздухораспределение от систем кондиционирования воздуха. Так как воздействие более теплой струи приточного воздуха на лед повышает его температуру, при этом изменяются скользкие свойства поверхности льда, что недопустимо для спортивного льда.

Третьим фактором является специальное освещение, которое требуется для проведения телевизионных трансляций хоккейных матчей, что приводит к неравномерности температуры поверхности льда и снижению его качества.

Грачёв И.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Численный анализ позволяет моделировать температурные поля, воздухораспределение и т.п. для проектируемых зданий, но в проектной практике используется исключительно на крупных уникальных объектах, а также в научных исследованиях.

Произведено моделирование однопролетного одноэтажного производственного цеха габаритами 12х60х7(н) м. При расчете учтены реальные конструктивные характеристики здания с окнами и воротами. В помещении цеха равномерно симметрично установлено 6 единиц тепловыделяющего оборудования с температурой горизонтальной поверхности 150 °С. Удаление воздуха осуществляется открытыми местными отсосами над оборудованием, подача воздуха – сосредоточенными вертикальными струями вдоль продольных стен. Моделирование произведено для переходного периода при помощи расчетного программного комплекса с использованием модели турбулентности k-ε с учетом радиационного теплообмена.

При закрытых воротах обеспечиваются допустимые параметры микроклимата в рабочей зоне. Конвективные струи от нагретых поверхностей поднимаются вертикально вверх и удаляются вытяжными зонтами.

По результатам расчетов даже наличие незначительного ветра (0,5 м/с), направленного по нормали к открытым воротам приводит к снижению температуры воздуха в рабочей зоне ниже допустимых значений. При этом у первых двух рядов оборудования наблюдается снос конвективной струи под влиянием ветра. Это приводит к тому, что зонты удаляют поступающий холодный воздух, а нагретый воздух проходит мимо них и поднимается под кровлю, приводя к перегреву верхней зоны помещения и бесполезной трате электроэнергии на работу местных отсосов. При изменении направления ветра (45° к проему ворот) его влияние снижается. Снос конвективных струй наблюдается только у оборудования, расположенного ближе к открытому проему. При этом струи отклоняются в сторону проема и не выходят за пределы установленного зонта. Большее отклонение проявляется у струи, расположенной с наветренной стороны, что объясняется эжекцией воздуха ветровым потоком и влиянием обратного потока.

Как следует из результатов моделирования, открытые проемы существенно влияют на параметры микроклимата в помещении, а также на работу открытых местных отсосов. Расчеты производились для стационарных режимов.

Энергоэффективные технологии

**Ориентационное действие магнитного поля на немагнитные тела
в магнитной жидкости**

Баштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Налетова В.А.²

Белорусский национальный технический университет¹
НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова²

Представлены результаты исследований ориентационного воздействия однородного магнитного поля на немагнитные тела, находящиеся в магнитной жидкости.

Данная задача имеет интерес для интенсификации теплообмена при кипении магнитных жидкостей, при создании магнитоуправляемых технологий снижения трения при течении смазочных жидкостей, а также для магнитоуправляемой абразивной обработки немагнитных деталей.

Установлено, что эффект влияния магнитного поля на ориентацию и перемещение немагнитных тел в магнитной жидкости основан на двух механизмах его взаимодействия с этими телами – за счет объемной магнитной силы в жидкости и локальных искажений магнитного поля.

Если тело не является сферическим, то его ориентация относительно направления поля становится зависящей от поля. Вокруг немагнитного тела в магнитной жидкости возникают локальные неоднородности магнитного поля, и оно приобретает свойства антидиполя, взаимодействующего с внешним магнитным полем. Тело стремится приобрести такую ориентацию относительно направления поля, чтобы искажения поля были минимальными. Исследования проведены в горизонтальном однородном магнитном поле. Методика исследования состояла в определении времени поворота немагнитного цилиндра, плавающего на поверхности магнитной жидкости, на 90^0 при включении магнитного поля из перпендикулярного положения к направлению поля в продольное направление. Установлено, что, для цилиндрического тела наиболее выгодной становится ориентация, когда его ось параллельна направлению поля. Получены новые зависимости ориентационных характеристик цилиндрических тел от напряженности внешнего однородного магнитного поля для магнитных жидкостей, имеющих различную намагниченность и вязкость.

Показано, что при одинаковых моментах сил снижение гидродинамического сопротивления за счет уменьшения вязкости приводит к значительному уменьшению времени поворота тела.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Моцар А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из методов обеспечения динамических характеристик малых космических аппаратов дистанционного зондирования земли и снижения негативного влияния вибрационных воздействий на высокопрецизионную полезную нагрузку является динамическое гашение колебаний. Реализация данного метода основана на использовании виброзащитных устройств, включающих в себя дополнительно присоединенную массу, связанную с демпфируемым объектом посредством упруго-вязких связей и поглощающую энергию колебаний с ее последующей диссипацией. На данный момент актуальным является создание управляемых гасителей колебаний с возможностью подстройки их упруго-демпфирующих характеристик под параметры вибрационных воздействий. Для решения данной задачи перспективным видится использование интеллектуальных материалов, таких как магнитные жидкости. Благодаря механизмам вязкого трения такие жидкости обладают высокими диссипативными характеристиками, а возможность изменения их физических свойств по средствам магнитного поля позволяет создавать управляемые устройства виброзащиты. Универсальным объектом для создания магнитожидкостных виброзащитных устройств может служить капля магнитной жидкости с находящимся внутри нее источником магнитного поля. Капля, расположенная в немагнитном корпусе, может перемещаться, как единое целое, и рассеивать энергию вибраций за счет сил вязкого трения. Контакт капли со стенками корпуса приводит к деформации ее свободной поверхности и возникновению сил упругости препятствующих перемещению капли.

В работе рассмотрена возможность реализации управления упругими характеристиками такой капли по средствам внутреннего электромагнитного воздействия. Получены зависимости демпфирующих характеристик капли от ее объема для различной величины начальной амплитуды колебаний демпфируемого объекта, в качестве которого использовалась протяженная балка с собственной частотой колебаний порядка 1 Гц. Рассмотрено влияние магнитных свойств жидкости, а также величины электромагнитного воздействия на эти характеристики.

Исследования показали, что по средствам электромагнитных воздействий относительный коэффициент затухания устройства может изменяться в пределах $\pm 35\%$.

Использование магнитной жидкости как рентгеноконтрастного средства при исследования пищевода

Сулоева Л.В.¹, Балабанова О.В.²

¹ Белорусский национальный технический университет

² УЗ «10-я городская больница г. Минска»

В лечебной практике применяют способ рентгенологического исследования пищевода в вертикальном положении больного путем перорального введения контрастной массы, приготовленной из чистого сернокислого бария и воды в пропорции 1:1. Рентгеноконтрастное средство на основе магнитных жидкостей может быть использовано для изучения рентгеноморфологических особенностей пищевода и его функций. Предлагаемый способ имеет преимущество перед применяемым в настоящее время рентгенологическим исследованием пищевода, так как расширяет возможности изучения рентгеноморфологических особенностей пищевода и его функций. Это достигается тем, что в качестве рентгеноконтрастного средства используют вещество, состоящее из вазелинового масла, олеиновой кислоты и частиц магнетита размером 50 - 150 А. Вещество гомогенно распределяют и фиксируют по внутренней поверхности пищевода посредством задания направления величины напряженности магнитного поля в зазоре 330 кА/м., источником которого может быть магнит, под контролем рентгенотелевидения. Таким приемом создается возможность длительного контрастирования пищевода, что позволяет лучше оценить его контуры, размеры, однородность распределения контрастного вещества в нем, а изменяя направление вектора напряженности магнитного поля и для каждого направления его величину, можно по амплитуде и частоте сокращений судить о его функции. Проводившиеся гистологические исследования пищевода, желудка и других органов после введения в них рентгеноконтрастного магнитных средств не выявили в этих органах признаков повреждения.

Предлагаемый способ имеет преимущество перед применяемым в настоящее время рентгенологическим исследованием пищевода с помощью сернокислого бария. Что становится возможным в условиях длительного контрастирования изучать рентгеноморфологические особенности пищевода и его функции. Сокращаются время, и упрощается проведение самого исследования. Данный способ может быть использован не только для рентгенодиагностики, а также для лечения свищей, различных язв пищевода, при кровотечениях, наличии инородных тел в нем, и лечения опухолей пищевода.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

Применение методов компьютерного моделирования для решения инженерных задач. Программа FLUENT

Конева Н. С.¹, Карницкий А. Н.²

¹ГНУ Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,

²Белорусский национальный технический университет

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция сочетания традиционных инженерных подходов, лабораторных и стендовых испытаний с возможностями компьютерного моделирования при изучении аэродинамики, тепломассообмена и горения.

На современном этапе научных исследований вычислительный эксперимент является одним из важных направлений при изучении задач аэродинамики, тепломассообмена и горения. Поэтому возрастает роль пакетов прикладных программ, позволяющих инженерам не только рассчитывать, но и обрабатывать и интерпретировать результаты. Информация, полученная с помощью численных расчетов, позволяет не только правильно осмыслить и понять физические эффекты, наблюдаемые, например, на экспериментальных установках, но и в некоторых случаях заменить физический или натуральный эксперимент компьютерным как более дешевым.

В настоящее время широкое распространение получили пакеты вычислительной гидродинамики, тепломассообмена, прочности и электродинамики для проведения инженерных расчетов. Среди них можно упомянуть такие, как CFX, FLUENT, STAR-CD, LS-DYNA, ANSYS, ABAQUS, FlowVision, MSC/NASTRAN, MSC/MARC, MAGMASOFT, SolidWorks и др. Разработкой методов расчета и особенно созданием программ и пакетов прикладных программ для решения научно-технических задач занято большое число исследователей. Сейчас созданы и успешно развиваются пакеты программ для решения отдельных классов задач математической физики.

Изобилие физических моделей в пакете FLUENT позволяет с хорошей точностью предсказывать ламинарные и турбулентные течения, различные режимы теплопереноса, химические реакции, многофазные потоки и другие явления на основе гибкого строителя сеток и их адаптации к получаемому решению. Очевидно, что возможность проводить подобные исследования путем компьютерного моделирования без непосредственного создания экспериментальных установок, позволяет минимизировать затраты труда, времени, средств для получения результатов решения поставленных задач.

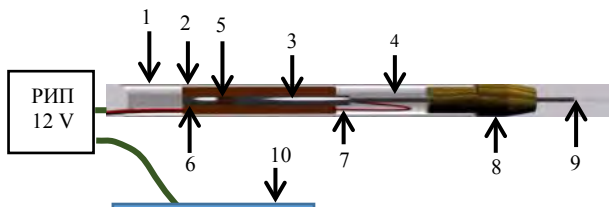
Компактная установка для сварки фольги

Давыдов В.А., Танцюра А.О.

Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Постановка лабораторных работ, в результате которых студенты изготавливают действующие экспериментальные установки, улучшает качество подготовки специалистов технического профиля и стимулирует интерес студентов к научно-исследовательской работе.

В настоящей работе описывается компактная экспериментальная установка для сварки фольги. На рис. 1 представлено ее схематичное изображение. Установка состоит из металлического корпуса 1, катушки индуктивности 2, с помещенным внутри нее подвижным сердечником 3, соединенным с металлической трубкой 4 и поджимаемым пружиной 5, зафиксированной заглушкой 6. Один вывод катушки подсоединен к регулируемому источнику питания (порядка 12 В), а второй - к сердечнику (обозначен 7). Конструкция фиксируется посредством наконечника 8. Электродом служит графитовый стержень 9. Второй вывод от источника питания соединяется с листом фольги 10.



При замыкании цепи (соприкосновении электрода с листом фольги) в катушке индуктивности возникает ток, который порождает магнитное поле, втягивающее сердечник вглубь катушки, вследствие чего цепь размыкается, а из-за малого расстояния между концом электрода и листом фольги возникает пробой, что влечет за собой нагрев участка листа фольги и электрода, после чего пружина выталкивает сердечник в его исходное положение и горячий электрод придавливает нагретый участок листа фольги, в результате молекулы фольги диффундируют в другой лист фольги (стекло или керамическую деталь). Таким образом, данная установка позволяет осуществлять сварку листов фольги между собой и их неразъемное присоединение к стеклу и керамике.

Научно-исследовательская работа выполнялась при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-2683.2015.1, конкурс СП-2015).

Способы обнаружения потерь рабочего вещества из парокompрессионных холодильных установок

Жук Н.П.

Белорусский национальный технический университет

Современные парокompрессионные холодильные установки используют дорогостоящие холодильные агенты в качестве рабочих веществ. Всегда остро стоит проблема потерь этого рабочего вещества. На сегодняшний день существует много способов обнаружения утечек холодильных агентов. Их можно разделить на косвенные, позволяющие определить факт утечки, и непосредственные, позволяющие определить конкретное место утечки холодильного агента.

Косвенный поиск утечек на работающей установке можно проводить наблюдая за следующими параметрами, которые могут являться результатом потери холодильного агента:

- падением давления (температуры) кипения и конденсации;
- уменьшением поглощаемого тепла холодильной установкой (холодопроизводительностью);
- возникающим посторонним шумом, аномальным вибрациям;
- формированием инея (льда) на испарителе (для кондиционеров);
- изменением любых других рабочих параметров для нормально работающей установки (увеличение времени работы установки, отсутствие жидкого хладагента в смотровом глазке, увеличение перегрева и уменьшение переохлаждения и т.п.).

Сегодня разработан и внедрен целый ряд методик обнаружения непосредственного места утечки в холодильных контурах. Наиболее эффективными из них являются:

- контроль по масляным пятнам;
- использование мыльного раствора;
- погружение в воду;
- галоидные течеискатели;
- технологии проникающего красителя;
- электронные течеискатели;
- ультразвуковые течеискатели;
- использование тепловизора.

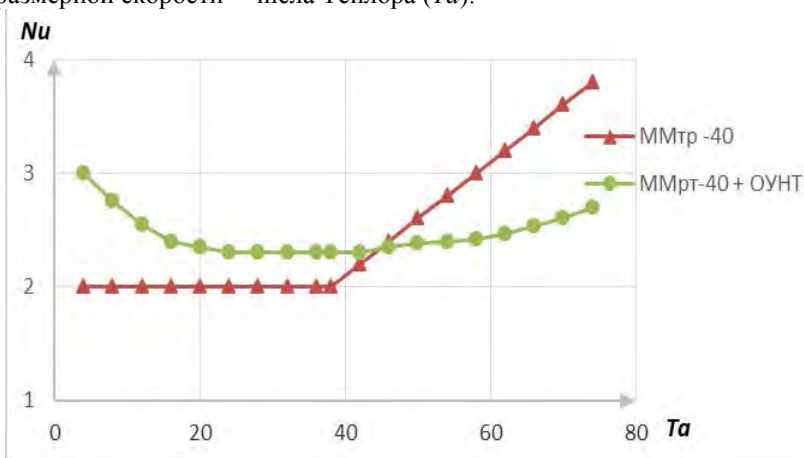
Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки, а также имеет ограничения по области применения. Подробный анализ способов обнаружения утечек будет рассмотрен в последующих статьях на эту тему.

Интенсификация теплообмена в куэтовском течении магнитной жидкости добавками углеродных нанотрубок

Лабкович О.Н., Лабкович Н.О., Погирницкая С.Г.
Белорусский национальный технический университет

В работе исследовалось влияние однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) на теплообмен в радиальном зазоре между цилиндрами, заполненном магнитной жидкостью, при вращении внутреннего цилиндра.

Использовалась магнитная жидкость на трансформаторном масле и магнетите с намагниченностью насыщения 40 кА/м , в которую добавлялись ОУНТ – немагнитные цилиндры – диаметром $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ и длиной до $0,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, коэффициент теплопроводности которых λ достигает 6600 Вт/мК . Радиальное магнитное поле в зазоре 400 кА/м . Тепловой поток Q создавался электрическим нагревателем на внутреннем цилиндре и через слой магнитной жидкости передавался на термостатируемый наружный цилиндр, термopарами измерялись температуры T_1 и T_2 на поверхностях цилиндров. Экспериментальные результаты представлены в виде зависимости числа Нуссельта (Nu) от безразмерной скорости – числа Тейлора (Ta).



Как видно из рисунка, добавка ОУНТ увеличивает теплообмен в зазоре на 50 %, затем эффект снижается до 20 % при ламинарном течении и приводит к снижению числа Nu в вихревой области течения. Таким образом, добавка ОУНТ является эффективным инструментом управления теплообменом при ламинарном течении магнитной жидкости.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

Комплекс мероприятий для повышения эффективности в системах вентиляции и кондиционирования

Янцевич И.В., Кальчук О.С.

Белорусский национальный технический университет

Большое значение при снижении энергопотребления в зданиях и сооружениях играет эффективное использование систем вентиляции и кондиционирования. Можно отметить основные мероприятия для повышения эффективности работы системы вентиляции и кондиционирования в зданиях и сооружениях:

- административное, составление руководств по эксплуатации, управлению и обслуживанию систем и контроль со стороны руководства за их выполнением;
- замена вентагрегатов на современные с более высоким КПД ;
- устранение дефектов, полученных при неквалифицированной сборке, монтаже и ремонтах вентиляционных установок;
- применение устройств автоматического регулирования и управления вентиляционными установками;
- теплоизоляция приточных воздуховодов, теплообменных аппаратов в системах вентиляции и кондиционирования;
- замена общего порядка систем вентиляции на местную индивидуальную рекуперативную систему вытяжек.

Для проведения большинства из перечисленных мероприятий, необходимо осуществить следующие действия, определить паспортные и реальные характеристики электроприводов, провести инструментальные обследование системы (давления, скорости потока, температуры наружного воздуха и воздуха в помещении, количество пыли).

Существуют различные пути повышения энергоэффективности при организации воздухообмена в помещении: традиционно и воздухораспределители, формирующие закрученные струи, для систем перемешивающей вентиляции и низкоскоростные воздухораспределители — для систем вытесняющей вентиляции. К воздухораспределителям, повышающим эффективность системы воздухообмена, формирующие закрученные приточные потоки отнесем:

- панельные воздухораспределители турбулизирующие с поворотными пластиковыми ячейками, расположенными в круглых отверстиях по концентрическим окружностям на панели;
- воздухораспределители панельные вихревые с поворотными направляющими ячейками, расположенными в прямоугольных отверстиях по радиальной схеме на панели.

Экспериментальное исследование влияния магнитофореза и броуновской диффузии в статической системе магнитожидкостной опоры

Баштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Климович С.В.¹, Кужир П.П.²
 Белорусский национальный технический университет¹
 Университет Ниццы-София Антиполис (Франция)²

Для изучения влияние магнитофореза и броуновской диффузии в статической системе магнитожидкостной опоры создана экспериментальная установка с нагруженным поршнем рисунок 1, Объем магнитной жидкости (МЖ) находящейся кювете (2), размещенной на немагнитной опоре (1). В объеме МЖ находится прямоугольный феррит-бариевые магнит (ФБМ) (3) с поршнем (4) из немагнитного материала Размеры ФБМ $10 \times 20 \times 5$ мм, характеристика создаваемого им неоднородного магнитно поля $B = 77,6$ мТ, $H = 61,7$ кА/м. Вес поршня 0,954 гр, с закрепленным на нем маяком (5). Поршень проходит через крышку кюветы (6) (для предотвращения испарения магнитной жидкости) играющую роль направляющей для поршня. На площадку поршня помещен набор гирь (7). Магнит плавает в объеме магнитной жидкости, не касаясь дна, положение магнита в жидкости фиксируется катетометром КМ-8 (8) с точностью до 0,01 мм по маяку. Относительное изменение положения феррит-бариевого магнита с нагруженным поршнем относительно дна кюветы в МЖ ММтр-31, показано на рисунке 2, где h_0 обозначено положение магнита относительно дна кюветы в начальный момент времени, h – в последующее время. Как видно из рисунка 2 изменение положения магнита в объеме МЖ при нагруженной опоре изменяется в течении 200-250 минут затем стабилизируется из за увеличения концентрации частиц МЖ вокруг феррит-бариевого магнита.

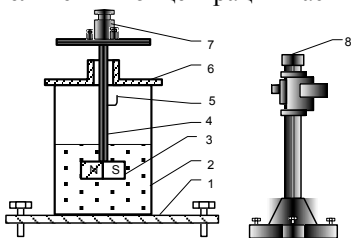


Рисунок 1

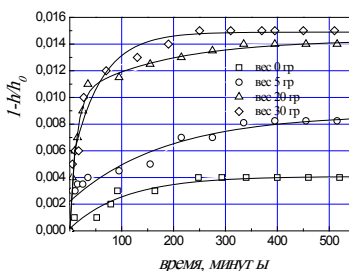


Рисунок 2

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Получение высокочистого кремния из моносилана

Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что отсутствуют какие-либо термодинамические и кинетические запреты и ограничения плазменного пиролиза моносилана при температуре выше температуры плавления кремния из газообразного состояния в жидкую фазу. При этом существует проблема загрязнения кремния продуктами эрозии плазмотрона и материала стенок реактора. Радикальным решением проблемы чистоты является формирование на рабочих поверхностях кремниевого гарнисажа, чтобы все рабочие поверхности были гарнисажеобразующими (гарнисаж – твёрдый защитный слой, образующийся при плавке на рабочей поверхности стенок металлургических агрегатов). Температурный режим анода, реактора пиролиз и конденсатора определяются балансом подведённой и отведённой теплоты с единицы поверхности. Он задан из условия поддержания гарнисажа кремния на всей рабочей поверхности, т.е. градиентом температуры на слое кремния. Перенос теплоты в оптимизированном реакторе осуществляется от газового потока в рабочем объёме через слой кремния заданной толщины, рабочую стенку реактора, ряда защитных покрытий и к охлаждающей воде. Для детального анализа следует рассмотреть задачу установившегося процесса охлаждения и конденсации паров и капель расплавленного кремния, полученных в результате взаимодействия моносилана с высокотемпературной плазменной струёй, состоящей из аргона и водорода, взятых в различных соотношениях. При этом необходимо учесть следующие процессы тепло- и массообмена: отвод теплоты через многослойную стенку, параметры которой можно задавать в процессе моделирования; охлаждение газового потока и изменение размеров расплавленных частиц кремния; образование потока расплавленного кремния; изменение температуры потока расплавленного кремния; образование и изменение по длине канала реактора толщины гарнисажа на поверхности канала; изменение общего количества расплавленных частиц, движущихся с газовым потоком. Изменение условий теплообмена паро-газовой смеси вдоль канала позволяет также исследовать процесс осаждения кремния на аноде плазмотрона и в реакторе пиролиза и конденсации. Режим охлаждения определяется выбором параметров изоляции и расходом охлаждающей воды. Так как процесс охлаждения за счёт отвода теплоты через стенку является относительно медленным, то можно рассматривать совокупность газового потока и потока расплавленных частиц как единую газовую фазу.

Особенности использования солнечной энергии в условиях Республики Беларусь

Милаш Е.А.¹, Милаш А.А.²

Белорусский национальный технический университет¹

Белорусский государственный экономический университет²

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 характеристики ФЭП

| Характеристики | Производитель | | |
|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | EcoENRG y | 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 4266,54 руб./кВт·ч. Современные конструкции эффективно воспринимают как прямое, так и рассеянное (диффузное) излучение, а увеличивая площадь конструкции можно создавать установки любой мощности.

**К вопросу о физической сущности акустомагнитного эффекта
в нанодисперсной магнитной жидкости**

Шабанова И.А., Стороженко А.М.

Юго-западный государственный университет, Курск, Россия

Возмущение намагниченности среды плоской звуковой волной как результат зависимости намагниченности среды от ее плотности при этом возмущении намагниченности сопутствует возмущение напряженности магнитного поля [1,2]. В работе [3] было получено выражение для возмущения намагниченности среды плоской звуковой волной. Индуцирование переменного электрического поля и ЭДС в проводящем контуре является весьма важным электромагнитным эффектом, вызванным распространением плоской звуковой волны в намагниченной магнитной жидкости [5]. В магнитном и ультразвуковом полях нанодисперсная магнитная жидкость (МЖ) приобретает новое свойство – излучение электромагнитной волны [4]. В процессе распространения в намагниченной МЖ акустической волны, за счет колебаний концентраций феррочастиц и температуры, а также кинетики агрегатов, в жидкостеносителе происходят возмущения намагниченности и размагничивающего поля. В результате их конкуренции наблюдается акустомагнитный эффект (АМЭ) – возникновение ЭДС индукции в катушке индуктивности, прижатой к стеклянной трубке, наполненной магнитной жидкостью. Этот эффект позволяет регистрировать акустические колебания и исследовать индукционным методом акустическое поле в МЖ. Работа выполнена при поддержке гранта президента РФ (МК-5703.2016.8).

Литература

1. Тарапов, И.Е. Звуковые волны в намагничивающейся среде / И.Е. Тарапов // ПМТФ. - 1973. - №1. - С. 15-22.
2. Пирожков, Б.И. Релаксационное поглощение звука в ферросуспензии / Б.И. Пирожков, М.И. Шлиомис // Матер. 9 Всесоюз. акуст. конф. Секция Г. – М.: Наука, 1977. – С. 123-126.
3. Полуниин, В.М. Релаксация намагниченности и распространение звука в магнитной жидкости / В.М. Полуниин // Акуст. журн. - 1983. – Т. 29. – №6. – С. 820-823.
4. Полуниин, В.М. Акустомагнитный эффект на магнитной жидкости в поперечном магнитном поле / В.М. Полуниин, М.В. Чистяков // Ультразвук и термодинамические свойства вещества: сб. тр. РАО. - Курск: КГУ, 2005. - С. 28 – 32.
5. В.М. Полуниин. Акустические свойства нанодисперсных магнитных жидкостей. М.: Физмалит.- 2012 г.

Роль возобновляемых источников энергии в энергосистеме Эстонии

Климович С.В., Карницкий А. Н.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день Эстонская Республика практически полностью обеспечивает свои потребности в энергии. Основные ресурсы, применяемые для производства тепловой и электрической энергии – горючие сланцы, также применяются возобновляемые источники энергии – биомасса, энергия ветра, гидроэнергия. На долю горючих сланцев приходится порядка 80-85% от общего количества, в последние годы наблюдается рост производства электроэнергии за счет использования энергии ветра и биомассы (в том числе при сжигании мусора).

Около 15 миллионов тонн сланца в год потребляют электростанции для производства энергии. Площадь залежей сланца в Эстонии – примерно 3000 км². Выработанная площадь – примерно 425 км². Пригодного к использованию сланца еще примерно 1–2 миллиарда тонн (по разным оценкам), 1 миллиард тонн сланца уже добыт. Энергетическая ценность используемого сланца 1900–2600 ккал/кг (8000–11000 кДж/кг).

Электрическая мощность, выдаваемая теплоэлектростанцией в Валке, работающей на биомассе, составляет 2 МВт, а тепловая 8 МВт. В 2013 году была запущена эффективная и экологичная станция совместного производства тепло- и электроэнергии, работающая на биомассе. Построенная в 2015 году станция комбинированного производства позволяет производить тепло- и электроэнергию из древесной щепы.

Возобновляемые источники, используемые для производства энергии в Эстонии, представлены ветром, биомассой и гидроэнергией.

Крупнейшие ветропарки Эстонии – Аулепа (48 МВт), Нарва (39 МВт), Пакри (22,5 МВт). Возможность производства электроэнергии на ГЭС оценивается в Эстонии в 30 МВт теоретически, из которых фактически используется только треть. Построено значительное количество микро-ГЭС. Эстонские гидроэлектростанции практически не влияют на крупномасштабное производство электроэнергии, крупнейшая ГЭС Линнамяэ – мощностью в 1,2 МВт.

Использование биомассы при наличие существенных местных запасов, делает ее интересной альтернативой для Eesti Energia. Прежде всего, изучаются возможности использования биомассы в уже работающих электростанциях, чтобы производить электроэнергию без вложения больших дополнительных средств.

Преимущества утилизации твердых бытовых отходов путем сжигания

Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Ежегодно каждый человек выбрасывает около 450 кг твердых бытовых отходов. Согласно данным некоммерческой организации Министерства жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь «Оператор вторичных материальных ресурсов», в 2015 г. на переработку было отправлено 592 тыс. тонн коммунальных отходов, что почти в два раза больше аналогичной цифры за 2010 г. – 328 тыс. тонн.

Однако даже после тщательного разделения и вторичного использования сырья, в среднем останется более 180 кг неиспользуемых отходов, которые чаще всего отправляются на полигоны для последующего захоронения. Альтернативный способ ликвидации не годных для вторичного использования и переработки отходов – их сжигание.

В первую очередь, сжигание позволит сократить массу и особенно объем захороняемых отходов. Так после термообработки только 10% от первоначального объема отходов останется в виде шлака, который будет складироваться на полигонах или использоваться в дорожном строительстве.

Также сжигание препятствует проникновению отравляющих веществ в почву, воды и воздух от полигонов, где хранятся необработанные твердые бытовые отходы. В процессе сжигания большая часть вредных веществ оседает или нейтрализуется на различного рода фильтрах при очистке дымовых газов.

И, конечно, нельзя не отметить факт энергетической ценности твердых бытовых отходов. Удельная теплота сгорания такого топлива близка к удельной теплоте сгорания бурого угля. Данная особенность позволяет использовать отходы в качестве топлива для получения тепловой, электрической энергии, а также для выработки холода.

Информационные системы и технологии

Коптевич Е.В., Пентегов В.В.

Белорусский национальный технический университет

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 системы управления контентом Content management system (CMS) в области агротуризма.

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 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.

Разработанная CMS обладает следующими возможностями:

- передача информации пользователю путем формирования страницы с нужным контентом;
- редактирование контента;
- редактирование мультимедийных материалов;
- редактирование данных пользователя;
- редактирование структуры сайта, путем изменения категорий и тэгов;
- редактирование и создание контактной информации прочих статических страниц;
- установка новых виджетов или баннеров.

Модули сайта представляют собой единое целое в виде информационной системы для обеспечения и организации совместного процесса создания, редактирования и управления содержимым, то есть Content management system (CMS), которая реализована на основе языка гипертекстовой разметки HTML5, каскадных таблиц стилей SCC3, скриптового языка PHP, СУБД MySQL и приложения PHPMyAdmin.

Модифицированные алгоритмы кодирования длин серий для сжатия полутоновых изображений

Аль-Бахдили Х.К., Томилин В.В., Конопелько В.К., Аль-Заиди З.Х.М.
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Для сжатия изображений широко используются алгоритмы JPEG и JPEG2000, основанные на энтропийном кодировании. Их недостатком является высокая вычислительная сложность. Для некоторых классов изображений, например, синтетических и сегментированных, может быть эффективен алгоритм кодирования длин серий RLE (Run-Length Encoding), основанный на учете повторов символов. Однако данный алгоритм ориентированный на сжатие данных и не учитывает вероятности повтора значений пикселей изображений.

Алгоритм RLE основан на подсчете числа повторов значений следующих друг за другом символов, может иметь блочную и поточную реализацию. Блочная реализация алгоритма RLE предполагает предварительное накопление кодируемых данных для их анализа и выбора параметров кодирования. Анализ производится на основе таблицы длин серий, в которой одному или нескольким одинаковым по значению и следующим друг за другом символам ставится в соответствие их количество.

Разработана модификация I2BN алгоритма кодирования длин серий RLE для сжатия изображений, основанная на учете вероятности повтора значений пикселей в строках. В процессе выполнения алгоритма строится таблица вероятностей повторов, в которой каждому значению длины серии ставится число таких серий.

Разработана модификация I3BN алгоритма кодирования длин серий RLE для сжатия изображений, основанная на учете вероятности повтора значений пикселей в строках. Алгоритм I3BN отличается от алгоритма I2BN использованием дополнительного символа, который принимает значение 1, если значение пикселя повторяется в третий раз подряд, и принимает значение 0, если третий повтор значения пикселя отсутствует.

Экспериментально установлено, что минимальный размер кода обеспечивает алгоритм I3BN (в 1,2–1,3 раза меньше по сравнению с алгоритмом RLE). При этом вычислительная сложность алгоритма I3BN незначительно увеличивается по сравнению с RLE и I2BN, близким ему по эффективности кодирования. Для тестирования использовались спутниковые полутоновые изображения морской поверхности, городских кварталов, горных массивов, полей и лесов.

Контурный анализ в текстурной сегментации изображений

Альзаки Х.М., Цветков В.Ю., Махмуд М.Б., Карбалаи С.Х.
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Повышение пространственного разрешения видеокамер приводит к увеличению количества текстурных областей, выделяемых на изображениях. Коэффициенты сжатия текстурных изображений значительно меньше коэффициентов сжатия изображений, содержащих однородные по яркости области. Поэтому актуальной является проблема повышения эффективности сжатия текстурных изображений, решение которой требует, прежде всего, локализации текстурных областей. Это, в свою очередь, делает актуальной задачу текстурной сегментации. Если в результате текстурного анализа необходимо определить тип (класс) текстуры или различить несколько текстур, то в результате сегментации необходимо найти границу разделения текстурных областей. Несмотря на данное различие, для текстурного анализа и текстурной сегментации используются общие методы, например, энергетические карты. Их недостатком является высокая вычислительная сложность и разделение простых текстур с высокой степенью однородности. В ряде работ предлагается использовать контурные элементы изображений для текстурного анализа. Однако данные подходы основаны на небольшом наборе контурных примитивов и достаточно грубой статистической оценке, что приводит к значительным ошибкам сегментации.

Разработан метод текстурной сегментации изображений на основе классификации контурных элементов и логического сложения классов. Сущность метода состоит в контурной обработке исходного изображения, определении положения на изображении контурных элементов различного типа, преобразовании близко расположенных друг к другу однотипных контурных элементов в площадные объекты, двоичном кодировании взаимного расположения полученных площадных объектов в границах исходного изображения, сегментации полученной кодовой матрицы.

Для оценки точности методов текстурной сегментации использованы базы текстурных изображений Brodatz (170 изображений) и UIUCTex (175 изображений). На их основе сформированы 30 тестовых изображений, в которых левая и правая половины образованы однородными текстурными изображениями из этих баз. С помощью этих тестовых текстурных изображений установлено, что предложенный метод по сравнению с методом на основе энергетических карт обеспечивает уменьшение ошибки сегментации однородных текстурных изображений в 2,3 раза.

**Прогрессивный алгоритм волнового выращивания областей
для сегментации изображений**

Альмияхи О.М., Конопелько В.К., Аль-Гертани К.М., Аль-Аббуди А.А.
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Сегментация изображений широко применяется в обработке изображений. Известные методы сегментации, основанные на формировании областей с использованием водораздела, квантования по гистограмме, разделении и слиянии областей с использованием квадрата-дерева, выращивании областей, не эффективны для обработки изображений с плавными перепадами яркости в режиме реального времени. Для сегментации изображений разработан прогрессивный алгоритм на основе волнового выращивания областей. Алгоритм осуществляет квазипараллельное выращивание областей вокруг выбранных начальных точек роста, что обеспечивает автоматическое разделение областей с плавным перепадом яркости, которые известные методы сегментируют с ошибками.

В результате выполнения данного алгоритма формируется матрица сегментации, значение каждого элемента которой указывает на номер сегмента, которому принадлежит пиксель сегментируемого изображения с соответствующими координатами. С каждым циклом перебора выращиваемых областей размеры сегментов постепенно увеличиваются, в чем проявляется прогрессивный характер сегментации, осуществляемой разработанным алгоритмом.

В случае прерывания алгоритма (например, при поиске мелких объектов) часть изображения останется несегментированной, однако будут найдены все доминирующие центры областей и эти области будут равномерно сегментированы. Это позволяет при необходимости а) интерполировать несегментированные области; б) предсказать положение границ в несегментированных областях; в) определить число, местоположение и оценить размеры объектов интереса.

Установлено, что разработанный алгоритм выигрывает в скорости сегментации до 4 раз и 40 раз по сравнению с алгоритмами сегментации на основе выращивания областей и разделения и слияния областей при размере изображения 128x128 пикселей, проигрывает в скорости сегментации до 5 раз и 2,5 раз по сравнению с методом сегментации на основе выращивания областей при размерах изображений 512*512 и 1024*1024 пикселей соответственно.

**Особенности моделирования режима сканирования по дальности
в двухкоординатном измерителе со сверхбыстрым
сканированием луча**

Аникеев С.В., Куренёв В.А.
Военная академия Республики Беларусь

В режиме сканирования достаточно узкий слой видимости сканирует в некотором диапазоне дальностей, перекрывающем диапазон d возможных значений дальности до пеленгуемой цели. На вход приемника радиолокатора поступает периодическая последовательность пачек импульсов. Задержка пачки импульсов относительно исходного слоя видимости отслеживается с помощью соответствующей электронной схемы.

Комплексный закон модуляции сигнала, определяющийся сканированием слоями видимости обозначим в виде функциональной зависимости

$$\dot{G}_d \left(\frac{t - \tau_d}{T_n} \right), \quad (1)$$

где $\tau_d = r_d / V_d$ – время задержки пачки относительно начала сканирования слоями видимости по дальности; r_d – дальность до цели относительно исходного положения слоя видимости перед сканированием; $V_d = d / T_d$ – скорость сканирования по дальности; $d = c\tau_n / 2$ – длительность элемента разрешения, обеспечиваемая импульсом передатчика; T_d – период сканирования слоями видимости по дальности; T_n – длительность пачки сигналов.

При сканировании слоями видимости по дальности на входе приемной системы будет приниматься периодическая последовательность пачек сигналов, имеющих форму (1) и задержанных относительно начала сканирования на время, зависящее от угловой координаты цели $\tau_d = T_d \theta_n / \Phi$.

Применяя метод сканирования по дальности, сигнал дополнительно модулируется законом, зависящим от направления на цель, т.е. становится более информативным, что приводит к увеличению точности измерения угловой координаты.

Синтез контура управления самонаводящейся ракеты при учете динамики измерительного устройства

Бабченко А.А., Шабан С.А., Еромин А.М.
Военная академия Республики Беларусь

Повышение точностных характеристик систем самонаведения ракет в условиях интенсивного маневренного и информационного противодействия со стороны противника является актуальной научной и прикладной задачей.

Уменьшить промах можно различными способами. Одним из способов является повышение точности оценивания угловой скорости визирования линии ракета-цель. Для уменьшения промаха применяются методы наведения, обеспечивающие получение траекторий с небольшой кривизной и, следовательно, с небольшим уровнем потребных нормальных ускорений ракеты. В системах самонаведения таким методом является пропорциональное наведение.

Недостатком данного метода является большой расход нормальных ускорений ракеты при маневре воздушной цели, обусловленный относительно медленной реакцией скорости вращения линии ракета-цель на маневр цели в точке встречи [1]. Можно ускорить парирование маневра цели, введя в закон управления автопилота ракеты дополнительное слагаемое, пропорциональное оценке нормального ускорения цели и измеряя головкой самонаведения ракеты угол визирования линии ракета-цель.

По результатам синтеза, в среде визуального моделирования MATLAB (SIMULINK), авторами разработана математическая модель контура управления самонаводящейся ракеты с учётом динамики измерительного устройства.

Взаимное положение ракеты и цели смоделировано с помощью кинематических уравнений относительного пространственного движения. Разработанная модель позволяет проводить анализ динамических свойств контура управления ракетой, нормальных ускорений и точности наведения на маневрирующую цель.

Литература

1. Кун, А.А. Основы построения систем управления ракетами: в 3 ч. Ч.1. Основы ракетодинамики и кинематики наведения ракет / А.А Кун, В.Ф. Лукьянов, С.А. Шабан; под ред. А.А. Куна. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Изд. акад., 2001. – 131 с.

**Программный модуль для поиска и редактирования информации
в базе данных на языке С#**

Буглак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Бурно развивающиеся в наше время информационные системы и технологии позволяют существенно облегчить человеку введение работ по хранению и обработки больших объемов информации, контролю и планированию деятельности в различных областях средствами ЭВМ. Это позволяет автоматизировать многие информационные процессы, организовать эффективную работу.

Для решения задачи эффективного поиска и редактирования информации был разработан модуль для поиска и редактирования информации в базах данных при помощи современного языка программирования С#, который удобен для использования и имеет широкое распространение.

Данный модуль избавляет пользователя от рутинной работы по обработке небольших баз данных, содержащих информацию о некоторых документах, и позволяет легко обращаться с базой данных, осуществлять необходимый поиск по базе данных, просматривать её содержимое в удобном виде в реальном времени, что особенно важно при стремительно возрастающем объеме информации, которую необходимо обработать в короткое время.

Благодаря разработанному модулю, в базу можно добавить необходимые данные, и наоборот, ненужные данные можно из базы удалить. Содержимое базы данных можно сортировать по любому из полей как по убываю, так и по возрастанию. После внесения всех необходимых изменений в программе, данные обновляются и в самой базе данных.

Важной особенностью данного модуля является возможность сохранения документов в разных форматах. Например, можно сохранить базу данных в формате "xls", с которым работает известный программный пакет Microsoft Office Exel.

Также можно сохранить необходимые данные в популярном формате PDF, HTML (при этом документ сохранится как обычная интернет-страница в удобном для просмотра виде), Access (для работы с базой данных через СУБД MS Office Access) и "doc", с которым работает Microsoft Office Word. Имеется возможность и обычного сохранения в исходном формате базы данных.

Развертывание цифровой АТС в виртуальной среде для обучения современным протоколам сигнализации в системах связи

Волченков Д.В., Албигарби Х.А.Х.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Виртуализацию систем необходимо применять там, где важна работа гетерогенных систем на одном физическом ресурсе с возможностью масштабирования используемых приложений. Гипервизоры, динамически распределяющие ресурсы из общей кучи для изолированных программных контейнеров, позволяют виртуальным машинам безопасно взаимодействовать с аппаратным обеспечением, а также хостовой операционной системой. Таким образом, это делает виртуальную машину хорошим средством для обучения информационным технологиям: в гостевых операционных системах возможно применение любых конфигураций и установка приложений без риска негативного влияния на хост.

Развитие NGN (“all IP”-сетей) в мире сегодня происходит чрезвычайно активно, поэтому важно поддерживать учебные программы и материалы актуальными. Сигнальные протоколы, такие как SIP (Т, I), H.248, и т.п. в сетях VoIP применяются во всех сетях передачи данных, от малых офисных, до глобальных, поэтому отладка их взаимодействия – типовая задача современного инженера по телекоммуникациям. Виртуализация систем и приложений также занимают прочную нишу в промышленном секторе. Как правило, современное телекоммуникационное оборудование представляет собой программные комплексы, размещённые на производительном аппаратном обеспечении со специфическими интерфейсами. Использование в лабораторных работах бесплатной цифровой АТС Asterisk, установленной на хостовую операционную систему на базе обычного ПК с помощью гипервизора VirtualBox, позволяет с минимальными затратами познакомить обучающихся с работой сразу нескольких перспективных технологий: виртуализации и пакетной голосовой связи и её отладки путём снятия трейсов трафика. Установленный с помощью данного гипервизора на хостовую систему под ОС Windows образ с цифровой АТС Asterisk, собранный на базе серверной операционной системы CentOS показал себя как стабильное решение, позволяющее запустить голосовую АТС в локальной сети, совершить демонстрационный звонок с помощью телефонов Cisco 7962G, а также снять и проанализировать трейс сигнальной и голосовых сессий трафика с интерфейса на хостовой системе.

Реконструкция изображения молочной железы методами ФОП и БИР

Золотарев С.А., Мирзаванд М.А.
Институт прикладной физики НАН Беларуси
Белорусский национальный технический университет

В ряде работ показано, что использование технологии томосинтеза может значительно сократить эффект "камуфляжа", являющийся следствием наложения друг на друга тканей молочной железы в реконструируемых трехмерных изображениях, и улучшить обнаружение поврежденных участков. Однако следует заметить, что можно обеспечить улучшенное качество реконструкции с помощью использования более передовых реконструктивных томографических алгоритмов. Мы выбрали для сравнения стандартный метод фильтрованных обратных проекций (ФОП) и новый перспективный метод Байесовой итерационной реконструкции (БИР).

Проекционные данные для нескольких пациентов были получены из медицинского центра Мангейма (Германия), относящегося к Гейдельбергскому университету, от профессора Юргена Хессера. Для пациента было собрано два набора проекционных данных: первый набор был собран для левого краниокаудального вида (L-CC), а второй набор проекционных данных был собран для медиолатерального косо́го вида (L-MLO).

Результаты реконструкции характерных слоев трехмерных изображений молочной железы, полученные для стандартной реконструкции методом ФОП, и при использовании метода статистической итерационной реконструкции методом БИР показаны на рисунке ниже.

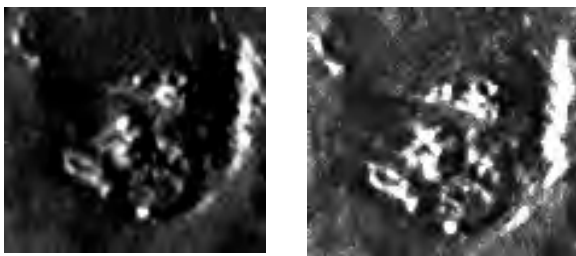


Рисунок 1. – Сопоставление области 1, содержащей кальцификаты, для изображений характерного слоя, реконструированных методом ФОП (слева) и методом БИР (справа)

Параллельная реконструкция изображений алюминиевых отливок с использованием графических процессоров

Золотарев С.А., Мирзаванд М.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси
Белорусский национальный технический университет

Для контроля алюминиевых отливок сложной формы в настоящее время, как правило, применяют промышленную рентгеновскую томографию. Использование реконструированных трехмерных изображений литейных изделий позволяет не только осуществлять эффективный контроль формы изделий и наличия в них дефектов, но и оказывает принципиальное влияние на промышленные технологии производства сложных изделий машиностроения, замкнув технологический цикл производства в цепочку: автоматизированное проектирование – автоматизированное производство – автоматический контроль.

Среди многоядерных процессоров с параллельной архитектурой в настоящее время наиболее известны графические процессоры GPU (Graphics Processing Unit) и центральные процессоры CPU типа IBM CELL и Intel Core. В течение последнего десятилетия наиболее динамично развивались GPU. Поэтому в сейчас рассматриваются в первую очередь именно GPU как устройства, способные значительно ускорить процесс итерационной томографической реконструкции.

На нижерасположенном рисунке показано перспективное изображение алюминиевого поршня, реконструированного при помощи параллельной реконструкции с использованием графического процессора. Размерность трехмерного изображения объекта составляет 700x700x700 вокселей. Физический размер вокселей – 200 мкм.

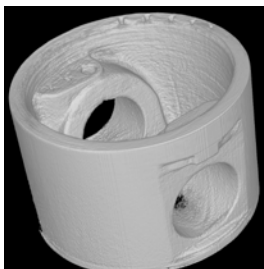


Рисунок 1. – Реконструированное изображение алюминиевого поршня с искусственными дефектами (сверлениями)

Автоматизированная система складского учета

Кириков А.С.

Белорусский национальный технический университет

Оперативная информация в режиме реального времени, анализ данных по нескольким складам – мощный управленческий ресурс, который возможен только при автоматизированной системе складского учета. В большинстве своем существующие программы очень неудобны, достаточно сложные и слишком громоздки, их нелегко интегрировать в существующую информационную сеть предприятия.

Работа с платным программным обеспечением требует регулярных финансовых вложений: для установки, дальнейшего обслуживания и обновления. Для маленьких компаний это довольно серьезная статья расходов, поэтому они предпочитают бесплатные складские программы с ограниченными возможностями.

Цель работы: разработка автоматизированной системы складского учета с простым интерфейсом и широким набором функций, которая позволит существенно ускорить получение необходимой информации, а так же сократить издержки предприятий по приобретению дорогостоящих универсальных программ.

В предлагаемом программном продукте используются новые возможности для минимизации ручного ввода информации и увеличения производительности системы в целом – шаблоны выполнения складских операций (предварительная группировка данных, доступных пользователю на форме ввода).

Работа пользователя с данными напрямую связана с правами доступа, которые ему определил администратор. При работе в программе происходит сохранение информации, что может быть важным для анализа ошибок при получении и выдачи товара, передачи служебной информации.

За счет того, что база данных хранится в формате SQL, имеется возможность использовать штатные средства SQL- сервера по резервированию баз данных.

Кроме того, предлагаемый программный продукт имеет понятный современный пользовательский интерфейс с минимумом кнопок и максимумом возможностей, все действия пользователя являются обратимыми, имеется гибкая система настройки доступа к справочникам и другим документам, имеется возможность вывода всех документов на печать.

Анализ методов геометрической параметризации линий на изображениях

Кирилюк Д.И., Костусев А.В., Кулаженко Ю.И.
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

В настоящее время в связи с развитием мобильных систем наблюдения специального назначения стоит актуальная задача – обработка изображений в реальном масштабе времени. Для ее решения широко используются методы, которые учитывают распределение градиента яркости в окрестностях реперных точек. Однако, в условиях проекционных искажений эффективность градиентного подхода снижается. Устранение данного недостатка возможно за счет геометрического подхода. Геометрические методы применялись в задачах для обработки изображений, имеющих искусственную природу (например, печатные платы, детали конструкций, САПР). Поэтому актуальной задачей в настоящее время является модернизация существующих геометрических методов и создание новых методов для обработки изображений, имеющих естественный характер (например, спутниковые, ландшафтные). Целью настоящей работы является теоретический анализ методов геометрической параметризации линий на изображениях.

Основными требованиями к дескрипторам линий являются: устойчивость к проективным преобразованиям; устойчивость к шуму; высокая скорость формирования; произвольность формы кривой. Теоретический анализ показал, что для решения поставленной задачи, с учетом вышеуказанных требований, наиболее эффективны методы на основе Фурье-дескрипторов, сигнатур или цепных кодов.

Методы на основе Фурье-дескрипторов используют дискретное преобразование Фурье конечной последовательности комплексных чисел (координаты точек рассматриваются как комплексные числа), позволяют по коэффициентам преобразований восстановить линию.

Сигнатуры – одномерные функции, взаимно-однозначно определяющие кривую линию, строятся относительно некоторой фиксированной точки (центра). Особенностью цепных кодов является кодирование направлений и длин прямых отрезков линии.

Вычислительная сложность вышеназванных методов примерно одинаковая. Методы на основе Фурье-дескрипторов устойчивы к повороту, параллельному переносу. Устойчивость методов на основе сигнатур и цепных кодов зависит от выбора фиксированной (начальной) точки.

Разработка программного обеспечения для моделирования складского манипулятора

Павлова В.Л., Напрасников В.В., Боровок О.А., Ермилов В.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе была поставлена задача по созданию программы на языке APDL, предназначенной для анализа напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкции складского манипулятора (рисунок 1).

На основе созданной программы рассчитаны перемещения, напряжения, формы потери устойчивости и коэффициенты запаса по устойчивости для первых четырех форм, возникающие в элементах конструкции при действующих рабочих нагрузках.

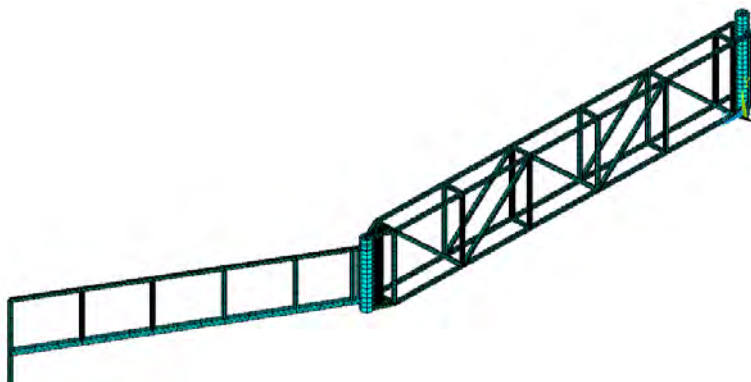


Рисунок 1. - Балка при угле поворота 30 градусов

Анализ результатов показывает, что для рационального варианта

- При увеличении угла поворота второй секции максимальные перемещения на конце стрелы увеличиваются и достигают суммарной величины 0,11м,
- При увеличении угла поворота второй секции максимальное сжимающее напряжение в конструкции увеличивается и составляет $S_3 = -0,53 \cdot 10^8$ Па,
- При увеличении угла поворота второй секции максимальное сжимающее напряжение по теории прочности Мизеса в конструкции увеличивается и составляет $0,63 \cdot 10^8$ Па,
- Коэффициент запаса потери устойчивости по первой форме для угла 90 градусов составляет 667, потеря устойчивости для рассматриваемого варианта не произойдет.

**Особенности алгоритмов комплексной адаптивной фильтрации
в задачах инерциально-спутниковой навигации**

Мороз А.Н., Сидорович О.В., Бабченко А.А.
Военная академия Республики Беларусь

Для синтеза динамических систем, учитывающих случайный характер динамики подвижных объектов, широкое применение получил адаптивный подход [1]. При адаптивном подходе система фильтрации будет представлять собой набор фильтров, в структуру каждого из которых заложена априорная информация на оптимальное выделение параметра. В зависимости от способа организации взаимодействия фильтров, можно выделить следующие системы адаптивной фильтрации [2]: автономная многомодельная (Autonomous Multiple-Model (AMM)); обобщенная псевдобайесовская первого порядка (First-Order Generalized Pseudo-Bayesian (GPB1)); обобщенная псевдобайесовская второго порядка (Second-Order Generalized Pseudo-Bayesian (GPB2)); многомодельная с организацией взаимодействия (Interacting Multiple-Model (IMM)).

В адаптивной AMM системе фильтрации взаимодействие фильтров не производится. В адаптивной GPB1 системе фильтрации организация взаимодействия фильтров заключается в замене условных оценок и матриц дисперсий ошибок фильтрации итоговыми оценками и матрицами ошибок фильтрации. Система GPB2 состоит из M_2 фильтров, которые работают параллельно, а оценка вычисляется по каждой модели на текущем и предыдущем шаге. В адаптивной IMM системе фильтрации оценка и матрица дисперсий каждого фильтра взвешивается по результатам работы других фильтров.

На основе моделирования алгоритмов AMM, GPB1, GPB2, IMM можно сделать следующие выводы: 1) использование многомодельных алгоритмов с организацией взаимодействия фильтров в навигационных задачах подвижных объектов является целесообразным; 2) точность оценок вектора состояния зависит от вида взаимодействия и наилучшие точностные показатели имеет алгоритм GPB2, худшие показатели качества AMM; 3) по соотношению «качество-быстродействие» наиболее приемлемым является использование алгоритма IMM.

Литература

1. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем / А. И. Перов. – М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
2. Li X. R. A Survey of Maneuvering Target Tracking. Pt. V: Multiple-Model Methods / X. R. Li, V. P. Jilkov // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. – Nov 26, 2003. – 58 p.

Современные методики регистрации экзопланет на службе информационных технологий

Пискунов П.В., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

Идея о том, что раз вокруг нашего Солнца крутятся планеты, значит, должны существовать планеты и вокруг других звезд, появилась давно. Сейчас именно такие планеты называются экзопланетами — extra solar planet (внесолнечные планеты). Люди давно начали думать, как можно открыть планеты у других звезд. Это трудно сделать по двум причинам: во-первых, сама планета имеет относительно небольшие размеры, светит очень плохо и только отраженным светом, заметить ее трудно, и во-вторых, еще труднее ее заметить, потому что она находится рядом с очень яркой звездой.

Первая экзопланета у звезды типа Солнца была открыта методом Доплера: планета, вращаясь вокруг звезды, немного заставляет звезду двигаться, и это можно заметить. Получая спектр звезды с очень высокой точностью, можно увидеть спектральные линии, если звезда движется к нам, то все линии смещаются в синюю область спектра, если от нас, то в красную.

Второй способ открытия экзопланет заключается в следующем. Наблюдая Солнце, можно увидеть, как Венера или Меркурий проходят по диску Солнца. В этот момент самой планеты не видно, также не видно никакого темного пятна на звезде, но блеск звезды немного падает. Действительно немного — это может быть одна десятитысячная или несколько десятитысячных. Если это происходит периодически, то единственно разумная причина — это про-хождение планеты по диску звезды. Такие планеты называют транзитными, а само явление — транзитом, и это очень хороший способ открытия экзопланет. Такие наблюдения обычно проводят из космоса.

Именно таким способом спутник Kepler уже достаточно надежно открыл почти тысячу экзопланет. Есть несколько тысяч очень надежных кандидатов, из которых 90% с течением времени будет подтверждено. Сегодня – это два основных способа открытия экзопланет, но есть еще несколько довольно интересных.

Поиск и открытие экзопланет сулит большую выгоду и не только техническую, но и поможет дать ответ на вопрос каким образом зародилась наша Солнечная система и как развивалась и что ждет ее в будущем.

Результаты космических исследований в информационных технологиях и инновационных проектах

Пискунов П.В., Новиков С.О.

Белорусский национальный технический университет

Астрономия — это уникальная наука, где мы можем только наблюдать, единственная естественная неэкспериментальная наука. Эксперименты ставит природа, а мы смотрим, как она это делает. Вселенная невероятно большая, и если нужно изучать какие-то процессы в такой лаборатории, то необходимо изучать астрологические, астрономические и космологические явления. Самая большая обсерватория по изучению космических лучей - это обсерватория Пьера Оже в Аргентине. Там стоит более 1000 наземных детекторов, и 24 наземных телескопа, которые просматривают область над детекторами на предмет оптических вспышек от частиц, которые влетают в атмосферу. Цель обсерватории в том, чтобы изучать частицы очень высокой энергии в миллиарды раз больше, чем на большом адронном коллайдере. Проект “Аманда”, в Антарктиде помог обнаружить нейтрино, благодаря тому, что они плохо взаимодействуют с веществом они могут пролетать там, где больше ничего пролететь не может. Обнаружение данных частиц помогло узнать, как Солнце выглядит внутри. Один из самых дорогих проектов в астрономии - это телескоп им. Хаббла. Снимки телескопа дают уникальную информация о внегалактических объектах. Космос всегда был дорогим удовольствием, и в нормальной ситуации каждая идея, прежде чем получить желаемое финансирование, должна пройти очень жесткий отбор, выдержав критику экспертов и заинтересованного сообщества. Примером может служить конкурс перспективных космических миссий, проводимый в последние годы Европейским Космическим Агентством. По его результатам в ближайшие двадцать лет будет создан десяток космических аппаратов, предназначенных для решения очень широкого круга научных задач. Если посмотреть на космические программы с точки зрения и стратегии, и тактики, нужно, следующее. Во-первых, нужно всемерно стремиться сократить стоимость доставки грузов на орбиту и отрабатывать технологии сборки всего, что нужно, на орбите. Во-вторых, нужно всячески расширять использование спутниковых технологий. В-третьих, нужно сделать бытом присутствие человека в околоземном пространстве. В-четвёртых, нужно сделать рядовым событием полёты человека за пределы околоземного пространства. В-пятых, нужно расширять «географию» полётов по Солнечной системе для автоматических станций.

**Развитие информационных технологий и будущее
экзопланетных исследований**

Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Большая часть экзопланет и огромное число кандидатов в экзопланеты открыты с помощью спутника «Кеплер». При этом удастся определить радиус экзопланеты, но не массу. Для изучения планет нужно знать и их массу, и радиус. Поэтому очень важно осуществлять программы по определению масс экзопланет, которые уже открыты спутником «Кеплер». Делать это проще, поскольку известно, с каким периодом движется экзопланета, а также, когда звезда должна двигаться к вам, когда от вас, и проще выделить очень слабый сигнал на фоне различных шумов. Тем не менее разрабатываются специальные программы, строятся новые инструменты, в том числе для крупных телескопов, основная задача которых — определять массы экзопланет, обнаруженных «Кеплером». Планируется запуск специального спутника, который называется *Cheops*, он будет определять радиусы тех экзопланет, для которых уже измерены их массы. Следующий большой проект, следующий спутник, который придет на смену «Кеплеру», называется *TESS*. Он будет так же, как «Кеплер», искать экзопланеты около близких, достаточно ярких звезд. Но будет принципиальная разница в методике наблюдений. «Кеплер» смотрел все время в один и тот же кусочек неба и наблюдал несколько сот тысяч звезд. Теперь же задача состоит в том, чтобы искать экзопланеты по всему небу, но выбирая достаточно яркие близкие звезды по очень хорошей причине: *TESS* должен полететь в 2017 году, и, если все будет хорошо, в это время будет работать следующий космический телескоп — телескоп имени Джеймса Вебба. Следующий большой европейский космический проект — *PLATO*, и он предназначен для поиска большого количества планет типа Земли. Но космические аппараты, на мой взгляд, за исключением космического телескопа следующего поколения, — это все-таки аппараты для открытия, а не аппараты для детального изучения. Дело в том, что экзопланеты — объекты слабые, и, соответственно, от них поступает мало света. Для более детальной информации нужно ловить много фотонов. Для этого нужны большие телескопы, которые предназначены именно для того, чтобы собрать много света, весь его направить в прибор, который будет что-то изучать, например, в спектрограф, и получить детальный спектр. Поэтому очень важно, чтобы развивались большие наземные инструменты в виде телескопов и систем обработки информации с большой производительностью.

**Метод сжатия мультиспектральных изображений
на основе комбинированного энтропийного кодирования**

Садик Б.Дж., Бобов М.Н., Жад И., Алкалби А.С.Д.
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Развитие бортовой аппаратуры дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) связано с повышением ее пространственного и спектрального разрешения, а также увеличением битовой глубины изображений. Перспективные разработки ориентированы на формирование с частотой около 1 Гц мультиспектральных изображений (МСИ), включающих несколько сотен спектральных каналов, каждый из которых содержит 16-ти разрядное изображение размером около 2000x4000 пикселей. В таких условиях скорость формирования данных ДЗЗ может достигать 40 Гбит/с. Это является проблемой, как для передачи, так и для хранения МСИ, т.к. требует согласования скорости формирования МСИ с пропускной способностью радиоканала «борт-Земля» (ограничен в настоящее время 10 Гбит/с) и емкостью бортовой памяти (10 минут записи МСИ требуют около 3 Тбайт памяти). Кроме того, требуется, как правило, сжатие МСИ без потерь. При этом скорость сжатия должна быть согласована со скоростью формирования МСИ, что требует использования быстродействующих алгоритмов эффективного кодирования.

Разработан метод сжатия МСИ на основе комбинированного энтропийного поразрядного кодирования межканальных разностей. Сущность метода состоит в вычислении поразрядных разностей (логического «Исключающего ИЛИ») соседних спектральных каналов МСИ, исключения из процесса кодирования младших битовых плоскостей, группирования старших и средних битовых плоскостей и их отдельного энтропийного кодирования с использованием различных методов. Предложенный метод может быть реализован с помощью алгоритмов трехуровневого последовательного или блочного поразрядного кодирования межканальных разностей. Оба алгоритма предполагают возможность прогрессивной передачи и декодирования, когда кодируются, передаются и декодируются сначала старшие битовые плоскости, затем – средние, а затем – младшие. При этом обеспечивается возможность предварительного просмотра содержимого спектральных каналов МСИ в низком разрешении. Установлено, что двухуровневое поразрядное межканальное энтропийное кодирование обеспечивает увеличение коэффициента сжатия МСИ в 1,62 раза по сравнению с попиксельным поканальным эффективным кодированием.

Программное обеспечение инженерно-штурманских расчетов полета беспилотного летательного аппарата малой дальности

Куприянов А.Б., Наумёнок А.Л.

Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов НАН Беларуси

Инженерно-штурманский расчет (ИШР) полета беспилотного летательного аппарата (БЛА) включает определение рубежей возврата БЛА по запасу энергии бортовой аккумуляторной батареи (АКБ) и по дальности прямой радиовидимости, времени прибытия в каждую точку маршрута и достижимость каждой из точек маршрута при полете по маршруту. ИШР можно разделить на предварительный (до старта БЛА) и текущий (во время полета).

В предварительном ИШР требуется по заданным координатам точек старта, точек маршрута и точки посадки БЛА рассчитать и отобразить на электронной карте местности (ЭКМ) рубежи возврата, достижимость каждой из точек маршрута и время прибытия в них с учетом прогнозируемых скорости и направления ветра в зоне полета.

В текущем ИШР требуется рассчитать и отобразить на ЭКМ рубеж возврата БЛА в заданную точку по реальному остаточному заряду АКБ, оставшееся время полета и оставшееся время до прибытия в каждую точку маршрута полета.

Разработанное программное обеспечение позволяет решать поставленные задачи с приемлемой для штурманских расчетов точностью при использовании метеоданных только в точке старта и пересчете их по высоте полета БЛА.

Экспериментальная проверка точности ИШР проводилась по десяти кратному пролету маршрута БЛА с оценкой расчетного и экспериментального времени прибытия БЛА в соответствующие точки маршрута. В результате эксперимента было установлено среднее значение отклонения расчетного времени прибытия в точку маршрута от экспериментального, которое составило 2 секунды. Максимальное отклонение расчетного времени прибытия в точку маршрута от экспериментального не превышало 10 секунд, что соответствует требованиям, предъявляемым к БЛА данного класса.

Полученные экспериментальные значения показали, что разработанное программное обеспечение для ИШР позволяет производить необходимые штурманские расчеты с точностью достаточной для обеспечения полета БЛА малой дальности.

Метод масочной нормализации линий по толщине

Шевчук О.Г., Цветков В.Ю.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

При параметризации и идентификации линий и замкнутых объектов тонкие границы дают значительно лучший результат. Поэтому после применения операторов выделения границ (Канни, Робертс и др) необходимо подвергать выделенные линии дополнительной обработке – скелетизации. В результате скелитизации происходит удаление всех избыточных контурных пикселей и формируются контурные линии толщиной в один пиксель.

Широко используемые методы скелетизации, такие как алгоритм Зонга-Суня, шаблонная скелетизация, волновой метод, алгоритм Щепина, обеспечивают максимальное утончение контурных линий. Однако данные подходы не эффективны для скелетизации контурных линий, имеющих толщину несколько пикселей, так как ориентированы на обработку площадных объектов любого размера, и поэтому используют итеративные алгоритмы удаления избыточных контурных пикселей до достижения требуемой толщины линии, что приводит к росту времени контурной обработки.

Для сокращения времени контурной обработки контурных линий, имеющих толщину несколько пикселей, можно использовать нормализацию линий по толщине, которая основана на обработке формы линий и не итеративных алгоритмах.

Цель – разработка метода нормализации контурных линий по толщине.

Предлагается метод нормализации контурных линий по толщине на основе масочного анализа ориентации связанных и удаления избыточных контурных пикселей. Метод позволяет повысить скорость контурной обработки за счет однократного анализа каждого пикселя по сравнению с известными методами скелетизации, использующими многократную обработку пикселей. Сущность метода заключается в классификации фрагментов контурной линии с помощью масок, определении избыточных контурных пикселей в этих фрагментах и их удалении.

Предложенный метод превосходит по быстродействию алгоритм Зонга-Суня. К недостаткам метода относится невозможность его применения к линиям толщиной более 3 пикселей, на что направлены основные методы скелетезации. Однако данный метод специально разработан для удаления избыточных пикселей выделенной линии.

Метод выделения прямых линий на основе форм-фактора

Шевчук О.Г., Волков К.А.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Методы обработки перекрывающихся изображений (наложение, сравнение, построение панорам и т. д.) основаны на локализации реперных элементов. Наиболее эффективные методы локализации реперов, такие, как SIFT и SURF, используют характерные точки. Это позволяет снизить вычислительную сложность сопоставления изображений по сравнению с корреляционными методами, однако приводит к низкой устойчивости результатов локализации реперов, к изменению яркости, контраста и зашумлению изображения. Прямые линии обладают значительно большей устойчивостью по сравнению с точками. Для их выделения на изображениях широко используются методы, основанные на пре-образовании Хафа, масочном поиске, вычислении градиента и квантовании по ориентации. Однако вычислительная сложность этих методов высока. Устранить данный недостаток можно за счет учета соотношения длин контурных линий и расстояний между их концевыми точками.

Таким образом, предлагается метод детектирования прямых линий на основе форм-фактора – отношения размера контурной линии, вычисляемого по известным координатам ее конечных точек, к длине контурной линии, определяемой суммой образующих ее контурных точек. Для прямых контурных линий данное соотношение должно быть близко к единице. По этому критерию предложенный метод позволяет выделять только изолированные прямые линии, не имеющие пересечений с другими линиями.

Предложенный метод состоит из следующих шагов:

1. Контурная фильтрация изображения.
2. Геометрическая нормализация контуров на изображении.
3. Сегментация контурных линий. Их классификация по числу концевых точек и выделение линий с двумя концевыми точками.
6. Определение длин сегментированных контурных линий в пикселях.
7. Определение геометрических размеров сегментированных контурных линий.
8. Вычисление форм-фактора линии.
9. Анализ форм-фактора линии.

Метод позволяет снизить вычислительную сложность выделения прямых контурных линий за счет обработки относительно небольшого числа контурных пикселей.

УДК 621.3.01

Использование языка APDL для подготовки геометрической части конечно-элементной модели охлаждающего устройства

Ширвель А.Г., Напрасников В. В., Боровок О.А., Ермилов В.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе была поставлена задача по созданию программы на языке APDL, предназначенной для создания геометрической части параметрической конструкции рассеивающего радиатора светотехнического устройства.

На следующих рисунках показаны два возможных варианта конструкции.

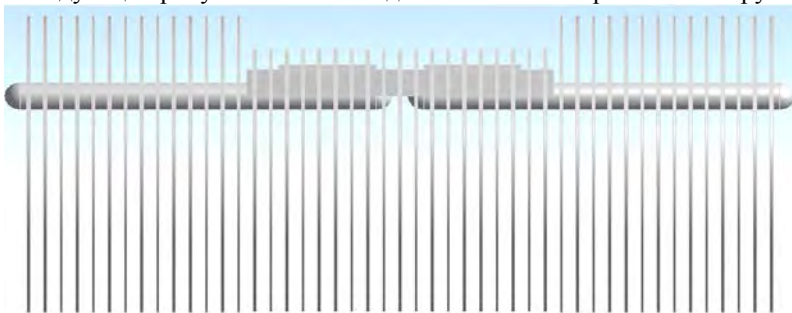


Рисунок 1 Геометрическая модель с прямыми тепловыми трубками

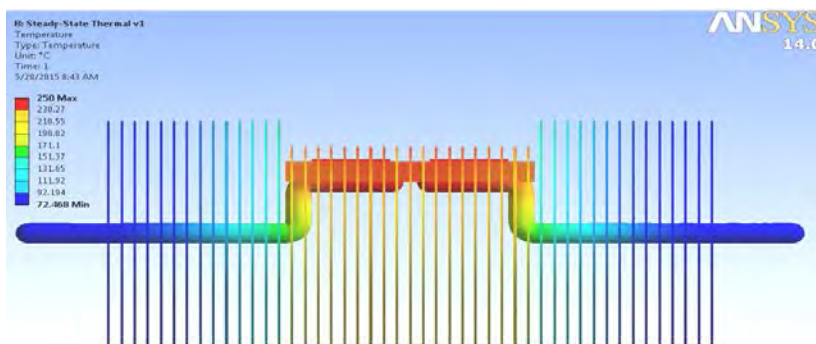


Рисунок 2 Геометрическая модель с изогнутыми тепловыми трубками

Эти и другие построенные геометрические модели в дальнейшем используются для вариантного анализа распределения температур в материале изделия и вычисления суммарного теплового потока с поверхности радиатора, значение которого является критерием эффективности конструкции.

Сдвиговая аппроксимация функций и синтез двумерных изображений

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.
Белорусский национальный технический университет

Один из эффективных методов синтеза двумерных изображений может быть построен с помощью сдвиговой аппроксимации функций. Применительно к обсуждаемой задаче основные положения данного вида аппроксимации могут быть сформулированы следующим образом.

Пусть желаемому изображению соответствует распределение интенсивности светового потока $K(x, y)$, (x, y) – декартовы координаты в картинной плоскости. Это распределение будем 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.

Для заданного значения S и выбранного распределения $K(x, y)$ параметры парциальных пучков A_k , σ ; λ_k , μ_k могут быть найдены с помощью вычислительной процедуры, основанной на применении метода наименьших квадратов и сводящейся в конечном итоге к решению матричного уравнения, которое проще всего выполнить численными методами.

Теперь, считая, что значения A_k , σ ; λ_k , μ_k для желаемого распределения определены, обсудим некоторые особенности технической реализации синтезированного изображения. Наиболее просто синтезированное изображение реализуется с помощью $S+1$ источников излучения, например, однотипных лазеров. При этом пространственное рассогласование положений их оптических осей определяется расстоянием до картинной плоскости и значениями λ_k и μ_k , а значение A_k определяет мощность излучения k -го лазера.

Особенности программной реализации алгоритма сдвиговой аппроксимации двумерных изображений

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.
Белорусский национальный технический университет

При сдвиговой аппроксимации двумерных изображений исходное изображение, представленное, например bmp-файлом, моделируется конструкцией вида:

$$\sum_{k=0}^S A_k \cdot F(x - \lambda_k, y - \mu_k, \sigma),$$

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.

Таким образом, для заданного изображения необходимо определить параметры парциальных пучков A_k , σ ; λ_k , μ_k . Это можно сделать путем программной реализации алгоритма, обобщенная схема которого приведена на рис.1.



Рисунок 1. - Обобщенная схема алгоритма

Рассмотрим основные особенности программной реализации данного алгоритма в программной среде MathCad. Входными данными алгоритма является изображение, представленное в bmp –формате: значение яркости пикселя записывается целым числом от 0 до 255, «0» – черный, «255» – белый; данные записываются прямоугольной матрицей; для считывания файла данных используется встроенная процедура «READBMP». Параметры парциальных пучков A_k , σ ; λ_k , μ_k находятся с помощью вычислительной процедуры, основанной на применении метода наименьших квадратов и сводящейся в конечном итоге к решению матричного уравнения.

В докладе приводятся блок-схема, текст программы и примеры использования обсуждаемого алгоритма.

Исследование беспилотного летательного аппарата как объекта управления

Арефьев Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время большинство существующих беспилотных летательных аппаратов (БЛА) пилотируются вручную, с помощью пультов дистанционного управления, работающих на радиоканалах. При ручном управлении БЛА возникают трудности, связанные с подготовкой пилотов, недостаточной рабочей дальностью, ограничениями, связанными с погодными условиями.

В данной работе в качестве объекта исследования рассмотрен БЛА со специфической конструкцией: самолет оснащён четырьмя подвижными элевонами, расположенными в хвостовой части самолета, на которые самолет устанавливается на позициях взлета и посадки. БЛА в такой позиции способен взлетать с любой горизонтальной поверхности, что позволяет использовать его в любых районах Земли без специальных стартовых площадок или аэродромов.

Сам по себе БЛА - лишь часть сложного многофункционального комплекса. В отличие от пилотируемой авиации для БЛА требуются дополнительные элементы системы обеспечения. К ним относятся сам беспилотный аппарат, рабочее место оператора, программное обеспечение, линии передачи данных и элементы, необходимые для выполнения целей полета.

БЛА как объект управления представляет собой сложную динамическую систему из-за наличия большого количества связанных между собой параметров и сложных перекрестных взаимодействий между ними. Сложное движение часто разбивают на простейшие виды: угловые движения и движения центра масс, продольное и боковое движение. Органы управления, создающие управляющие воздействия, можно разделить на две группы:

- органы продольного управления, обеспечивающие движение в продольной плоскости;
- органы управления боковым движением, обеспечивающие необходимый характер изменения углов крена, скольжения и рыскания.

Подобное деление органов управления является условным, так как можно привести режимы полета, в которых органы управления оказывают перекрестные воздействия на другие движения. В то же время такой подход позволяет выделить главные функции конкретных органов и каналов управления.

Особенности оценивания случайного процесса по критерию максимума апостериорной вероятности

Лобатый А.А., Арефьев Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

В современных системах управления подвижными объектами, к которым относится большой класс беспилотных (летательных, наземных, надводных и т.п.) аппаратов, для получения информации о внешней среде и состоянии объекта управления используются источники информации различной физической природы и конструктивного устройства. В условиях интенсивного развития информационных систем и технологий большое значение имеет разработка алгоритмов обработки информации, поступающей от различных источников.

Рассматривается задача получения уравнения для апостериорной плотности вероятности стохастического марковского процесса при линейной модели измерений. В отличие от распространенных подходов, основанных на рассмотрении в качестве критерия оптимизации минимума среднего квадрата ошибки оценивания, в данном случае в качестве критерия оптимизации рассматривается максимум апостериорной плотности вероятности оцениваемого процесса.

Априорная плотность вероятности оцениваемого процесса изначально считается гауссовой дифференцируемой функцией, что позволяет разложить её в ряд Тейлора без использования в промежуточных преобразованиях характеристических функций и разложения на гармоники. Для малых интервалов времени плотность вероятности вектора ошибок измерений по определению так же задается гауссовой с нулевым математическим ожиданием. Это даёт возможность получить математическое выражение для функции невязки, характеризующей отклонение значений реального измерения процесса от его математической модели.

Для определения оптимальной апостериорной оценки вектора состояния задается предположение, что эта оценка соответствует ее математическому ожиданию - максимуму апостериорной плотности вероятности. Это даёт возможность на основе формулы Байеса для априорной и апостериорной плотности вероятности получить уравнение Стратоновича-Кушнера.

Использование уравнения Стратоновича-Кушнера позволяет решать различные задачи фильтрации, идентификации, сглаживания случайных процессов, полученных на выходе зашумленных измерителей, при известных математических моделях исследуемых систем.

Photovoltaic Station Analytical Model

Imad Elzein, Yury N. Petrenko

Lebanese International University

Белорусский национальный технический университет

Before installing a Photovoltaic (PhV) system, a good performance estimation of the adopted PhV generators is necessary since the initial cost of the system is pretty high. The working principle of PhV cells is essentially based on the PhV effect, which refers to the generation of a potential difference at the P-N junction in response to visible or other radiation.

The behavior of a solar cell, as a common approach, is usually modeled by a 1-diode and 2-resistor (1D-2R) electric circuit; this simplest approximation gives satisfactory the nature of the more important physical effects related to the photovoltaic conversion of the sunlight to voltage and current.

Conventional PV models are generally analytical equations based on a physical description formulating photovoltaic generated current (I) with the operating voltage (V), the ambient temperature (T) and the irradiance (G). It is reported that a nonlinear implicit relationship exists between I and V , but normally necessitates using tedious iterative numerical calculations.

In order to facilitate the choice of the most appropriate method for the given particular application, the methods are classified according to their lumped parameter equivalent circuit model: single exponential, double-exponential, multiple-exponential, with and without series and parallel resistances

These numerical and estimation methods significantly increase the computation complexity and thus are not feasible for real-time prediction of I - V characteristics. It seems to be very essential because more recently appears an increasing attention for high-speed performance estimation PhV models are more and more frequently suggested using to execute real-time optimization of the photovoltaic stations.

One solution of this problem (leaving aside any numerical help) appears as a more compact approach may be derived by applying the Lambert W - function, which is defined as $Z=W(z) \exp(W(z))$, where z is any complex number. The general approach to apply the Lambert W -function in solving exponential equation of the PhV cell is to use the following equivalence

$$X=Y(\exp Y) \Leftrightarrow Y=W(X)$$

The Lambert W function is supported in all modern computational platforms, such as MATLAB, Maple, and Mathematica.

Predictive Model Control for Photovoltaic Station Maximum Power Point Tracking System

Imad Elzein, Yury N. Petrenko
Lebanese International University

Белорусский национальный технический университет

A maximum power point tracking algorithm is necessary to increase the efficiency of the solar panel. Due to the growing demand on electricity, the limited stock and polluted nature of conventional sources (such as coal and petroleum, etc.), photovoltaic (PhV) energy becomes a promising alternative as it is omnipresent, freely available, environment friendly, and has less operational and maintenance costs. Therefore, the demand of PV generation systems seems to be increased for both standalone and grid-connected modes of PhV systems. An efficient maximum power point tracking (MPPT) technique is necessary that is expected to track the MPP at all environmental conditions and then force the PV system to operate at maximum efficiency.

Model predictive control (MPC) offers several important advantages: (1) the process model captures the dynamic and static interactions between input, output, and disturbance variables, (2) constraints on inputs and outputs are considered in a systematic manner, (3) the control calculations can be coordinated with the calculation of optimum set points, and (4) accurate model predictions can provide early warnings of potential problems. Knowing that the overall objectives of an MPC controller can be summarized: i) To prevent violations of input and output constraints; ii) Drive some output variables to their optimal set points, while maintaining other outputs within specified ranges; iii) Prevent excessive movement of the input variables; iv) Control as many process variables as possible when a sensor or actuator is not available.

MPC, is a model-based on line control approach with the following modules: a prediction horizon, a receding horizon procedure, and a regular update of the model and re-computation of the optimal control input. A MPC system consist of the following devices: - a process model is used to predict the current values of the output variables; -the residuals, the differences between the actual and predicted outputs;- feedback signal block;-a Prediction block. The predictions are used in two types of MPC calculations that are performed at each sampling instant: set-point calculations and control calculations.

The set points for the control calculations, also called *targets*, are calculated from an economic optimization based on a steady-state model of the process, traditionally, a linear model. Typical optimization objectives include maximizing a profit function, minimizing a cost function, or maximizing a production rate.

**Компьютерная модель системы автоматического управления
беспилотного летательного аппарата**

Гриднев Ю.В., Иванов А.Г.

Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси

Разработана компьютерная модель в среде MATLAB-SIMULINK САУ беспилотного летательного аппарата (БЛА) с пятью каналами управления. Модель системы автоматического управления (САУ) БЛА включает в себя модель планера беспилотного самолета, модель формирования аэродинамических сил и моментов для управления самолетом с учетом скорости и высоты его полета в реальной атмосфере, модель автопилота, модели фильтра Калмана и бесплатформенной инерциальной системы управления (БИНС) и модель блока ручного управления. Кроме того компьютерная модель системы имеет блок стандартных сигналов для оценки динамических свойств систем моделей и блок визуального отображения информации.

В процессе моделирования на вход компьютерной модели подавались сигналы “Step” и “Ramp” и определялись переходные и динамические ошибки систем управления для модели планера в кватернионах и с углами Эйлера. Переходные процессы показали, что модель планера в кватернионах возвращает самолет в устойчивое состояние при любых углах тангажа в отличие от модели планера с углами Эйлера. Моделирование показало, что расширение полосы пропускания каналов тангажа и крена приводит к появлению динамических ошибок в системе управления, которые можно стабилизировать путем введения в контур управления БЛА цепей демпфирования с определенными заданными коэффициентами обратной связи.

Проведена оценка качества работы САУ БЛА и модели фильтра Калмана с учетом «белых» и «окрашенных» шумов. Использование при математическом моделировании в датчиках САУ БЛА в качестве случайных ошибок измерений «белых» шумов приводит к максимальной флуктуационной ошибке САУ, а «окрашенных» шумах - позволяет уменьшить величину этих ошибок. Флуктуационные порывы ветра в виде специального сигнала на входе модели планера опрокидывают БЛА по крену. Данное нежелательное явление можно устранить за счет включения цепей демпфирования.

Работа модели в режиме БИНС без GPS с течением времени приводит к увеличению ошибки отклонения самолета от заданной траектории и возбуждению модели за счет интегратора в системе БИНС. Необходима обязательная коррекция БИНС сигналами GPS.

Mash network in an academic campus

Pei Ping

Белорусский национальный технический университет

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 have installed wireless networking already, however is does not stand for successful using in campus. The main problems from: 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 AP point 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 (access point) to constitute Mesh structure. AP connected with each other by repeater, fig.1.

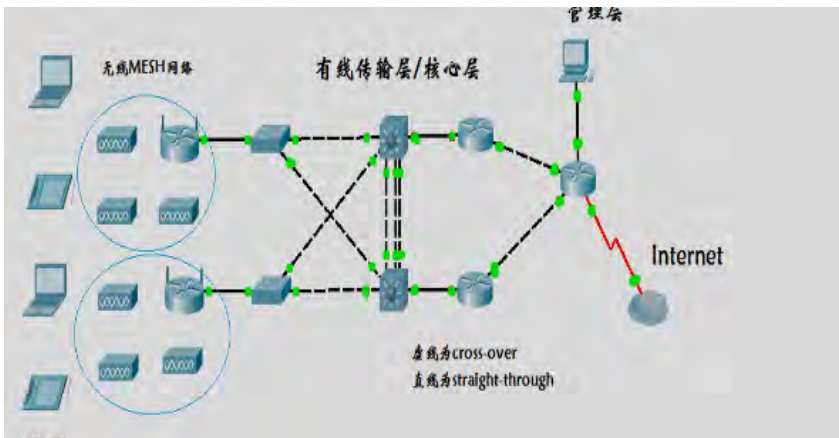


Fig. 1. - University campus Mesh network structure

The benefit in the mesh network structure: 1. self – organization. 2. Self – healing. 3. Multi – hop 4. Point to point topology. Thus, the hug university campus and public area propitious to structure a mesh network in real life.

Управление электродвигателем гибридной системы автоматического управления

Абуфанас А.С.

Белорусский национальный технический университет

Рассматриваются особенности импульсного управления гибридной электротехнической системой, к классу которых относятся системы, содержащие в своем составе как непрерывные, так и дискретные элементы. Управление гибридной системой (электродвигателем постоянного тока) осуществляется в данном случае последовательностью прямоугольных импульсов с постоянными амплитудой и периодом следования, но с переменной длительностью, зависящей от величины прогнозируемого на интервале оптимизации сигнала управления.

Рассматривается линейная детерминированная модель системы управления, характерная для большинства гибридных электротехнических систем. Для данной постановки задача поиска оптимального управления представляет собой задачу аналитического конструирования оптимального регулятора, которая имеет аналитическое решение. Предлагается решать задачу оптимального управления гибридной системой на основе формирования такого сигнала управления на выходе контроллера (регулятора), который минимизирует заданный интегральный функционал качества, в качестве которого рассматривается линейный квадратичный функционал Летова-Калмана вида

$$J_0 = Dy_2^2(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} [Qy_2^2(t) + K^{-1}(t)u^2(t)] dt, \quad (1)$$

где y_1 и y_2 – в данном случае переменные математической модели, описывающей работу электродвигателя.

Математическая модель сигнала управления $u = u(t)$ представляется в виде последовательности импульсов вида

$$u(t) = \sum_{i=0}^n \mu_i(Y, t) \delta(t - t_i), \quad (2)$$

где $\delta(t - t_i)$ – δ -функции Дирака.

Определив $u(t)$ на интервале оптимизации $[t_0, t_k]$ и проинтегрировав выражение (2) по времени, считая, что на этом интервале имеется один прямоугольный управляющий импульс, с постоянной амплитудой $A_u = U_s$, длительность управляющего импульса вычисляется по формуле

$$t_u = \frac{1}{A_u} \int_{t_0}^{t_k} u(t) dt \quad (3)$$

**Функция плотности вероятности показателя качества подсистемы
поддержки принятия решений при реализации адаптивного
учебного ресурса**

Кондратёнок Е.В., Кондратёнок В.А.
Белорусский национальный технический университет

Применение системы поддержки принятия решений (СППР) стало повсеместной практикой при разработке проектов различной сложности и направлений. В [1] авторами было предложено по аналогии с [2, 3] использовать линейную аппроксимацию функции плотности вероятности показателя качества следующего типа:

$$P(W_i/W_{i-1}, \delta_i) = \frac{1}{W_m} - \frac{\delta_i}{2 - \delta_i} \left(\frac{2W_{i-1} - W_m}{W_m} \right) \left(1 - \frac{2W_i}{W_m} \right), \quad (1)$$

где W_i – значение показателя качества по результатам изучения обучающимся i -го учебного модуля (оценка знаний); W_m – максимальное значение показателя качества; δ_i – интенсивность влияния преподавателя на обучающегося.

В [1] указанное выражение рассматривалось для анализа интенсивности управляющего воздействия при различных уровнях подготовленности обучающихся в соответствии с теоретическими моделями [1, 2] при реализации адаптивного учебного ресурса (АУР).

Полученные результаты подтвердили изначальные предположения и показали необходимость уточнить выражение (1). Авторами был проведен педагогический эксперимент с целью оптимизации коэффициента управляющего воздействия на каждом этапе обучения в зависимости от требуемого результирующего показателя и имеющихся возможностей педагога. Результаты представлены в докладе и будут оформлены в виде отдельной статьи.

Литература

1. Кондратёнок Е.В., Кондратёнок В.А. Анализ возможности использования СППР при реализации АУР // Системный анализ и прикладная информатика. – №4. – 2015. – С.27-30.

2. Топольский Н.Г., Членов А.Н. Вероятностно-статистический подход к решению задач создания сложных систем безопасности объектов // Материалы XV НПК «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков». – М.: ВНИИПО МВД России, 1999. – С. 141-142.

3. Членов А.Н., Шакирова А.Ф. Эффективность СППР при проектировании тревожной сигнализации для сложных объектов // Технологии техносферной безопасности. – №3 (37). – 2011. – С.1-6.

Проект «Муравейник»

Руденик Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Массовое внедрение автономной сельскохозяйственной техники еще впереди. Уже решены многие проблемы связанные с автоматизацией автономных роботов, система позиционирования и ориентации, обход препятствий, компьютерное зрение и т.д. Полноценное внедрение автономных роботов в сельское хозяйство произойдет только тогда, когда вкладывать в них будет экономически выгодней, чем в человеческий труд. Пока что, стоимость подобных аппаратов и их обслуживание в основной массе, гораздо выше, чем труд наемного рабочего. Поэтому технически уже не стоит вопрос, как сделать автономного робота-фермера, а вопрос стоит, как сделать его дешевым и в тоже время надежным в эксплуатации.

Для того чтобы создать роботов по цене и функционалу востребованных рынком, ведутся разработки системы управления совместной работы простых и дешевых роботов, способных совместными усилиями выполнять поставленные задачи.

Проект «Муравейник» включает в себя какое-то количество рабочих роботов находящихся под централизованным управлением. Главный робот (центр управления) распределяет задачи между рабочими роботами и следит за их выполнением, в случае необходимости корректирует их работу. Экономическая выгода такого подхода очевидна. Роботы с ограниченным функционалом дешевы в разработке и в обслуживание, но гораздо эффективнее в эксплуатации при совместном, централизованном использовании. На открытых территориях, целесообразно использовать современные беспилотники типа квадрокоптеров, для управления рабочими роботами. Квадрокоптер способен за короткое время обследовать ландшафт, произвести разведку местности и передать данные на главный компьютер, который составит план действий для всех рабочих роботов. Квадрокоптер является не только связующим звеном, но и вспомогательным роботом для эффективного решения поставленных задач рабочими роботами. Данные, полученные с летательного аппарата способны во много раз упростить навигационный функционал рабочего робота, что положительно скажется на его стоимости, но не отразится на полезной мощности.

Мы уверены, создавать различные, узконаправленные, дешевые роботы и объединять их в единую систему, гораздо выгоднее и функциональнее, чем делать универсальные, умные машины, чья стоимость будет окупаться годами, а в случае поломок может вообще не окупиться.

Problems of identification of the stochastic mathematical model

Stepanov V.Y.

Belarussian national technical university

A mathematical model is a description of a system using mathematical concepts and language. Mathematical models can have a variety of forms, reflect the different properties of objects, characterized by varying degrees of formalization and detailing, and their purpose is to build a general presentation of the processes on the basis of individual observations of a real object of process constantly interacts with the environment and this interaction is bidirectional.

The approximate system identification problem based on misfit approach, has a sub problem the computation of the closed trajectory in the behavior of a given model to a given time series. This is a smoothing problem whose solution is available in closed form. However efficient recursive algorithms and the filtering problem in which the approximation is performed in real time is another subject of interest.

More detail attention of the impact of the environment to the subject is needed. The approximate identification problem is the global total least squares problem, i.e. misfit minimization problem for a class of a model. The approximate filter is based on the classical Kalman filter derived for a related stochastic system. There are two groups of acts to the state variables (phase coordinates) of the object, according to the nature of the environment influence.

The first group includes the effects which modify the state variables additively. This means that signals which are proportional to these effects are added to the signals proportional to the corresponding state variables. Input effects may be useful (control signal) and interference (disturbance).

The second group of environmental influences are effects state of object variables indirectly, usually not additive. Since simultaneous structural and parametric optimization can lead to the emergence of many local extremums, it is necessary to carry out the basic parametric optimization before the structure optimization. There is identity search algorithm. It measures input and the output signals of the object and carries out an active search, accompanied by tests on an adaptive model by parametric channels. This expands the boundaries performance identification systems with adaptive model.

The basis of the search engines can use a simple method extremum search, starting from the simple search options and finishing gradient methods, and combinations thereof. Structure optimization must be final stage of the parametric optimization (adaptation).

Применение адаптивного алгоритма неградиентного случайного поиска для идентификации математической модели

Лобатый А.А., Степанов В.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается применение неградиентного случайного поиска в математической модели стохастической системы, в которой при заданных характеристиках векторного входного сигнала $X = X(t)$ системы, а характеристики векторного выходного сигнала $Y = Y(t)$ полностью определяются стохастическим оператором $A(X, Y, t)$:

$$Y = A(X, Y, t)X \quad (1)$$

Изменять оператор системы можно путём изменения его структуры, а также изменением вектора параметров D . Будем полагать, что структура системы задана, а вектор параметров D определяется некой управляющей матрицей системы U_D , которая имеет вид $U_D^T = [D_1 \dots D_n]$. U_D – блочный вектор (матрица-столбец) оптимизируемых параметров элементов системы.

Таким образом, для оптимизируемой системы имеем зависимость

$$Y(U_D) = A(X, Y, U_D, t)X \quad (2)$$

Описание алгоритма неградиентного случайного поиска в стандартном случае приведено в (1). Имеется управляющая матрица параметров системы U_D , которая может принимать значения, совокупность которых представляет собой фиксированное множество $U_D = \{u_1, u_2, \dots\}$. При этом фиксированному значению u_k соответствуют конкретные значения вектора $D = D_k$. Для получения удобного для алгоритмического синтеза параметров модели также вводится в рассмотрение событие Ξ , заключающееся в том, что при заданном входном сигнале X модель измерения Z_m удовлетворяет требованию близости к требуемому значению Z . В частном случае при отсутствии необходимой информации априорные векторы D_v могут быть равновероятными.

Следует отметить, что естественная скорость работы алгоритма идентификации может быть значительно увеличена за счёт использования в системе блока адаптации, работа которого основана на использовании рекурсивного алгоритма. С применением блока адаптации априорная вероятность v -го решения на $(n+1)$ -м шаге адаптации равна апостериорной вероятности v -го решения, полученного на n -м шаге адаптации.

Литература

1. Казаков, И.Е. Методы оптимизации стохастических систем / И.Е. Казаков, Д.И. Гладков. – М.: Наука, 1987. – 304 с.

Взаимодействие модулей управления системы «Умный дом»

Полховский Р.Г., Хвалей С.В.

Белорусский национальный технический университет

Общая система управления «Умный дом» рассматривается в аспекте систем распределенной автоматизации, которая имеет центральный компьютер, обеспечивающий сбор и хранение информации. Ставится задача интеллектуального управления ресурсами на основе прогноза поступления энергии от солнечных батарей с учетом времени суток, времени года и состояния атмосферы. Информация о запасенной энергии (текущее состояние) доступна пользователю. Ставится задача информирования потребителя в реальном времени с учетом потребления заранее запрограммированных устройств, таких как водоснабжения, аварийной сигнализации, противопожарных устройств и других, заранее определенных потребителем. В критических, с точки зрения запаса энергии, пользователю предлагается сделать выбор самостоятельно с помощью программной панели.

Взаимодействие модулей в управлении системы «Умный дом» происходит по физическому интерфейсу связи RS-485. Интерфейс RS-485, благодаря своим физическим свойствам, обеспечивает длину шины до 1200 метров, что позволяет использовать его в системах автоматизации жилых помещений. Все модули, подключённые к общей шине обмена данными, могут обмениваться информацией между собой благодаря чему, легко управлять системой. В системе используются контроллеры семейства Atmel и одноплатный компьютер на базе Raspberry Pi. В качестве управляющего модуля используется одноплатный компьютер Raspberry Pi, а в качестве управляемых устройств - микроконтроллеры семейства Atmel.

Возможные варианты взаимодействия: модули внутри. Между системой

Управляемые модули имеют одинаковый набор датчиков и портов, для управления силовыми устройствами. При поступлении запроса от главного компьютера, контроллер передаёт информацию по шине. При поступлении информации контроллеру, он хранит их в своей памяти.

На текущий момент разработана и создана система связи на базе физического интерфейса RS-485.

Данный интерфейс позволяет подключать до 256 устройств с максимальной длиной шины до 1200 метров. К общей шине подключаются управляющий одноплатный компьютер и управляемыми микроконтроллерами.

Методы проверки и оценки успеваемости

Прищеп В.И.

Белорусский национальный технический университет

По системе электронного образования за рубежом работают многочисленные открытые и виртуальные университеты, которые в настоящее время составляют значительную конкуренцию традиционному образованию, основанному на использовании дневной и заочной форм обучения. Может быть изменена традиционная форма получения и оценивания знаний.

Основная цель внедрения электронного обучения заключается в обеспечении равного доступа всех участников образовательного процесса к лучшим образовательным ресурсам, контентам и технологиям. Это повышает качество обучения, эффективность управления образованием, информационную интеграцию с внешней средой, инфокоммуникационную грамотность студентов и позволяет освободить преподавателей и учебно-вспомогательного состава от рутинной работы, благодаря автоматизации учебного процесса.

В рамках такой системы можно организовать:

- 1) взаимодействие студентов между собой и с преподавателем. Для этого могут использоваться такие элементы как: форумы, чаты, видеоконференции;
- 2) передачу знаний в электронном виде с помощью файлов, архивов, веб-страниц, лекций;
- 3) проверку знаний и обучение с помощью тестов и заданий;
- 4) совместную работу учебную и исследовательскую работу студентов по определенной теме, с помощью встроенных механизмов wiki, семинаров, форумов и прочее.

В ходе выполнения проекта была создана универсальная информационная платформа на базе интернет-сайта, оснащенная всеми современными инструментами в сфере дистанционного обучения, в том числе и механизмом видеоконференций. Система предназначена для создания обучающих курсов с любыми формами представления знаний.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Способ унифицированной интеграции разнородных моделей производственных систем

Здор Г.Н., Новичихина Е.Р., Новичихин Р.В.
Белорусский национальный технический университет

Проблема. Каждая производственная система (участок, линия, цех), особенно автоматизированная и роботизированная является сложным и уникальным объектом. Для анализа таких систем 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 моделирования производственных систем.

Ожидаемый конечный результат проекта. Универсальная программная среда, которая без дополнительного программирования (без написания кода):

- а) настраивается на объект;
- б) интегрирует требуемые модели произвольного состава и функций;
- в) автоматически управляет согласованными запусками моделей и обменом данных между ними;
- г) определяет, что взаимное уточнение моделей завершено, останавливает итерации моделирования и обобщает результаты.

Основная идея. В моделирующем программном обеспечении требуется совместить два противоречивых свойства – универсальность и автоматизм. Мы обратили внимание, что схожая задача успешно решается в другой предметной области – в программных средах для разработки экспертных систем (ЭС). Предлагается применить принципы построения и функционирования ЭС к моделирующему программному обеспечению.

Суть предлагаемого подхода. Берем «пустую» оболочку ЭС продукционного типа с представлением знаний в виде правил. Структура правила: условия (антецеденты) => действия (консеквенты). Считаем, что знания о системе заключены в моделях. Каждую модель будем рассматривать как одно «большое» правило, «втиснутое» в унифицированный программный модуль-шаблон. Совокупность моделей даст ЭС, заполненную знаниями о системе.

Программная реализация. Описанный подход был реализован в программной среде «ESMod».

Автоматизированное online-проектирование манипуляционных производственных систем

Новичихин Р.В., Кочетков Р.В., Демидов О.К.
Белорусский национальный технический университет

Проблема. Как правило, манипуляционные системы (МС) являются специальным оборудованием, которое нельзя купить в готовом виде.

Для предприятия самостоятельное проектирование и изготовление специальных устройств всегда сопряжено со сложностями. Подход заказа МС «под ключ» в сторонней специализированной компании недостаточно оперативен и гибок, особенно в условиях многовариантного итерационного проектирования и изменения требований по ходу.

Возможное решение проблемы. В идеале хотелось бы, чтобы специализированная компания-исполнитель предоставляла такой интернет-ресурс, которым заказчик мог бы пользоваться самостоятельно, даже не контактируя со специалистами-разработчиками.

В течение одного сеанса работы на сайте заказчик самостоятельно получает готовый проект, вбирающий в себе опыт, методики расчета, наработки и типовые решения высококвалифицированных специалистов компании. За заказчиком остается только творческая работа рассматривать и отбирать предлагаемые решения. Важно, что на этом этапе заказчик не несет никаких затрат и обязательств. В случае подтверждения заказа компания собирает МС из своих серийных комплектующих, поставляет и налаживает ее.

Реализация. Описанный подход реализует компания Festo со своим уникальным сервисом интерактивного автоматизированного online-проектирования систем перемещения и манипулирования Handling Guide Online (www.festo.com/HGO).

Представление о работе сервиса можно составить из видео (<https://www.youtube.com/watch?v=JwQr1UfeCM>).

Возможности. Сформированный проект содержит полный набор комплектующих: несущие конструкции, крепеж, направляющие, привода, исполнительные механизмы, рабочие органы, датчики, система управления, программное обеспечение, стандартные системы перемещения (портальные и триподы). Сборочные чертежи представляются в виде 3D CAD-моделей.

Использование в учебном процессе. В докладе описывается использование упомянутого интернет-ресурса в учебном процессе на кафедре «Робототехнические системы» БНТУ.

**Общегосударственная автоматизированная информационная система.
Система синхронизации**

Шардыко П.П., Мурашкевич В.Ю.
Белорусский национальный технический университет

ОАИС предназначена для интеграции государственных информационных ресурсов и автоматизации деятельности органов государственного управления по предоставлению информационных услуг другим государственным органам, организациям и гражданам.

При этом целью создания ОАИС являлось повышение эффективности и качества функционирования государственных органов и, как следствие, качества оказываемых услуг. ОАИС представляет собой систему взаимосвязанных элементов: программно-технических комплексов, государственных информационных ресурсов и порталов оказания электронных услуг.

По структуре государственные информационные ресурсы подразделяются на:

- базовые;
- республиканские;
- региональные (территориальные).

ССГ (система синхронизации государственных информационных ресурсов) предназначена для реализации единого механизма доступа к ГИР (государственному информационному ресурсу) и ИС (информационной системе), являющимся исходными (первичными) источниками информации по стандартизированным каналам связи, соответствующим требованиям по защите информации.

Типовой адаптер устанавливается на площадке владельца ГИР и предназначен для синхронизации обмена данными между ГИР и ОАИС. В дальнейшем адаптер может использоваться для наращивания количества электронных услуг. Он представляет собой приложение с базой данных, системой журнализации доступа, администрирования и средствами криптозащиты выделенного канала связи для обеспечения передачи данных в соответствии с требованиями законодательства по защите информации.

Сервер приложений в данном случае используется как инструмент для обеспечения работы WEB сервисов синхронизации с ССГ и WEB сервисов, предоставляющих информацию в ОАИС. Возможности кластеризации данного сервиса позволяют легко масштабировать данное приложение без кодирования приложений, развернутых на нем.

Методы обнаружения сетевых атак

Шардыко П.П., Апанасович С.В.

Белорусский национальный технический университет

Система обнаружения атак, или система обнаружения вторжений – это система, осуществляющая сбор информации с множества системных и сетевых источников, анализирующая полученную информацию на предмет признаков вторжений (атак).

Существует множество современных методов обнаружения атак, однако, их использование в системах имеет ограничения, связанные с устойчивостью и воспроизводимостью результатов.

Современные методы обнаружения атак используют некоторую форму анализа контролируемого пространства на основе правил или статистического подхода. В качестве контролируемого пространства могут выступать журналы регистрации или сетевой трафик. Анализ опирается на набор заранее определённых правил, которые создаются администратором или самой системой обнаружения атак.

Любое разделение атаки во времени или среди нескольких злоумышленников является трудным для обнаружения при помощи экспертных систем. Из-за большого разнообразия атак и хакеров даже специальные постоянные обновления правил экспертной системы никогда не дадут гарантии точной идентификации всего диапазона атак.

Использование возможностей нейронных сетей является одним из способов преодоления указанных проблем экспертных систем. В отличие от экспертных систем, которые могут дать пользователю определённый ответ о соответствии рассматриваемых характеристик заложенным правилам, нейронная сеть проводит анализ информации и предоставляет возможность оценить, согласуются ли данные с характеристиками, которые она научена распознавать. Степень соответствия нейросетевого представления может достигать 100 %, достоверность выбора полностью зависит от качества системы, т.е. возможности анализа параметров поставленной задачи.

Разработка техники обнаружения и распознавания атак, основанной на искусственных нейронных сетях позволяет избежать проблем, характерных для большинства подходов, поскольку нейросетевая система способна с высоким качеством обнаруживать как известные, так и новые атаки за счет способности к обобщению и адаптации. Кроме того, такая система сможет обновляться как стандартным способом – базы обученных детекторов от разработчика – так и обучаться самостоятельно.

Повышение эффективности системы автоматической защиты человека от токов утечки на землю в разветвленной сети участка шахты

Дубинин С.В.

Белорусский национальный технический университет

Для теоретического исследования процессов формирования токов утечки на землю в разветвленной сети участка шахты при помощи компьютерного моделирования использовалась схема замещения (рис. 1).

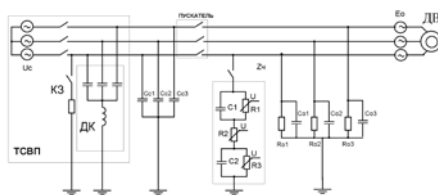


Рисунок 1. Схема замещения разветвленной электрической сети участка шахты: $Z_{ч}$ – модель полного сопротивления тела человека

Результаты моделирования поражающего тока утечки, проходящего через тело человека представлены на рис. 2.

а)

б)

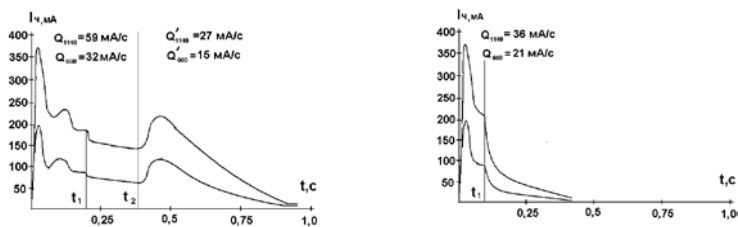


Рисунок 2: а – ток утечки для серийного образца системы защиты; б – для предлагаемой

На основании результатов моделирования предложено снабдить каждое ответвление компенсатором емкостной составляющей тока утечки на землю и сократить время полного отключения ответвления. Это позволит снизить ток утечки и повысить условия безопасности электрической сети.

Комплекс гидроабразивной резки

Капустина А.М., Ходько В.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс гидроабразивной резки основан на резке высокоскоростной струёй воды или струёй воды, смешанной с абразивом (гидроабразивная резка). Принцип действия этого метода заключается в том, что поток воды, проходя через отверстие диаметром 0,1 - 0,3 мм, разгоняется до скорости порядка 900 м/мин и направляется на разрезаемую поверхность. При гидроабразивной резке в поток воды добавляется абразив. Во время столкновения с разрезаемым материалом кинетическая энергия струи преобразуется в механическую энергию микро-разрушения обрабатываемого материала, и происходит резание.

Устройство ЧПУ с пультом оператора и выносным пультом управления МАСН002-40000, позволяющие выполнить заданную геометрию детали, оптимально размещать её на поверхности заготовки, а также корректировать программу обработки. Дополнительные устройства, позволяющие контролировать процесс разрезания материалов и облегчающие работу оператора, например, датчики наличия абразива в бункере, подающие предупреждающие сигналы оператору об окончании минимального запаса абразива и отключающие установку, в случае полного его отсутствия; датчик контроля влажности абразива, отключающий подачу абразива в камеру смешивания в случае попадания воды в бункер и/или подающие трубки, и др.

Комплекс гидроабразивной резки работает следующим образом: Оператор цеховым подъемным транспортом устанавливает заготовку на раскройный стол. В зависимости от выбранного режима работы (наладочный или автоматический), оператор выполняет действия в соответствии с инструкциями. При работе в автоматическом режиме режущая головка после калибровки выводится по программе в точку начала резки. Высота режущей головки над листом в процессе резки поддерживается на постоянном уровне относительно манипулятора. На толщинах металла 20 мм начало реза выбирают на кромке листа, а в случае необходимости начать резку не с кромки, желательнее выполнить сверление отверстия в листе, так как пробивка может занять достаточно продолжительное время. Перемещение контролируется абсолютными датчиками (встроены в электродвигатели приводов) и путевыми выключателями крайнего положения. После окончания резки режущая головка и манипулятор перемещаются в исходное положение.

Лукаш М.С., Капустина А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для эффективного учета движения товаров в организации необходима технология, позволяющая присваивать каждому товару уникальный код, и обеспечивать быстрое считывание кода при минимальных ошибках. Именно этим условиям и удовлетворяет технология штрихового кодирования товаров, уже давно и успешно применяемая западными фирмами. Эта технология основана на различных графических представлениях кодов, обеспечивающих не только понятные человеку формы кодов, но и форматы, предназначенные для считывания специальными устройствами - сканерами штрих-кодов.

На настоящий момент насчитывается около 20 форматов штрих-кодов (включая модификации), различающихся, в основном, областями применения. Некоторые форматы имеют механизм контроля корректности, заключающийся в вычислении одной части кода по другой.

Сканеры штрих-кодов различаются как по способу подключения к компьютеру, так и по возможностям. В настоящий момент практически все выпускаемые сканеры способны считывать наиболее популярные форматы кодов, включая EAN-13 (EAN-8), UPC A, UPC E, ITF, Code 39, ISBN. При считывании сканеры автоматически разбирают сканируемый код, проверяют его корректность и могут различными способами модифицировать код (например, производить перекодировку из одного формата в другой). В качестве результата сканеры выдают строку символов, представляющих штрих-код в форме, понятной для человека.

Система "1С: Предприятие 8.0" позволяет использовать технологию штрихкодирования при автоматизации предприятия. Для печати этикеток со штрих-кодами можно использовать специализированные принтеры штрих-кодов (существуют дополнительные внешние компоненты для печати на принтерах EZ-2, EZ-4TT и принтерах серий LP и BP) или обычные принтеры. В последнем случае можно воспользоваться входящим в поставку методики ActiveX-элементом Active Barcode, позволяющим формировать образ штрих-кода непосредственно в 1С:Предприятии 8.0. Этот элемент поддерживает практически все известные форматы штриховых кодов, управление цветом и шрифтом выводимого штрих-кода, автоматическое определение формата кода и вычисление контрольных цифр.

Применение электромагнитного тормоза скольжения в комбинированной системе электро-, теплоснабжения сельскохозяйственного предприятия

Дубинин С.В.

Белорусский национальный технический университет

Особенностью работы электромагнитного тормоза скольжения (ЭТС) является прямое преобразование механической энергии вращения якоря в тепловую энергию, которая выделяется в его активной части. Нагрев активной части происходит за счет возбуждения вихревых токов при вращении якоря. При этом, величина мощности P_t , которая расходуется на тепловыделение описывается выражением: $P_t = M(\omega_{я} - \omega_a)$, где M – момент на валу ЭТС, $\omega_{я}$ – скорость вращения якоря, ω_a – скорость вращения активной части (для данного применения $\omega_a = 0$). Эта особенность позволяет использовать ЭТС в ветровой установке для нагрева воды. Комбинированная система электро – теплоснабжения (рис. 1), содержит ветровую установку 1, генератор электроэнергии 2, ЭТС 3, автоматическую систему оптимизации баланса тепловой и электрической энергии 4, аккумулятор электрической энергии 5, аккумулятор 6.

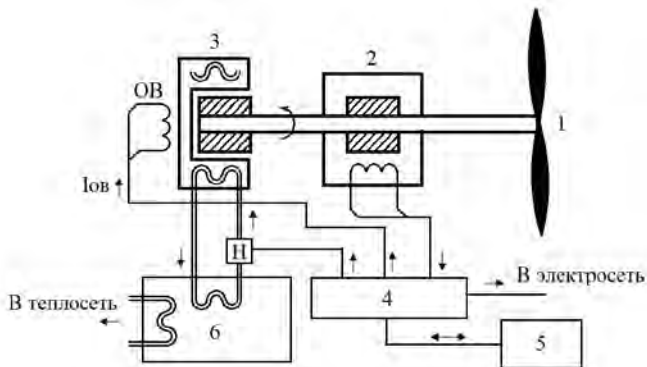


Рисунок 1 – Комбинированная система электро-теплоснабжения:

ОВ – обмотка возбуждения ЭТС, $I_{ов}$ – ток возбуждения ЭТС, Н - насос

Баланс электрической и тепловой мощности описывается выражением: $P_t = (M_{в} - M_{сг}) \omega_{я} - P_{пр}$, где $M_{в}$ – вращающий момент ветровой установки, $M_{сг}$ – момент сопротивления генератора 2, $P_{пр}$ – прочие потери мощности.

Модифицированный регулятор Рейсвика

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артеменко К.И.
Белорусский национальный технический университет

Для объектов регулирования с запаздыванием, у которых невозможно измерить промежуточную регулируемую величину, не содержащую запаздывания, рекомендовано использовать не только специальный регулятор Смита, но и регулятор Рейсвика [1]. Регулятор Рейсвика представляет собой последовательное соединение обратной передаточной функции части объекта, не содержащей запаздывания и единичного усилителя, охваченного положительной обратной связью элементом запаздывания с весовым коэффициентом $\beta < 1$. Однако регулятор Рейсвика труден в реализации, так как применяется обратный оператор.

Динамику объектов регулирования с самовыравниванием и большим запаздыванием можно представить в виде последовательно включенных инерционного звена первого порядка с постоянной времени T_K и условным запаздыванием τ_Y [2].

В этом случае для физической реализации обратного оператора, его умножают на передаточную функцию инерционного звена первого порядка с постоянной времени $T_{3д}$, в результате чего получают звено быстрого реагирования так как $T_K \gg T_{3д}$. При этом, если коэффициент β регулятора Рейсвика принять равным единице, а передаточную функцию элемента запаздывания представить в виде инерционного звена первого порядка с постоянной времени τ_Y , то единичный усилитель, охваченный положительной обратной связью элементом запаздывания можно представить в виде идеального ПИ-регулятора с коэффициентом передачи, равным единице и постоянной интегрирования $T_{II} = \tau_Y$. В результате чего получим последовательное соединение звена быстрого реагирования и идеального ПИ-регулятора, т.е. получим реальный ПИД-регулятор, лишенный недостатков регулятора Рейсвика.

Литература

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием: пер. с польского /Х. Гурецкий. – М.: Машиностроение, 1974. - 328с.
2. Кулаков Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования /Г.Т. Кулаков. – Минск: УП «Технопринт», 2003. - 135с.

Исследование информационно-материальных потоков многоскладского предприятия

Потапенко В.В.

Белорусский национальный технический университет

При автоматизации много складского учёта на предприятие в первую очередь необходимо исследовать схему информационно материальных потоков и определить перечень используемых документов и особенностей их оформления. Материальный поток образуется в результате транспортировки, складирования и выполнения других материальных операций с сырьем, полуфабрикатами и готовыми изделиями - начиная от первичного источника сырья вплоть до конечного потребителя в определенный промежуток времени. Он может протекать как между различными предприятиями, так и внутри одного предприятия. На рисунке 1 представлена схема информационно-материальных потоков много складского предприятия.

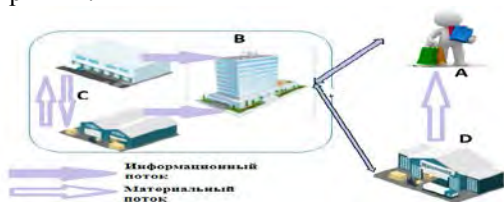


Схема информационно-материальных потоков

Клиент (A) делает заказ на поставку продукции, передавая информация о заказе в главный офис предприятия (B). После обработки заказа, при наличии всех позиций на складе главный офис передаёт документы на отгрузку товара складам, находящимся на территории предприятия (C) или же на сторонние склады (D). Склады отгружают продукцию для заказчика, формируют сопроводительные документы и отправляют информацию об отгрузке менеджеру в главный офис.

При данной схеме информационно-материальных потоков существуют особенности, на которые необходимо обратить внимание при автоматизации складского учёта на предприятии:

- необходимо организовать менеджеру, формирующему заказ, доступ к информации об остатках на складах в режиме on-line;
- одна и та же продукция на разных складах, может учитываться в разных единицах измерения.

Автоматизация технологического процесса паротермолиза отходов резины

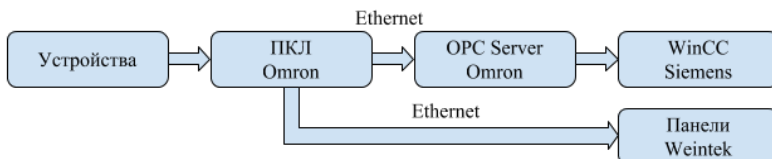
Сиротин Ф. Л., Карпеченко И. Л.

Белорусский национальный технический университет

Технологический процесс паротермолиза резиновых отходов включает две стадии переработки: стадию парового термолиза и стадию переработки твердых продуктов термолиза.

Для всех типов устройств возможна работа в наладочном и автоматическом режимах. Управление в наладочном режиме возможно с пультов управления Wientek, расположенных вблизи оборудования, а также с помощью программного комплекса WinCC Scada. WinCC используют для решения задач комплексной автоматизации уровня малых предприятий, но в виде эксперимента было решено использовать на заводе по переработке отходов резины.

Управление в автоматическом режиме осуществляется контроллером Omron CJ1-N с центральным процессором (CPU) 45 в соответствии с программой работы. Обмен информацией между программируемым логическим контроллером (PLC) и OPC Server происходит по ethernet кабелю с протоколом связи Omron FINS.



Система автоматического управления поделена на контуры управления. Каждый контур отвечает за свою технологическую операцию. Если контур управления не включен, то все устройства, которые в него входят, будут работать в ручном режиме. При включении контура управления устройства начинают работать в автоматическом режиме. Общий алгоритм работы содержит этапы подготовки и диагностики перед пуском, прогрева, пиролиза и условий остановок.

Программа управления и комплекс графического управления гибкие в плане обслуживания, что дает возможность произвести замену оборудования, не нарушая работы всей системы в целом. Использование относительно простого оборудования даёт возможность оперативно и в кратчайшие сроки заменять вышедшее из строя оборудование.

Околов А.Р., Мордасова Е.В., Цедик Н.П.
Белорусский национальный технический университет

Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа российских и белорусских пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования.

Для обеспечения информационного обмена между всеми участниками транспортного комплекса необходимо создание единой информационной среды или региональной навигационно-информационной системы (РНИС).

Программное обеспечение РНИЦ должно состоять из системного программного обеспечения, реализующего стандартную функциональность, необходимую для работы РНИС (операционные системы, системы управления базами данных, служебные системы), и прикладного программного обеспечения, реализующего функционал РНИЦ.

Аппаратный комплекс РНИЦ должен состоять из следующих основных элементов: оборудования связи, обеспечивающего подключение к РНИЦ пользователей с использованием цифровых каналов связи стандарта TSP/IP; серверы, обеспечивающие обработку информации; системы хранения данных; системы резервного копирования данных.

Для хранения информации в РНИС должны использоваться современные реляционные базы данных (БД). БД системы представляет собой БД формата MS SQL Server и состоит из определенного набора таблиц установленной структуры представлений, пакетов, хранимых процедур и других объектов БД, используемых программным обеспечением системы представления и анализа информации. БД построена по объектно-реляционному принципу, основой которого является информационная модель типа сущность-связь. Управление хранением данных внутримашинной информационной базы осуществляется с помощью программного обеспечения СУБД MS SQL Server.

Основным назначением решений по информационной безопасности является защита РНИС от угроз и рисков деструктивного воздействия, от возможного нанесения ощутимого ущерба посредством несанкционированного вмешательства в процесс функционирования РНИС или к циркулирующей в ней информации.

УДК 621.317.7

Комплекс беспроводного контроля провисания мостов и деформации тоннелей

Тозик А.С., Садоменко С.Л., Оробей А.С., Кочетков Р.В.,
Робатень В.О., Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

Разработан комплекс для измерений в автоматическом и полуавтоматическом режиме со следующими преимуществами перед аналогами:

- автономная работа 14 дней;
- запись всех измерений на SD накопитель;
- широкие настройки измерений и удобный интерфейс высшего уровня;
- online режим на расстоянии до 500м;
- легкость замены элементов измерительного модуля;
- передача данных в Excel.

Устройство (рис.1) содержит: 1 – радиомодуль, который позволяет работать с низким энергопотреблением в онлайн режиме на частоте 2,4 GHz и скоростью до 2mbps; 2 - микроконтроллер ATmega328 отвечающий за обработку приходящих сигналов управления и работу в автономном режиме; 3 - плата для зарядки аккумуляторов и защиты от перезаряда; 4 - лазерный дальномер; 5 –аккумуляторы.

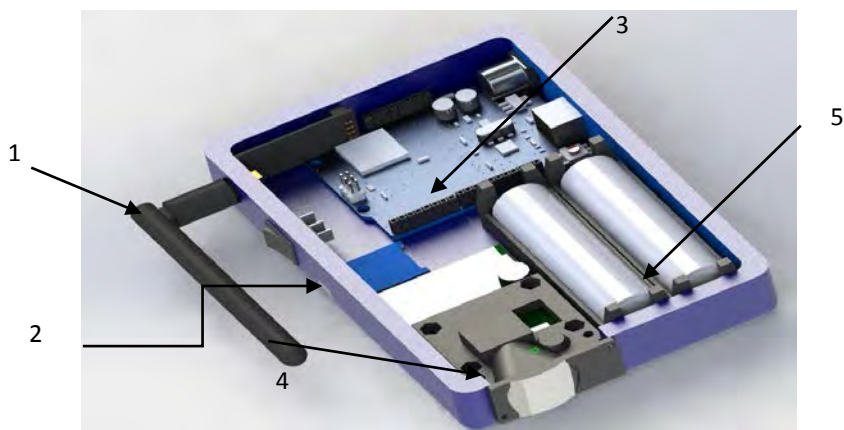


Рисунок 1 – Устройство беспроводного контроля

Автоматизация бухгалтерского учета

Белая О.В., Гутич И.И., Новичихина Е.Р.
Белорусский национальный технический университет

Неотъемлемой частью успешного бизнеса является автоматизация бухгалтерского учета. Ведение бухгалтерского учета вручную – это очень сложный процесс, а порой и невозможный. Автоматизация бухгалтерского учета – это ведение бухгалтерского (оперативного) учета с применением компьютеров и компьютерных программ. Такие программы способны брать на себя функции бухгалтера и значительно облегчать и ускорять процесс работы. Принцип автоматизации заключается в том, что бухгалтер вводит исходные данные, а компьютер подсчитывает итоги, составляет отчетность. Автоматизация имеет большое количество преимуществ, например, сокращение трудовых затрат на обработку информации, экономия средств на оплату труда, повышение экономичности и эффективности бухгалтерского учета, совмещение бухгалтерского и оперативного учета, защита данных и другие.

Прежде чем вводить систему автоматизации бухгалтерского учета, следует решить, какая именно программа нужна компании, какие улучшения ожидаются, после ее внедрения и какие средства предприятие может на это выделить. Выбирая программу, необходимо учитывать размер организации и специфику ее деятельности. Оптимальная программа должна отвечать нескольким требованиям: охватывать всю предметную область учета, предоставлять полный набор первичных документов, формировать всю необходимую бухгалтерскую и налоговую отчетность, обладать удобным и современным интерфейсом, быть простой в освоении. Если раньше выбор программного обеспечения был не так велик, то с развитием научно-технического процесса программных продуктов становится все больше. Сегодня на рынке имеется обширный ряд программ по автоматизации бухгалтерского учета.

В докладе производится сравнительный анализ наиболее распространенных программ по различным критериям и сформулированы рекомендации по области их целесообразного применения.

Делается вывод, что при автоматизации бухучета важно не просто перевести всю бумажную работу на компьютер и облегчить расчеты и отчетность. Важно, чтобы автоматизация увеличила эффективность работы бухгалтерии, что в свою очередь увеличит эффективность управления предприятием, и, как следствие, эффективность его работы в целом.

Испытательный стенд для устройств контроля загрузки лифтов

Табунов Е.А., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет

В системах управления современным лифтовым оборудованием важное место занимает устройство контроля загрузки лифтов, так как от него зависит безопасность и надёжность работы оборудования. Устройство контроля загрузки лифтов (далее УКЗ) предназначено для измерения степени загрузки кабины лифта и передачи этой информации в систему управления лифтом.

Испытательный стенд УКЗ — это образцовая силоизмерительная машина, которая предназначена для специальных, контрольных, приёмочных испытаний УКЗ. При данных испытаниях УКЗ подвергаются действию нагрузок, сопоставимых или превышающих нагрузки в реальных условиях. Целью подобных испытаний является выяснение реакции УКЗ на специфические условия и предельных значений нагрузки.

Структурно испытательный стенд представляет собой совокупность рабочего поля (плиты для закрепления тензодатчиков, являющихся первичными преобразователями), подсистемы нагрузки образца (сервопривод, создающий механическую нагрузку) и контрольно-измерительной аппаратуры (контроллер УКЗ, являющийся вторичным преобразователем), предназначенной для снятия показателей реакции УКЗ на нагрузку. Тензодатчики подвергаются различным ступеням деформирующих нагрузок в соответствии с реально возникающими нагрузками в процессе эксплуатации лифтового оборудования. Аналоговый сигнал, поступающий с тензодатчиков, является показателем загруженности лифтовой кабины в текущий момент времени. Этот сигнал поступает в контроллер УКЗ, где согласно заданной программе он преобразуется в определённый логический сигнал, который, в свою очередь, поступая в систему управления лифтового оборудования, даёт возможность системе оценить степень загрузки или её отсутствие.

Преимуществом испытаний на стенде перед испытаниями в реальных условиях является возможность оценки реакции первичных преобразователей на определённый тип и величину нагрузки при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки. Кроме того можно воспроизводить любое количество комбинаций исходных данных и автоматизировано обрабатывать массивы полученных выходных данных.

О проблеме конвертации типов в современных информационных системах

Кочуров В.А., Касперович В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Конвертация типов (*type conversion, casting*) – это преобразования данных из формата, поддерживаемого одним типом данных (форматом-источником), в формат, поддерживаемый целевым типом данных.

Данная задача является источником большого количества ошибок в программных системах, в первую очередь из-за применения программистами неявного (*implicit*) преобразования. Данные ошибки могут быть разделены на 2 класса: вызывающие отказ программы из-за невозможности выполнить преобразование; приводящие к потере точности или искажению результатов вычисления.

Преобразования элементарных типов данных могут быть сужающими (множество значений исходного типа включает множество значений целевого типа, но не наоборот) и расширяющими. Как правило, ошибкам подвержены сужающие преобразования, т.к. формат более общих типов является более вариативным по отношению к более специализированным.

При миграции данных проблема преобразования типов возникает в следующих случаях:

- различные форматы данных в исходном и целевом хранилищах;
- необходимость проверки данных на этапе трансформации ETL;
- наличие ошибок в программном средстве, обрабатывающем данные, а также архитектурных дефектов в исходном хранилище.

Для минимизации ошибок преобразования типов должна быть разработана формальная архитектура приложения и хранилища; все операции конвертации должны быть функционально протестированы.

В процессе формализованной миграции данных, приложение, выполняющее этап трансформации ETL, должно иметь однозначную формальную модель данных; согласно которой должна выполняться конвертация; ошибочные ситуации должны логироваться и обрабатываться вручную.

Литература

1. Davies, J. Formal model-driven engineering of critical information systems – Jim Davies, David Milward, Chen-Wei Wang, James Welch – Science of Computer Programming, 2015 – P. 88-113.

Метод автоматизированной миграции данных между хранилищами

Кочуров В.А., Касперович В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Задача миграции данных возникает при необходимости переместить актуальные данные между двумя программными системами. Эта задача актуальна при совместном использовании данных несколькими системами, а также при выпуске новой версии или принципиально нового типа программного продукта на замену морально устаревшему ПО.

При использовании программных систем, а также при самом процессе миграции возможно возникновение ошибок целостности и корректности. Одной из распространенных ошибок является неверное преобразование типов данных.

В данной работе предлагается решение, основанное на формальном подходе к миграции данных, а именно, хранение структуры данных и их типов в формате XML (общая схема отражена на рисунке 1). При этом программное средство, осуществляющее миграцию, выполняет следующие операции: чтение данных из исходного источника, исправление ошибок данных в случае их несоответствия исходному типу, слияние или разбиение полей данных по заданным правилам, приведение к заданному типу и сохранение в целевом хранилище.

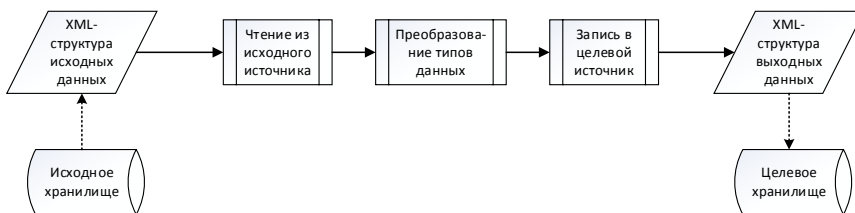


Рисунок 1. Схема процесса миграции данных

Преимуществом такого решения является возможность формализации процесса конвертации данных и снижения его трудоемкости за счет частичной автоматизации процесса исправления ошибок данных.

Литература

1. Russom, P. Best Practices in Data Migration – Renton, The Data Warehousing Institute, 2006 – 13 p.

Импорт данных формата STEP для описания конструкторско-технологических элементов деталей

Полозков Ю.В., Кункевич Д.П., Соловьев Р.Е.
Белорусский национальный технический университет

Любой элемент в файле STEP описывается текстовой строкой, в которой можно выделить три части: номер строки данных, имя сущности и соответствующие атрибуты. При этом геометрическая конфигурация поверхности объекта описывается иерархической структурой сущностей. Этой структурой предполагается переход от неявно заданной сущности, соответствующей целостному объекту, к его составляющим элементам и, в конечном итоге, к явно заданным сущностям, например, к точке. Явно заданные сущности описываются числовыми параметрами. Процесс обработки STEP файла включает три основных этапа. На первом этапе в каждой строке определяются три группы значений, характеризующих каждую сущность: номер, имя и совокупность задающих параметров. Это выполняется посредством регулярного выражения вида: $\backslash s^* \# \backslash s^* (d+) s^* = \backslash s^* (.+?) \backslash s^* (\backslash s^* (.*) \backslash s^* \backslash)$. На втором осуществляется отделение и сохранение вложенных параметров. Используемое для этого регулярное выражение, позволяющее определить вложенные параметры, заключенные в обычные скобки, имеет вид: $\langle \backslash s^* (\backslash s^* (.+?) \backslash s^* \backslash) \backslash s^* \rangle$. На этом шаге все вложенные параметры извлекаются и сохраняются в отдельной структуре. Исходная строка параметров путем замены превращается в перечисление параметров, разделенных запятыми. Те параметры, которые были в скобках, в дальнейшем по принципу дерева добавляются в первичную сущность. Первичная сущность – абстрактный объект, который содержит в себе информацию, получаемую по результатам работы всех регулярных выражений. На третьем шаге перечисление параметров в виде строки посредством регулярного выражения $\langle \backslash s^* (.+?) \backslash s^* , \backslash s^* \rangle$ разделяется на отдельные параметры, которые заносятся в список. Для каждой вложенной строки параметров, сохраненной ранее в отдельную структуру, выполняется аналогичная процедура. В результате второго и третьего шага для каждой отдельной сущности получается сложная структура вида «список в списке», которая в дальнейшем облегчает работу с параметрами.

В результате создается список абстрактных первичных сущностей, которые на следующем этапе интерпретируются согласно схеме сущностей стандарта STEP. На основании полученных данных строится объектная структура со множеством сущностей, которая составит основу для описания конструкторско-технологических элементов деталей.

Реализация модуля конструирования задач для автоматизированной обучающей системы начертательной геометрии

Полозков Ю.В., Шиененко В.С.

Белорусский национальный технический университет

Решение учебной задачи представляется процессом по преобразованию значений входных факторов в значения выходных параметров, который выполняется обучающимся в соответствии с заданными описательными условиями и корректируется путем изменения значений контролируемых (входных) факторов. В соответствии с принципом обучения «от простого к сложному» элементарные задачи используются на начальных этапах, а в последующем задания усложняются и представляют собой комплексные задачи. Комплексная задача, представляет собой логическую последовательность подзадач, при решении которых выходные параметры предыдущих задач являются входными факторами последующих задач. Очевидно, что общий алгоритм решения комплексной задачи может быть представлен в виде совокупности алгоритмов решения составляющих задач. Такое представление создает возможность на основе некоторого заданного множества алгоритмов формировать алгоритмы решения различных комплексных задач. Для реализации этого разрабатывается специальный модуль конструирования задач, который является ключевой частью автоматизированной системы обучения. При его разработке центральное место занимает сущность «Задача». Эта сущность помимо традиционных атрибутов, таких как наименование задачи; текстовое условие задачи и т.п., включает: код алгоритма проверки задачи, список входных факторов, список параметров пользователя, список параметров решения. Данная сущность была положена в основу разработки базы данных для хранения информации о задаче, алгоритмах ее решения, входных и выходных данных для исполнения алгоритмов, статистических данных и т.п. Для работы с этой базой данных разработано программное приложение, включающее три основных формы: первая форма обеспечивает компоновку задач в соответствие с тематикой; вторая позволяет задавать и редактировать описательные условия, входные параметры и исходные статистические данные; третья форма представляет собой конструктор алгоритма решения задачи. Этот конструктор позволяет указывать последовательность алгоритмов, исполнение которых требуется для решения комплексной задачи, определять необходимое значение булевого параметра правильности решения, а также связывать входные факторы и выходные параметры этих алгоритмов.

Модуль отрисовки графических объектов для автоматизированной обучающей системы начертательной геометрии

Полозков Ю.В., Колядко С.В., Оводок М.О.
Белорусский национальный технический университет

Для интерактивного выполнения и автоматизированного контроля задач начертательной геометрии разрабатывается модуль отрисовки графических объектов (рисунок 1). Особенности его реализации и функционирования обуславливаются спецификой преподавания дисциплин начертательной геометрии. Так, в отличие от универсальных САД систем, разрабатываемый редактор поддерживает отрисовку и редактирование не только типовых примитивов, но и специальных – проекций геометрических объектов на плоскости системы координат Монжа. Данные объекты представляют собой, с одной стороны, независимые экземпляры, а, с другой, в соответствии с описанием трехмерного объекта образуют примитив из двух или трех составляющих экземпляров проекций. Это позволяет реализовать оба подхода, применяющихся в решении задач начертательной геометрии: 1) разложение 3D объекта на составляющие проекции и 2) восстановление по заданным двумерным проекциям 3D объекта.

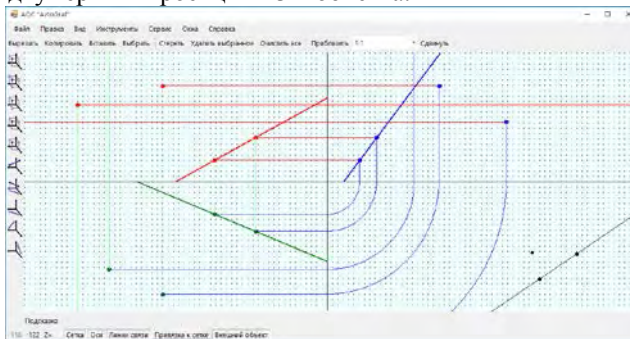


Рисунок 1. Основное окно модуля отрисовки графических объектов

Алгоритмические процедуры, реализованные в соответствующих классах модуля, позволяют именовать примитивы, отрисовывать линии связи, устанавливать специальную раскраску проекций и, главное, контролировать корректность их построения. Данные возможности обеспечивают многовариантность формулировок и способов решения геометро-графических задач.

**Автоматизация проверки выполнения графических задач
в САД системе**

Полозков Ю.В., Подберезкин А.С., Скурчик В.М.
Белорусский национальный технический университет

Контроль выполнения заданий является неотъемлемым и весьма трудоёмким этапом процесса обучения, особенно связанного с САД моделированием. При автоматизации проверки выполнения графических задач важными представляются два основных аспекта: во-первых, непосредственное соответствие заданного и построенного графических образов и, во-вторых, соблюдение методики графических построений. Тогда могут быть реализованы два способа автоматизации проверки задач: контроль итогового решения задачи и контроль процесса (мониторинг) решения задачи. Контроль итогового решения задачи носит статичный характер, а мониторинг решения характеризуется динамичностью, т.к. требует контроля действий, выполняемых пользователем в различные моменты времени. Однако для программной реализации мониторинга решения задач основу составляют алгоритмы контроля итогового решения.

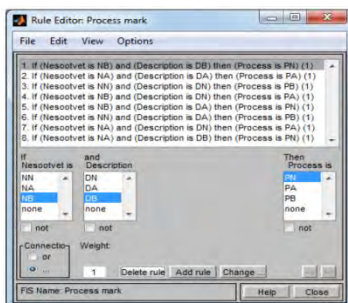
Для разработки алгоритмов, требуемых для контроля итогового решения, прежде всего, выполняется анализ методики графических построений. В ходе этого анализа выявляются основные шаги построения графического образа. Каждый шаг построений представляет собой отдельную подзадачу. Подзадачи могут включать одно или несколько элементарных действий. В первом случае разрабатывается алгоритм, отвечающий за контроль соответствующего действия, который возвращает булево значение параметра правильности решения, значение полученного решения, значения перечислений верного и неверного решений, предназначенных для формирования комментариев по результатам контроля. Во втором случае разрабатывается один или несколько алгоритмов, отвечающих за контроль последовательности действий, выполняемых в рамках подзадачи. В конечном итоге разрабатывается множество алгоритмов, позволяющих контролировать все шаги решения задачи по построению графического образа. Применяя определенные правила кодирования и систематизации, данные алгоритмы могут быть представлены в виде ниже-треугольной матрицы сценариев решения задач, последняя строка которой определяет совокупность требуемых алгоритмов для решения всей задачи. В ходе отработки каждого алгоритма этой совокупности может быть получен соответствующий отклик для формирования динамически или статически выдаваемого списка ошибок.

Разработка приложения для формирования набора объектов насосной станции

Савченко А.В., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Качественная работа насосной станции во многом зависит от объектов этой станции, т.е. от эффективного и экономичного режима работы насосных агрегатов, управляющих объектов и систем. Для моделирования работы насосной станции ее имитационная модель была разработана в системе Simulink. С помощью этой модели была выполнена оценка влияния основных объектов станции на работу всей насосной станции. Основное внимание было уделено насосным агрегатам. Особенностью работы насосных агрегатов является неравномерность графика потребления воды в зависимости от времени суток, дня недели и времени года. Для поддержания постоянного объема подачи воды используются специальные регуляторы (ПИД). Однако классические ПИД-регуляторы имеют неудовлетворительные показатели качества при управлении нелинейными и сложными системами. Поэтому было предложено использовать ПИД-регуляторы, управляемые с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox среды Matlab. С помощью этого пакета в Simulink-модель была включена система нечетких правил, на основании которых делается вывод о действиях, которые необходимо применить к насосным агрегатам и ПИД-регулятору. Пример правил приведен на рисунке.



Пример правил, созданных в Rule Editor

Эксперименты с моделью на основе системы управления с нечеткой логикой показали, что такая модель позволяет уменьшить потребление электроэнергии в сравнении с системой, которая управляется только классическим регулятором.

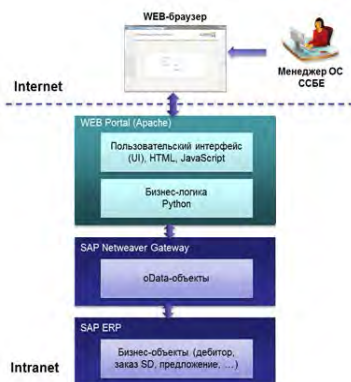
Расширение функциональности сервисов SAP NetWeaver

Чекун О.А., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет

SAP NetWeaver – платформа, разработанная компанией SAP, для интеграции SAP ERP с другими технологиями. Данная платформа позволяет настроить взаимосвязь как с технологиями SAP, так и с продуктами сторонних компаний. Платформа базируется на веб-сервисах, а обмен данными между приложениями происходит через протокол oData с помощью http-запросов.

Использование платформы SAP NetWeaver позволяет обеспечить доступ к функциональности SAP ERP через мобильное приложение или сайт в сети Интернет. В работе был реализован ряд расширений функциональности для корпоративного портала менеджера: ограничение максимальной скидки и надбавки к преysкуранту в карточке клиента; предоставление данных для вывода общего веса материала (для заказа в сумме и для каждой позиции в отдельности); пересчет цен в заказе, если был изменен преysкурант клиента или его ценовые условия (скидки и надбавки); и другие. Архитектура портала менеджера представлена на рисунке.



Общая архитектура портала менеджера

Данные расширения были реализованы в системе ERP с помощью языка программирования ABAP. Для получения данных на портале менеджера необходимо просто обратиться к сервисам с помощью http-запроса.

**Особенности построения системной модели
информационно-аналитической деятельности**

Ивановский А.В., Кочеров А.Л.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Информационно-аналитическая деятельность (ИАД), как правило, организуется с целью извлечения и применения новых знаний, пригодных для использования в цикле управления. Для достижения этой цели в ряде случаев целесообразно использовать системный подход, реализация которого неизбежно приводит к вопросу построения системной модели ИАД.

Простейшей системной моделью ИАД может считаться модель «черного ящика». В роли входов в ней выступают цель проведения ИАД, требования, которым должна удовлетворять эта деятельность и необходимые ресурсы для её осуществления. Выход представляет собой обработанную информацию, которая обеспечивает принятие управленческого решения с требуемым качеством.

При необходимости модель «черного ящика» может быть дополнена моделями состава, связей и структурной схемой ИАД. Особенностью упомянутых системных моделей ИАД является то, что они могут выполняться с различной степенью детализации и полноты, определяемой целью исследования. Так, например, простейшая модель состава ИАД включает в себя три укрупненных этапа (три элемента) – накопление необходимого объема информации об исследуемом явлении, анализ и обработка этой информации, представление результатов анализа в виде, удобном для принятия управленческого решения. В тоже время детализация этой модели может приводить к модели состава из 30 и более элементов. Ясно, что отмеченная особенность в полной мере относится к моделям связей и структурным схемам.

Особое место в исследованиях ИАД занимает модель контурного управления, которая позволяет подходить к изучению этой специфической деятельности с использованием фундаментальных принципов теории управления. Если же, как это часто бывает, ИАД проводится в интересах выяснения причин возникновения исследуемого явления, прогнозирования поведения объекта в будущем, то оказывается полезной схема действий, включающая такие этапы как построение модели и эксперименты с моделью.

В докладе обсуждаются и другие особенности процесса моделирования при проведении ИАД.

Пример построения маршрута движения раздаточной головки 3D-принтера средствами ANSYS

Мартинovich В. В., Напрасников В. В.
Белорусский национальный технический университет

Широкое применение 3D-принтеров для создания деталей машиностроительных конструкций предусматривает возможность построения моделей этих деталей с имитацией последовательного создания слоев заданной толщины. Для создания отдельного слоя требуется на основании геометрической модели предварительно построить маршрут движения раздаточной головки.

В данной работе для достижения этой цели используются средства системы конечно-элементного моделирования ANSYS. Для этого на основе языка APDL предварительно строится сечение модели плоскостями. В каждом сечении формируется массив линий соответствующих однократному проходу раздаточной головки по прямой. Расстояние между линиями является параметром, связанным с особенностью конструкции 3D-принтера, который определяет толщину следа.

На следующих рисунках представлены: вид 3D объекта (рис.1) и его образ, полученный путем склеивания объемов по слоям на основе использования описанного подхода (рис. 2).

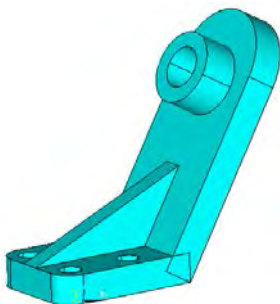


Рисунок 1 – Вид 3D объекта



Рисунок 2 – Образ 3D объекта

Дискретность, заметная на рисунке 2, возникает вследствие заданных значений параметров и может быть уменьшена.

**Динамическая модель компрессорно-конденсаторного агрегата
при переменном пусковом моменте**

Красновская С.В., Напрасников В.В.
Белорусский национальный технический университет

Сила тяги, создаваемая асинхронным трехфазным общепромышленным электродвигателем, передается через узлы крепления на опорную раму конструкции компрессорно-конденсаторного агрегата. При переходном режиме работы, запуске, торможении двигателя на рабочие механизмы действуют нагрузки, близкие к предельным.

Предлагаемая математическая модель системы позволяет исследовать возникающие усилия в узлах крепления на опорной раме при пуске двигателя учитывает инерционные характеристики двигателя, нелинейные характеристики крутящего момента стартера, преднатяг болтов крепления двигателя, натяжение приводного ремня. Для построения конечно-элементной модели и наложения граничных условий использовалась система конечно-элементных расчетов Ansys, в частности платформа Ansys Workbench.

Болты крепления опорной рамы конструкции заменены граничным условием Compression Only Support. Болты крепления двигателя моделируются деформируемыми линейными телами. К данным линейным телам прикладывается усилие преднатяга Bolt Pretension. Натяжение ремня заменено нагрузкой Bearing Load, прикладываемой на цилиндрическую поверхность шкивов.

При анализе системы соблюдается следующая последовательность нагружения: задание усилий преднатяга болтов на первом шаге (для последующих шагов нагружения данный вид нагрузки имел зафиксированное значение Locked); задание натяжения от ремня на втором шаге; задание крутящего момента приводного вала на третьем шаге.

Для определения напряженно-деформированного состояния опорной рамы и узлов крепления в частности при пуске двигателя проводится нестационарный расчет, в котором нагрузки задаются как функция времени. На механическую систему воздействует электромагнитный момент двигателя и суммарный, приведенный к валу двигателя момент сопротивления – статический момент. При расчете времени разгона двигателя учитывается момент инерции нагрузки, так как в общем случае двигатель несет статическую полезную нагрузку на валу и динамическую нагрузку, связанную с разгоном маховых масс механизма.

УДК 621.391.25

Расчет напряженно деформированного состояния конструкции промышленного робота

Обиходов П. А.*, Соловьев А. Н.**, Скалиух А. С.**,
Напрасников В. В.*

Белорусский национальный технический университет*
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону**

Промышленный робот (далее ПР) состоит из исполнительного устройства в виде манипулятора и устройства программного управления. Манипулятор ПР предназначен для выполнения двигательных функций при перемещении объектов в пространстве и представляет собой многосвязный механизм с разомкнутой кинематической цепью. Устройство передвижения служит для перемещения манипулятора или ПР в целом в необходимое место рабочего пространства и конструктивно состоит из ходовой части и приводных устройств.

Целью данной работы было построение модели промышленного робота и проведения анализа напряженно-деформированного состояния конструкции (Рисунок 1).

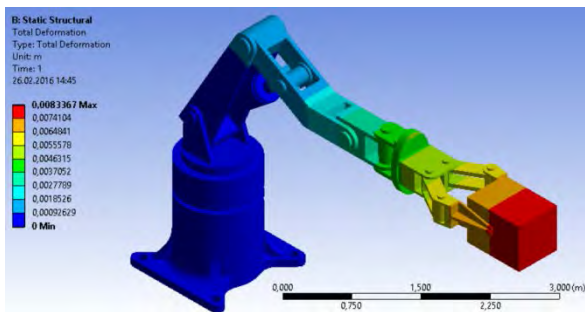


Рисунок 1. Деформированное состояние

Результаты анализа показали, что максимальное суммарное перемещение составило 0,008 м и максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу равно 408 Па при силе тяжести груза в 100 кг. Таким образом, можно сделать вывод, что данная конструкция является работоспособной и поскольку максимальное напряжение не превышает предела текучести материала (250МПа), то в дальнейшем можно улучшить модель на основе оптимизации.

Моделирование механизма складского сортировочного устройства

Ушкина Д.В.*, Напрасникова Ю.В.**,

Соловьев А.Н.***, Скалиух А.С.***

Белорусский национальный технический университет*

Белгорхимпром**

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону***

Подъемные механизмы производят транспортировку материалов, как в вертикальном, так и горизонтальном положении, независимо от объемов и характеристик. Именно поэтому применение подъемных механизмов играет важнейшую роль практически во всех промышленных направлениях.

Целью данной работы было построение модели складского подъемного механизма и проведения анализа напряженно-деформированного состояния и устойчивости конструкции при рабочих нагрузках (рис. 1).

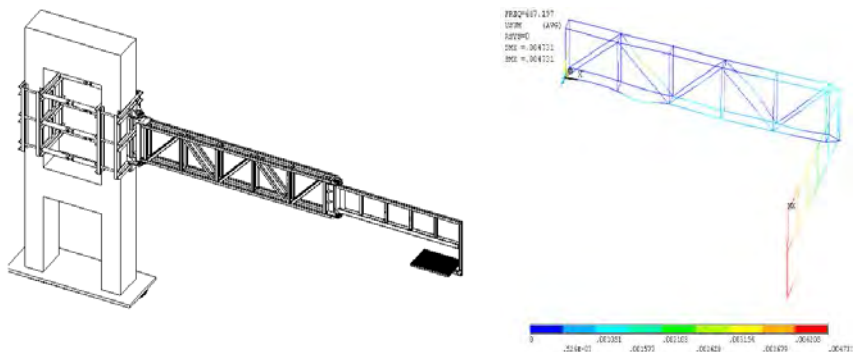


Рисунок 1. Первая форма потери устойчивости для угла 90 градусов

Анализ результатов для рационального варианта показывает, что:

- при увеличении угла поворота второй секции максимальные перемещения на конце стрелы увеличиваются и достигают и суммарной величины 0,11 м, максимальное напряжение по теории прочности Мизеса в конструкции составляет $0,63 \cdot 10^8$ Па,
- коэффициент запаса потери устойчивости по первой форме для угла 90 градусов составляет 667, потеря устойчивости для рассматриваемого варианта не произойдет.

Оптимизация сайтов для повышения конверсии

Пекарчик С.Е., Радевич В. Г.

Белорусский национальный технический университет

Если на сайте имеется целевая страница, которая приносит определенный трафик, то необходимо добиться хорошего уровня **конверсии** этого трафика. Иначе успешный проект будет попросту бесполезным. Конверсия - это количество посетителей сайта, совершивших действие (покупка товара, заказ услуги, платная консультация и т.д.) по отношению к общему числу пользователей ресурса. Средней величиной конверсии является 3-5%.

Существует несколько путей повышения конверсии:

- исключительно качественный контент;
- правильные заголовки и подзаголовки;
- концентрация внимания пользователей в нужных местах;
- простые формы заказа и описания товаров;
- отсутствие запутанных и множественных призывов к действию.

В большинстве случаев, второстепенные факторы заставляют клиентов покидать сайт без покупки. Поэтому необходимо уделять мелочам большое внимание. Для того чтобы подстроиться под мнение большинства следует проводить опросы, создавать форумы и формы для комментариев. Также нужно дать возможность пользователю выразить мнение о продукте через отзывы.

Каждый потенциальный клиент ищет в интернете выгоду, и продвижение сайтов (как по количеству, так и по качеству посетителей) зависит от содержания предложений. Дополнительными способами привлечения посетителей могут быть:

- информация о скидках;
- предложения для постоянных клиентов;
- бонусные программы;
- дополнительные возможности, которых нет у конкурентов.

Еще один важный пункт – актуальность и достоверность информации.

Аналогом выгоды является удобство клиентов. Стоит помнить о том, что некоторые пользователи покупают там, где проще это сделать.

В работе рассмотрен пример информативного сайта до и после оптимизации его структуры и контента. Также рассмотрены принципы, используемые для повышения конверсии в зависимости от присутствия или отсутствия, а также необходимости присутствия у рассматриваемого сайта тех или иных признаков.

О программных средствах управления маршрутом движения дрона

Пекарчик С.Е., Баев Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Дроны год от года становятся все популярнее, а модельные ряды различных компаний пополняются новыми аппаратами. Области применения у них самые разные: разведка и боевые операции, фото- и видеосъемка, доставка еды и посылок, да и просто развлечения. Технология дронов достаточно новая и заслуживает интереса.



Рисунок 1. AR.Drone 2.0 компании Parrot

В докладе рассматривается приложение, которое позволит пользователю формировать маршрут движения и передавать его на выполнение дрону.

Основными функциями программы является:

1. Создание маршрута при помощи карты.
2. Обеспечение связи между ПК и дроном.
3. Отправка и получение данных маршрута.

Взаимодействовать с приложением довольно просто. Пользователь создает отметки на карте, которые должен посетить дрон, или загружает уже ранее созданный маршрут. Это может быть просто прямая от точки 'А' до точки 'Б' или сложная система направлений. Как только пользователь утвердил окончательный маршрут, он подключает дрон к приложению посредством технологии Bluetooth и передает маршрут на выполнение дрону. Дрон обработает полученные данные и полетит по заданному маршруту. После того, как дрон прилетел обратно, пользователь может снова подключиться к дрону и скачать данные полёта.

Исследование переходных процессов синхронного частотно-регулируемого электропривода

Фираго Б. И.

Белорусский национальный технический университет

Преобладающими частотно-регулируемыми электроприводами являются асинхронные. Но в последнее время расширяется область применения синхронного электропривода при независимом регулировании частоты. При пропорциональном частотном управлении синхронного электродвигателя максимальный электромагнитный момент остается на номинальном уровне на всем диапазоне частот при постоянном магнитном потоке взаимоиндукции. Это свойство выгодно отличает синхронный двигатель от асинхронного, где при пропорциональном частотном управлении максимальный момент уменьшается с уменьшением частоты питающего напряжения. В связи с этим возник интерес к исследованию переходных процессов синхронного электропривода с независимым заданием частоты питающего напряжения. В предлагаемом докладе рассмотрены переходные процессы синхронного электропривода при линеаризации угловой характеристики двигателя и наличии роторе демпферной обмотки, которая служит пусковой при прямом пуске синхронного двигателя. В переходном процессе, когда скорость ротора отличается от синхронной, демпферная обмотка формирует асинхронный момент, который складывается с синхронным электромагнитным моментом. Для анализа применен линейный закон изменения частоты питающего напряжения от времени в переходном процессе электропривода. На основании исходных уравнений электропривода получены дифференциальные уравнения второго порядка для угловой скорости ротора и электромагнитного момента синхронного двигателя. Решение этих дифференциальных уравнений позволило получить формулы в замкнутом виде для расчета угловой скорости ротора и электромагнитного момента двигателя в переходном процессе. Исследованы переходные процессы при пуске и торможении электропривода, набросе и сбросе нагрузки. Сопоставление результатов аналитических расчетов с моделированием подтвердило правильность разработанной методики.

Регулирование холодопроизводительности системы кондиционирования пассажирского вагона

Миронович А.В., Примщиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

Релейное управление работой компрессора системы кондиционирования (включён/выключен) приводит к заметному возрастанию давления хладагента перед терморегулирующим вентилем в конце рабочего участка, что увеличивает ток, потребляемый компрессором. Кроме того, частые пуски компрессора с нулевой скорости приводят к повышенному износу трущихся деталей при пуске из-за ухудшения условий смазки.

Вкратце работа холодильного контура системы кондиционирования описывается следующим образом. Хладагент под давлением 1,4 МПа проходит через терморегулирующий вентиль и попадает в дроссель, на котором существенно падает его давление (до 0,6 МПа). Далее, в испарителе происходит его постепенное преобразование в пар с поглощением тепла от продуваемого вентилятором воздуха. Парообразование полностью заканчивается до входа в компрессор, где давление уже составляет около 0,46 МПа. Оптимальному течению процесса кипения хладагента соответствует увеличение его температуры при движении по испарителю на $(7 - 8)^{\circ}\text{C}$, называемое перегревом хладагента. Величина перегрева поддерживается приблизительно постоянной благодаря автоматической системе регулирования, включающей терморегулирующий вентиль и термобаллон. При понижении температуры хладагента на выходе из испарителя жидкость в термобаллоне сжимается, перекрывая терморегулирующий вентиль и, соответственно, снижая расход хладагента в системе. Аналогично, при повышении температуры на выходе из испарителя расход хладагента в системе увеличивается. Однако, данная система регулирует лишь оптимальное заполнение хладагентом испарителя. Давление же на входе в испаритель будет меняться при постоянной производительности компрессора. Увеличение давления перед терморегулирующим вентилем приводит к увеличению тока, потребляемого двигателем компрессора, а также ухудшает условия эксплуатации трубопроводов холодильного контура. Оптимальным решением этой проблемы является автоматическое регулирование скорости вращения вала компрессора в функции давления на входе в терморегулирующий вентиль. При этом будет обеспечено наилучшее заполнение испарителя хладагентом и постоянство действующего значения тока, потребляемого двигателем компрессора, что очень важно для автономных источников электропитания.

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Широко распространенными элементами автоматики являются электрические микромашины (ЭММ), которыми принято называть машины мощностью до $500 \div 600$ Вт [1]. Они выполняют в схемах автоматики различные функции: приведение во вращение различных механизмов и узлов; дистанционное управление, регулирование и контроль; преобразование одних величин в другие (механических в электрические и наоборот); электрическое интегрирование, дифференцирование и др.

По назначению все ЭММ делят на две группы: 1) *ЭММ общепромышленного (широкого) применения* - это в основном микродвигатели постоянного и переменного тока. Например, большое количество различных ЭММ производится только для бытовой техники: холодильники, пылесосы, стиральные машины, миксеры, вентиляторы, электробритвы и т.п. При этом выпускаются электродвигатели с обычными скоростями вращения ($1000 \div 5000$ об/мин), тихоходные (78, 150 об/мин и др.) и высокоскоростные ($12\,000 \div 18\,000$ об/мин); 2) *ЭММ автоматических устройств* - они используются либо как *исполнительные двигатели* в следящих системах, либо как *силовые двигатели* (предназначенные для обычного приведения во вращение механизмов, устройств, приборов), либо как *преобразователи* различных физических и электрических величин.

Общими для всех ЭММ (по сравнению с электрическими машинами средней и большой мощности) особенностями, которые следует учитывать при их проектировании и исследовании схем автоматики, являются следующие:

- С уменьшением мощности возрастают активные сопротивления их обмоток, а также отношения активных и индуктивных сопротивлений обмоток к индуктивному сопротивлению взаимной индукции;
- Большинство ЭММ в магнитном отношении мало насыщены или совсем не насыщены;
- В ЭММ потери в стали весьма малы, которыми можно пренебрегать при расчетах;
- В ЭММ допускаются большие плотности токов в обмотках;
- Из-за увеличения активных сопротивлений обмоток, плотностей тока, намагничивающей мощности, а также механических потерь на трение энергетические показатели (к.п.д. и $\cos \varphi$) ЭММ ухудшаются с уменьшением их номинальной мощности.

**Дискретно непрерывный синтез системы управления
электроприводом**

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Система управления электроприводом содержит как дискретные, так и непрерывные динамические звенья. В объекте управления происходят непрерывные процессы. В системах электроприводов устройства управления реализуются программно на основе микроконтроллеров. Это открывает широкие возможности для формирования разнообразных законов управления.

Управление выполняется посредством импульсных звеньев: микроконтроллера, управляющего электроприводом, и полупроводникового преобразователя электрической энергии.

Обычно микроконтроллер, управляющий электроприводом, формирует модулированный по ширине импульсов сигнал на входе преобразователя электрической энергии с требуемой частотой f_S и с шириной импульсов, пропорциональной сигналу управления, вырабатываемому в соответствии с алгоритмом управления. Частота f_C обновления сигнала управления обычно равна или меньше, чем частота f_S , но кратна ей. Обе частоты, как правило, значительно превосходят частоты среза всех контуров управления, что позволяет синтезировать контуры управления электропривода, используя методы и модели для непрерывных систем.

В наибольшей мере импульсный характер управления влияет на динамику управления током электродвигателя. Поэтому для повышения качества регулирования тока и увеличения запаса устойчивости системы целесообразно синтезировать управление в контуре тока методами теории импульсных систем управления.

Внешний контур во многих случаях предназначен для управления технологическими параметрами, формируя сигнал задания для скорости. Время регулирования, требуемое для внешнего контура, значительно превосходит время регулирования скорости, а частота среза значительно ниже.

В то же время для обработки информации о технологическом процессе и формирования управления технологическими параметрами микроконтроллеру может потребоваться значительное время. Следовательно, внешний контур управления в подобных случаях следует синтезировать с учетом дискретности функционирования цифрового устройства управления (микроконтроллера).

Богуславский П. К.

Белорусский национальный технический университет

Анализ целесообразно начать с назначения тягового привода. Его задачей является осуществление вращения ведущих колес с заданной частотой, соответствующей заданной водителем теоретической скорости или с заданной тяговой нагрузкой. Система деталей и узлов, передающая энергию двигателя ведущим колесам (звездочкам) и другим рабочим органам машин, называется трансмиссией. Трансмиссия изменяет частоту вращения ведущих органов машин и подводимого к ним крутящего момента в заданных пределах по величине и направлению. Существует три основных вида трансмиссии трактора: механическая, гидромеханическая, электромеханическая.

Механические и гидромеханические трансмиссии отличаются простотой конструкции, надежностью, высоким КПД (0,9...0,95), низкой стоимостью. Недостатками таких трансмиссий являются: ступенчатое регулирование скорости, разрыв силового потока и ударные нагрузки при переключении передач, трудность управления, сложность компоновки. Тем не менее, перечисленные положительные качества механических и гидромеханических трансмиссий обуславливают их применение на современных тракторах. На сегодняшний день главной тенденцией мирового автомобиле- и тракторостроения, является производство техники на электротяге. Электрическая трансмиссия без накопителя электроэнергии применяется, главным образом, в дорожно-строительной, сельскохозяйственной, лесной и специальной технике и позволяет:

- снизить динамические нагрузки на узлы машины в целом и на двигатель внутреннего сгорания, в частности;
- уменьшить буксование колес, снизить расход топлива, а значит, и выхлопы газов (экономия 10–20%, в отдельных режимах – до 30%);
- регулировать скорость бесступенчато (электрическая трансмиссия – «автомат»);
- исключить сложные и дорогие механические компоненты;
- повысить надежность (ресурс электрических компонентов на порядок выше, чем механических).

Все вышеперечисленное позволяет повысить производительность трактора и долговечность его трансмиссии, а также уменьшить вредное влияние на окружающую среду. Фактически появляются транспортные средства принципиально нового поколения, за которыми будущее.

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня автоматизация основных технологических процессов успешно внедряется в практику горного дела. Эффективность работы горнодобывающих и угольных предприятий во многом зависит от уровня автоматизации оборудования, используемого в технологических процессах. Автоматизация производственных процессов позволяет резко увеличить производительность, улучшить условия труда (повысить безопасность и санитарно-гигиенических условия труда, значительно снизить риск развития хронических профессиональных заболеваний, включая неизлечимые и необратимые), снизить трудоемкость работ и является главным направлением технического прогресса в горнорудной промышленности.

В зависимости от особенностей производственного процесса на рудниках применяют те или иные виды автоматических устройств. В установках, в которых не требуется изменения режима в процессе работы, автоматизация в основном заключается в управлении оборудованием, защите от ненормальных и аварийных режимов, контроле и сигнализации о работе установок, а также автоматической блокировке работы оборудования. Такими в настоящее время являются водоотливные установки, погрузочно-перегрузочные пункты, конвейерные установки и др. В тех установках, в которых требуется изменять режим работы по определенному закону, автоматизация включает в себя и автоматическое регулирование (например, рудничный подъем, вентиляторные установки и т. д.).

Автоматизация может внедряться в трёх видах: дистанционное управление, телеуправление и полная автоматизация. Дистанционное управление обычно используют для управления работой такого оборудования, как экскаваторы, бульдозеры, и проходческие горные комбайны. Дистанционное управление обычно используется при добыче в опасных местах – где есть риск оползней, взрывов, падения породы, при подземной добыче. Телеуправление – используется для управления на значительном безопасном расстоянии работой оборудования, находящегося в опасном месте. Повышение степени автоматизации машин позволяет также операторам управлять несколькими горнодобывающими машинами, что способствует максимальному повышению производительности и упрощению режима работы

Сравнение характеристик многофазных асинхронных двигателей

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Многофазные асинхронные двигатели могут быть созданы на базе серийных трехфазных основного исполнения. В некоторых случаях это реализуется при наличии в трехфазных обмотках нескольких параллельных ветвей. Уменьшая их число, получаем многофазную модификацию. При этом геометрия активной части, число витков в фазе и сечение обмоточного провода не меняется.

В случае невозможности такого решения задачи следует менять число эффективных витков в фазе и сечение провода. Используя выражение

$$w_{\phi} = \frac{Z_1}{2 \cdot m} \cdot \frac{U_n}{a}$$

изменением числа параллельных ветвей (a), количества проводников в пазу U_n и числа витков добиваются сохранения значения потока.

Для сопоставления электроприводов с многофазными АД следует ввести ряд исходных данных, определяющих как функциональные свойства, так и массогабаритные показатели. Последние дают возможность рассмотреть экономические аспекты различных вариантов ЭП. Массогабаритные показатели многофазных преобразователей частоты условно увеличиваются на 30% при переходе от трехфазного к шестифазному исполнению, на 60% при переходе к девятифазному и т.д.

Для сопоставления ЭП необходимо использовать определенные показатели, в том числе средндиапазонный КПД, отражающий энергетику АД во всем заданном диапазоне регулирования от n_1 до n_2 и определяемый как эквивалентный усредненный для этого диапазона

$$\eta_{ср.АД} = \frac{1}{n_2 - n_1} \int_{n_1}^{n_2} \eta_{АД}(n) dn.$$

Обобщенный критерий приведенных затрат привода учитывает стоимость изготовления и затраты на эксплуатацию. Так как затраты зависят от КПД и коэффициента мощности, обобщенный критерий приведенных затрат имеет различные значения в разных точках диапазона и целесообразно определять диапазонное значение этого критерия.

При работе АД в составе современных частотно-регулируемых электроприводов из-за близости коэффициента мощности привода к 1 из выражения критерия приведенных затрат электропривода может быть исключена составляющая, соответствующая стоимости компенсации реактивной энергии.

Влияние режимов работы частотно-регулируемого электропривода на изменение электромагнитных параметров

Однолько Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Использование асинхронного привода в технологическом процессе предусматривает рабочий диапазон температур электрических машин, в частности, тяговых двигателей, $-40^{\circ} \dots 150^{\circ}$. В данных условиях, рабочему диапазону температур соответствует 75%-ое изменение активных сопротивлений обмоток двигателя. В системе векторного управления при реализации двухзонного регулирования скорости наблюдается, примерно, 20%-ное увеличение взаимной индуктивности L_m , вызванное ослаблением поля, относительно значения, полученного для номинального режима. Изменения индуктивностей рассеяния статора $L_{\sigma s}$ и ротора $L_{\sigma r}$ в связи с насыщением зубцовой зоны двигателя потоками рассеяния заметным образом проявляются при кратностях тока статора, превышающих 2-3 от номинального значения. Такое изменение, как правило, не превышает 20%-ного снижения относительно своего ненасыщенного значения, даже при токах прямого пуска двигателей на номинальное напряжение.

Активное сопротивление ротора R_r и индуктивность рассеяния ротора $L_{\sigma r}$ изменяются от частоты тока ротора f_r . Установлено, что в распространенном случае векторного управления АД с ограниченными значениями частоты тока ротора, обычно $f_r < 5$ Гц, указанные параметры изменяются незначительно.

В работах [1,2] отмечено влияние высших модуляционных гармоник в кривых тока статора и ротора на увеличение активных сопротивлений соответствующих обмоток АД. Такое изменение лежит в пределах 1-16% в зависимости от модуляционной частоты и мощности асинхронной машины. Максимальное увеличение соответствует более высокой частоте ШИМ и наиболее явно проявляется у двигателей большой мощности.

Литература

1. Масандилов, Л.Б. Особенности определения параметров асинхронного двигателя при частотном управлении / Л.Б. Масандилов, С.Е. Новиков, Н.М. Кураев // Вестник Московского энергетического института. – 2011. – № 2. – С. 54–60.
2. Волков, А.В. Потери мощности асинхронного двигателя в частотно-управляемых электроприводах с широтно-импульсной модуляцией / А.В. Волков // Электротехника. – 2002. – № 8. – С. 2–9.

Генераторный режим работы вентильно-индукторного двигателя

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

К электроприводу ряда промышленных установок, например промышленные роботы, предъявляются высокие требования к динамике. В этом случае при регулировании координат электропривода необходимо гибкое сочетание двигательного и генераторного режимов работы электрической машины. Генераторный режим работы традиционных электрических машин (асинхронные и синхронные двигатели) достаточно хорошо изучен и отражен в технической литературе. В тоже время широко распространение находят вентильно-индукторные двигатели (ВИД), применение которых обусловлено простотой конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями. При этом двойная зубчатая структура статора и ротора ВИД существенно отличает их от традиционных электрических машин. Отличия в работе ВИД имеют место, как в двигательном, так и генераторном режимах. В общем случае работа ВИД состоит в дискретном переключении фазных обмоток при определенных положениях ротора относительно статора. Отсутствие магнитов на роторе означает, что направление действия электромагнитного момента определяется не направлением протекания тока статора, а угловым положением зубца ротора по отношению к возбужденному зубцу статора. При одном том же значении тока, но разном взаимном положении зубцов статора и ротора электромагнитный момент может быть либо движущим, либо тормозным. Стоит отметить, что отсутствие активных материалов на роторе не позволяет обеспечить генераторный 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 работы ВИД не возможен без 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 полного перекрытия. Этот процесс аналогичен этапу включения фазы в двигательном режиме работы ВИД, но протекает при значительно большем значении индуктивности фазы. Дальнейшее протекание тока обусловлено увеличением ЭДС вращения, которая зависит от тока возбужденной фазы и скорости вращения ротора. На данном этапе вначале происходит возрастание тока, а затем его уменьшение до минимального значения в рассогласованном положении зубцов статора и ротора.

Рекуперативное торможение синхронного двигателя с постоянными магнитами в электромобилях

Нго Фьонг Ле

Белорусский национальный технический университет

В последнее время электрические транспортные средства (ЭТС) получили распространение в качестве альтернативы традиционным транспортным средствам, оснащенным двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В ЭТС возможно использовать рекуперативное торможение, что невозможно осуществить в обычных транспортных средствах с ДВС. Рекуперативное торможение – вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, возвращается в аккумулятор.

На рис 1 приведена схема электропривода синхронного двигателя с постоянными магнитами. Эта схема тоже может использоваться для рекуперативного торможения.

При низкой скорости, ЭДС меньше напряжения аккумулятора, аккумулятор не заряжается. В этом случае схема работает в качестве повышающего преобразователя путем переключения нижних ключей (Т2,Т4,Т6). Если ключи Т2,Т4,Т6 открыты, электроэнергия накапливается в обмотках. Если ключи Т2,Т4,Т6 закрыты, энергия протекает через диоды D1,D3,D5 и заряжает аккумулятор. Оптимальная скважность переключения ключей обеспечивает получение максимального зарядного тока. На рис 2 представлена зависимость зарядного тока от скважности и ЭДС.

При высокой скорости, ЭДС больше напряжения аккумулятора, ключи Т2,Т4,Т6 закрыты, схема работает как выпрямитель.

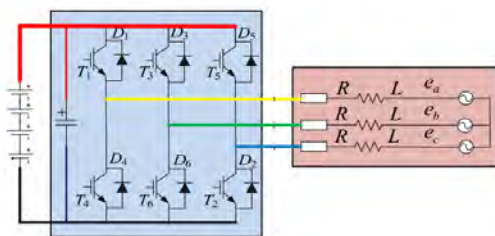


Рис. 1

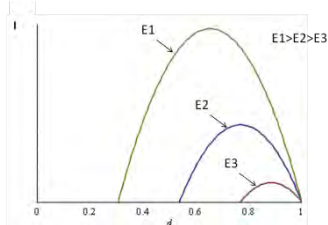


Рис. 2

Крук Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Развитие современных информационных технологий напрямую связано с вопросами развития компьютерного зрения. Детектирование образов компьютером является достаточно актуальной задачей, поскольку ее решение способствует развитию современных систем организации безопасности, например, помогает в вопросах разработки качественных систем слежения и др. В настоящее время одним из основополагающих методов в задаче детектирования лиц на изображении в реальном времени является метод Виолы-Джонса. Указанный метод был разработан и представлен в 2001 году П. Виолой и М. Джонсом. В основе метода лежит использование так называемых признаков Хаара, с помощью которых происходит поиск нужного объекта, например, лица, глаз, улыбки и др. В задачах распознавания лиц на видео большую роль играют каскады Хаара, которые позволяют сравнивать близкие изображения в задачах сопровождения детектируемого объекта между соседними кадрами видео. В настоящее время разработаны и активно применяются стандартные классификаторы для детектирования фигуры человека, лица, глаз и т.п. Вместе с тем достаточно актуальной является проблема индивидуального детектирования, когда возможным является распознавание конкретного человека.

Рассматривается задача разработки каскада классификаторов Хаара для детектирования конкретного лица с помощью средств библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Необходимо определить на видеопотоке в режиме реального времени лицо конкретного человека. Найденный образ требуется заключить в прямоугольную область. Для решения поставленной задачи было выполнено поэтапное «обучение» классификаторов. Для обучения использовалось два множества изображений: в одном множестве (обучающей выборке) находились изображения с детектируемым объектом, на изображениях другого множества объект отсутствовал. Объем обучающей выборки – 250 изображений, объем выборки с элементами фона – 500. В процессе обучения, занявшем около шести часов, было пройдено 14 стадий. Результатом работы является разработанная программа на языке Python, использующая построенный каскад классификаторов Хаара. Данные получаются в режиме реального времени с помощью web-камеры.

**Стационарное распределение сетей массового обслуживания
с неактивными заявками и многорежимными стратегиями
обслуживания**

Крук Ю.С.¹, Дудовская Ю.Е.²

Белорусский национальный технический университет¹

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины²

В настоящее время в теории сетей массового обслуживания проблема исследования сетей с частично ненадежными обслуживающими узлами становится все более актуальной. Ю. В. Малинковский ввел в рассмотрение класс сетей массового обслуживания с многорежимными стратегиями обслуживания. Узлы в таких сетях могут функционировать в нескольких режимах, соответствующих различной степени работоспособности. Однако не только узел может выходить из строя, поступающие в систему заявки также могут терять свои качественные характеристики. С этой точки зрения большой интерес представляют сети массового обслуживания с неактивными заявками, которые были впервые рассмотрены Г. Ш. Цициашвили. Заявки в таких сетях делятся на два класса: первые могут обслуживаться узлами, а вторые являются неактивными и не обслуживаются, скапливаясь в очередях узлов. Неактивные заявки можно интерпретировать как заявки, имеющие некоторый дефект, делающий их непригодными для обслуживания. В большинстве случаев исследователей интересуют характеристики стационарного функционирования таких сетей, в частности вид стационарного распределения вероятностей состояний.

Рассматривается замкнутая сеть массового обслуживания с неактивными заявками и многорежимными стратегиями. Времена обслуживания заявок в узлах распределены по показательному закону. Каждый узел сети может функционировать в нескольких режимах, отвечающих различной степени работоспособности узла. В узлы сети поступают независимые простейшие потоки информационных сигналов, переводящих заявки в неактивное состояние и обратно, когда они снова могут получать обслуживание. Времена пребывания в режимах распределены по произвольному закону. Устанавливается инвариантность (нечувствительность) стационарного распределения вероятностей состояний сети по отношению к функциональной форме распределений длительностей пребывания в режимах при фиксированных первых моментах.

Возможности реализации алгоритмов ЭЦП на основе .NET Framework Security

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Аутентификация сообщений защищает две обменивающиеся сообщениями стороны от любой третьей, но не обеспечивает защиту каждой из сторон от другой. Поэтому в ситуациях, когда нет полного доверия между отправителем и получателем, требуется нечто большее, чем аутентификация. Наиболее привлекательное решение проблемы – использование электронной цифровой подписи (ЭЦП).

Технология применения электронной цифровой подписи предполагает наличие сети абонентов, посылающих друг другу подписанные электронные документы. Для каждого абонента генерируется пара ключей: открытый и личный. Личный ключ хранится абонентом в тайне и используется для формирования ЭЦП. Берется исходное сообщение и создается его хеш-код при помощи одного из алгоритмов хеширования. Затем хеш-код шифруется при помощи личного ключа отправителя сообщения. Результат шифрования и есть ЭЦП. Открытый ключ известен всем другим пользователям и предназначен для проверки (верификации) ЭЦП получателем документа.

В библиотеке классов .NET Security поддерживаются асимметричные алгоритмы DSA и RSA. В основе всех асимметричных алгоритмов лежит класс `AsymmetricAlgorithm`. Класс `AsymmetricAlgorithm` располагается в пространстве имен `System.Security.Cryptography` и является абстрактным классом. Из него производятся классы алгоритмов: RSA и DSA, которые также являются абстрактными. Из классов RSA и DSA затем производятся классы `RSACryptoServiceProvider` и `DSACryptoServiceProvider`, которые обеспечивают реализацию алгоритмов. Эти классы являются оболочками для Microsoft Crypto API. Способы работы с электронной цифровой подписью с помощью классов `DSACryptoServiceProvider` и `RSACryptoServiceProvider` практически идентичны. Публичные методы и свойства классов `DSACryptoServiceProvider` и `RSACryptoServiceProvider` также во многом аналогичны. Методы позволяют, например, вычислить хеш-код сообщения и подписать его, верифицировать заданную подпись, сравнив ее с подписью, вычисленной для заданного сообщения и т.д. Конструктор класса автоматически генерирует ключевую информацию в момент создания экземпляра. С помощью публичных свойств можно получить имя алгоритма обмена ключами, разрешенные размеры ключей, размер ключа в битах и другие параметры ЭЦП.

Защита DNS

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день сообщество пользователей Интернет достигло немислимых размеров, и далеко не все его члены заслуживают доверия.

Служба DNS является достаточно критичным и важным компонентом, который используется каждый раз при отправке сообщения электронной почты или доступе к Web-странице. Она предназначена для преобразования символьных доменных имен, удобных для пользователей, в IP-адреса и представляет собой иерархически организованную распределенную базу данных, рассеянную по многим серверам имен.

Однако при разработке DNS защита была отнюдь не главной целью. Фактически DNS представляет собой незащищенный протокол. Служба DNS не проверяет, поступил ли ответ от аутентичного источника и содержит ли он аутентичные данные.

По причинам все большего распространения протокола IPv6, доступ к компьютерам через DNS имена станет еще более важным.

Одним из решений, которые можно использовать для защиты DNS среды, является применение протокола DNSSEC, представляющего собой собрание расширений, повышающих надежность DNS.

DNS клиент позволяет DNS серверу выполнять проверку от своего имени, при этом DNS клиент способен принимать DNSSEC ответы, возвращаемые с DNS сервера. Сам DNS клиент настроен на использование таблицы политики разрешения имен (Name Resolution Policy Table – NRPT) для определения того, как ему взаимодействовать с DNS сервером.

Для аутентификации DNS сервера используется протокол IPsec. DNSSEC использует SSL для подтверждения того, что подключение защищено. DNS сервер проходит проверку подлинности с помощью сертификата, подписанного доверенным издателем.

Таким образом, DNSSEC предоставляет новые функции, которые помогут сделать DNS инфраструктуру безопаснее, посредством совместного использования подписанных DNS зон, SSL защищенных подключений к доверенным DNS серверам и IPsec аутентификации и шифрования.

Оптимизация сайтов для поисковых систем

Борисова И.М.

Белорусский национальный технический университет

Поисковая оптимизация сайта – правильный алгоритм действий, который предусматривает улучшение сайта изнутри для успешного индексирования его роботами всех поисковых систем и повышения релевантности контента. Конечный результат: высокие позиции ресурса по ключевым запросам в поисковиках.

Полезный веб-проект, без правильной оптимизации сайта для поисковых систем, вряд ли сможет обрести должную популярность. Поисковую оптимизацию SEO (search engine optimization), принято разделять на внутреннюю и внешнюю. Внутренняя оптимизация сайта становится одним из самых креативных этапов работы над сайтом. Это и повышение юзабилити, правильная подача информации, удобство пользования ресурсом и как результат высокие поведенческие показатели и позиции в поиске. SEO-оптимизация происходит отдельно по каждому из ключевых слов и состоит из следующих этапов:

На сегодняшний день, является некое мнение о том, что оптимизация перестала давать тот эффект, который давала раньше, поэтому заниматься ею не только бессмысленно, но даже вредно. Этот миф образовался на почве того, что поисковые машины поменяли в корне свои алгоритмы, в связи с чем, старые методы поисковой оптимизации сайта перестали работать или их реализация в значительной степени усложнилась. Однако оптимизаторы, тоже не стали стоять на месте и в результате многочисленных опытов нашли способы, как оптимизировать сайт так, чтобы он “понравился” ПС.

Поисковая оптимизация позволяет улучшить ваш сайт и сэкономить время. В общем, для поискового продвижения и за то чтобы получать дешевый поисковый трафик и не платить кучу денег на рекламу, надо заниматься оптимизацией комплексно и правильно. Улучшать юзабилити сайта, заниматься перелинковкой, усиливать свой сайт с помощью тематических ссылок и конечно же писать уникальный и качественный контент.

Литература

1. Оптимизация сайтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sovetywebmastera.ru/kak-prodvinyt-sait/stoit-li-zanimatsya->
2. Оптимизация сайтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://7bloggers.ru/optimizaciya-sajta-dlya-poiskovyx-sistem>

Место моделирования поведения объектов в разработке программного обеспечения

Бугай О.В., Бухвалова И.А.

Белорусский национальный технический университет

В [1] был рассмотрен вопрос о возможных подходах к проектированию информационных систем. В данном случае акцентировано внимание на диаграммных техниках объектно-ориентированного анализа при моделировании поведения предмета разработки. Итак, описание поведения выполняют для объектов типа Control, порожденных управляющими классами. В случае отсутствия таких можно всю программу трактовать в качестве активного объекта. Для моделирования поведения предмета разработки прибегают к одному из видов диаграмм: диаграмме состояний (StatechartDiagram) либо диаграмме деятельности (ActiviteDiagram).

Диаграмма состояний, по существу, является графом специального вида, который представляет некоторый автомат и, следовательно, для построения и понимания семантики конкретной диаграммы состояний надо учитывать не только особенности представления моделируемой сущности, но и знать общие сведения из теории автоматов. В UML автомат представляет собой некоторый формализм для поведения элементов моделей и системы в целом. Диаграмма деятельности (активности) является альтернативой диаграммы состояний. Главное отличие между ними в том, что в первом случае основное – действие, а во втором – статическое состояние. Когда параллельно выполняемые действия оказывают влияние друг на друга, возникает необходимость синхронизации отдельных действий. В этом случае на помощь приходит диаграмма деятельности, позволяющая реализовать упомянутую синхронизацию с помощью переходов «разделение-слияние». Имеется также возможность для описания поведения объектов прибегать к моделям, содержащим элементы диаграммы состояний и диаграммы деятельности. Это существенно повышает возможности обсуждаемых выше диаграммных техник.

Литература

1. Бугай, О. В. Возможные подходы к проектированию информационных систем / О. В. Бугай, И. А. Бухвалова // Информационные технологии в образовании, науке и производстве : III Международная научно-техническая интернет-конференция, 20-21 ноября 2015 г. Секция 2 [Электронный ресурс]. - [Б. и.], 2015. URI <http://rep.bntu.by/handle/data/21901>

Бугай О.В., Бухвалова И.А.

Белорусский национальный технический университет

В [1] были рассмотрены возможные подходы к проектированию информационных систем. В данном случае акцентировано внимание на возможных способах представления бизнес-процессов. Наибольшее распространение при моделировании бизнес-процессов получили диаграммы системного структурного анализа IDEF0, DFD и IDEF3. Центральное место в этом списке занимает диаграмма IDEF0. Правда, при разработке информационных систем предпочтение отдают DF-диаграммам, так как на ней можно явно указать отправителя и получателя информации, а также место хранения информации в ожидании обработки. На DF-диаграмме в отличие от диаграмм IDEF0 нет возможности представить исполнителей, а также распределение работ большого проекта по субподрядчикам. К сожалению, ни на диаграмме IDEF0, ни на DF-диаграмме невозможно представить логику выполнения процессов. Благодаря наличию перекрестков с этим успешно справляется диаграмма IDEF3. По этой причине в структурном системном анализе при моделировании бизнес-процессов часто прибегают к комплексным моделям с применением при необходимости упомянутых диаграммных техник в одной модели. Структурный системный подход при моделировании бизнес-процессов универсален и совершенно не влияет на то, какой подход будет применен в продолжение разработки программного обеспечения: структурный, объектно-ориентированный, компонентный. Открыв файл в RationalRose, можно, погрузившись полностью в это CASE-средство, разработать всю программу, включая проработку модели бизнес-процесса. Для этого можно использовать UML-диаграммы UseCaseDiagrams либо ActivityDiagrams. Отметим, что приверженцы графического редактора VISIO могут все рассмотренные выше подходы моделирования бизнес-процессов реализовать в этом средстве.

Литература

1. Бугай, О. В. Возможные подходы к проектированию информационных систем / О. В. Бугай, И. А. Бухвалова // Информационные технологии в образовании, науке и производстве : III Международная научно-техническая интернет-конференция, 20-21 ноября 2015 г. Секция 2 [Электронный ресурс]. – [Б. и.], 2015. URL <http://rep.bntu.by/handle/data/21901>.

Компьютерная модель 3-D принтера

Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается компьютерная модель управляемой электро-механической системы двухзвенного механизма (3-D принтера), которая может составлять основу выполнения операций аддитивного производства. Общий вид модели и геометрия двухзвенного механизма с обозначением основных параметров приведены на рисунке 1.

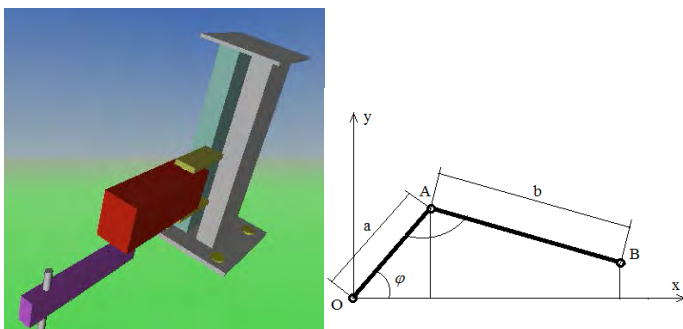


Рисунок 1 – Модель 3-D принтера и схема двухзвенного механизма

Для связи параметров используются математические соотношения:

$$x_A = a \cdot \cos \varphi, \quad y_A = a \cdot \sin \varphi, \quad x_B = x_A + \sqrt{b^2 - (y_A - y_B)^2}.$$

Приведенные уравнения позволяют решать прямую и обратную задачи управления принтером. Как видно, для решения обратной задачи, необходимо решить нелинейное уравнение, например численным методом деления отрезка пополам. В качестве исполнительных механизмов позиционирования звеньев используются электроприводы с двигателями постоянного тока. 3-D модель принтера и программная реализация его управления выполнена в среде Matlab-Simulink.

Представленная модель 3-D принтера позволяет на ранних этапах проектирования оценить работу манипулятора, выбрать требуемые параметры исполнительных устройств, а также может использоваться в учебных целях.

Разработка программы для исследования и синтеза динамических систем с интервальными параметрами

Несенчук А.А., Бесчетвертный М.В., Барковский А.С.
Белорусский национальный технический университет

Цель работы состоит в реализации компьютерной программы для построения корневых портретов различных типов конфигураций динамических систем второго порядка с интервальной неопределенностью. Основными задачами являются: 1) формирование аналитических моделей для построения корневых портретов систем; 2) построение корневых портретов систем в виде полей корневых траекторий; 3) установление типа корневого портрета; 4) формирование корневых портретов заданных типов для интервальных систем.

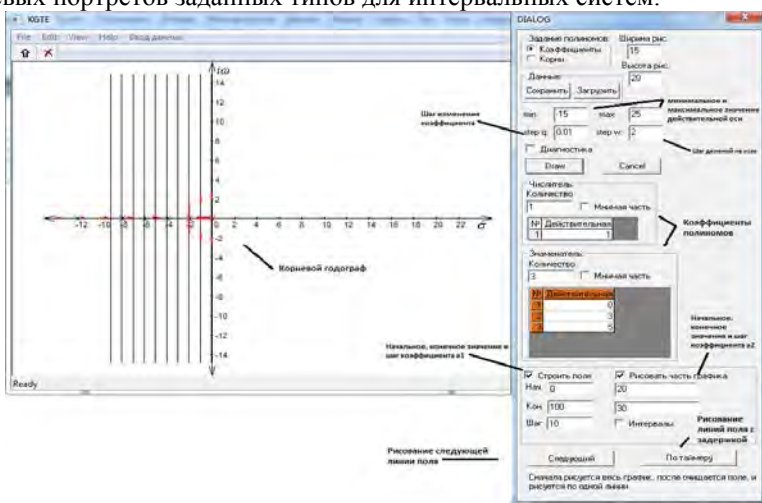


Рисунок 1 – Интерфейс пользователя и поле корневых траекторий

Программа реализована на C++, пользовательский интерфейс разработан с помощью фреймворка MFC. Для приближительного нахождения вещественных корней многочлена с вещественными коэффициентами используются итерационные методы. Разработанные средства построения корневых портретов заданных интервальных систем и формирования корневых портретов позволяют определить характер переходных процессов в системе и обеспечивают возможность придания системе требуемых динамических свойств.

Исследование динамических свойств и размещение корней интервальной системы в заданной области

Несенчук А.А.

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

В работе рассматривается вопрос исследования и синтеза семейств динамических систем с интервальной неопределенностью второго порядка. Решаются следующие основные задачи: 1) определение фактической области G расположения корней заданной системы; 2) размещение семейства корней системы в заданной области Q . Для решения задач используются корневые портреты систем. Динамические свойства системы описываются характеристическим полиномом вида

$$p(s) = s^2 + a_1 s + a_2, \quad (1)$$

$$\text{где } \underline{a}_j \leq a_j \leq \bar{a}_j, \quad j = 1, 2, \quad s = \sigma + i\omega$$

На основе исследования динамики корней семейства (1) устанавливаются 5 основных возможных типов конфигурации его корневого портрета: комплексный (рис. 1), граничный комплексный, действительный, граничный действительный и смешанный, определяющей динамические свойства системы в целом. Приводятся соотношения коэффициентов, при которых портрет имеет ту или иную конфигурацию и, таким образом, определяется фактическая область G (рис. 1).

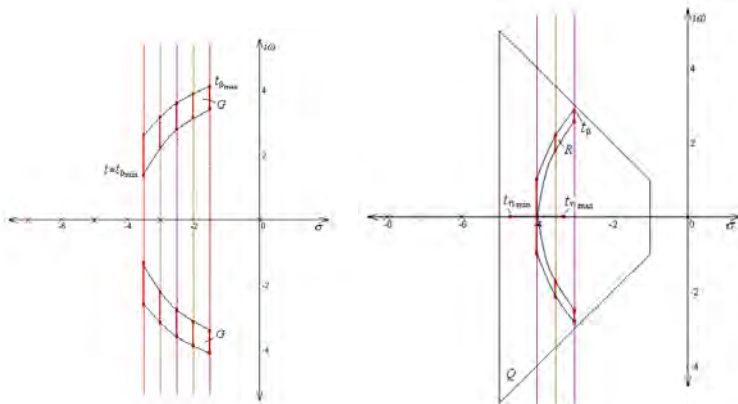


Рисунок 1 – Комплексный портрет. Рисунок 2 – Размещение корней

Размещение корней в области Q выполняется посредством вычисления координат граничных точек портрета (например, t_{β} , $t_{\eta \min}$ и $t_{\eta \max}$ на рис. 2) на основе приведенных выше типов конфигурации.

Характеристические функции нечетких множеств в математических моделях представления знаний

Попова Ю.Б., Бураковский А.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в системе образования активно используются информационные обучающие системы (ИОС), которые в значительной мере способствуют расширению возможностей, как преподавателя, так и для обучаемого. Знания в ИОС могут быть представлены различными способами, исходя из используемой модели. Условно все модели можно разделить на следующие группы: логические, продукционные, сетевые, фреймовые, математические. Математическая модель на основе теории нечетких множеств имеет явное преимущество – она позволяет представлять и оценивать неформализованные знания максимально точно.

В основе представления знаний по изучаемым предметам с использованием теории нечетких множеств лежит нечеткий ориентированный граф $\bar{G} = (E, S, \mu_{\bar{G}}(e), \mu_{\bar{G}}(s))$. Вершины графа – это множество концептов E (предметных элементов). Дуги графа отображают отношения $S \subset E \times E$, которые характеризуют структуры предметных знаний. Вершины и дуги содержат функции принадлежности нечетких множеств и являются представлением эксперта о предмете. Функция принадлежности $\mu_G(x)$ является характеристикой нечеткого множества. Тогда нечетким множеством G называется множество упорядоченных пар $G = \{(x, \mu_G(x)) \mid x \in X\}$, где x – это элементы универсального множества X . Значение $\mu_G(x) = 0$ означает отсутствие принадлежности к множеству, а значение 1 – полную принадлежность. В качестве примера, рассмотрим построение характеристической трапециевидальной функции принадлежности с четверкой чисел (a, b, c, d) для понятия «Студент изучил тему X ». Зададим для неё область определения $X \in [18, 60]$ и три лингвистических термина – «Плохо», «Хорошо», «Отлично». Построив такую функцию принадлежности со следующими координатами: «Плохо» = $[18, 18, 28, 34]$, «Хорошо» = $[28, 35, 45, 50]$, «Отлично» = $[42, 53, 60, 60]$ и сгруппировав эти результаты в таблицу, в дальнейшем можно получать нечеткие запросы с помощью операции нечеткое «И», например, список всех студентов с отличным знанием определенной темы. Способы извлечения знаний должны помочь снять рутинную нагрузку в процессе индивидуализации обучения и высвободить ресурсы для решения принципиально новых дидактических задач, которые обусловлены появлением все расширяющихся возможностей информационных технологий.

Разработка многопоточных приложений с учетом неравномерного распределения нагрузки между потоками посредством состояния ожидания потоков выполнения

Карасик О.Н., Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день в связи с повсеместным распространением многоядерных систем разработка и реализация специализированных многопоточных параллельных алгоритмов, учитывающих как специфику конкретной задачи, так и аппаратно-программные возможности многоядерной системы, является востребованной задачей. Основным преимуществом таких алгоритмов является существенное сокращение времени решения задачи по сравнению с известными однопоточными и многопоточными реализациями. Главным фактором, влияющим на эффективность таких алгоритмов и их реализаций, является стремление к равномерному распределению нагрузки между потоками выполнения, которое достигается за счет:

1. распределения исходных данных между потоками выполнения;
2. учета зависимости данных одного блока от данных другого блока;
3. создания эффективного алгоритма обработки данных блока.

Как правило все вышеперечисленные факторы напрямую зависят от параметров входного потока данных и являются трудно предсказуемыми на этапе разработки многопоточного приложения.

Данное исследование направлено на алгоритмы решения блочно-параллельных задач, где при равномерном распределении входных данных и блоков между потоками выполнения, нагрузка на блоки является неравномерной. Примером такой задачи является решение СЛАУ блочно-параллельными методами Гаусса, где исходная матрица разделяется на равные блоки, однако расчет блоков с большим индексом занимает больше времени из-за зависимостей между данными. В методе Флойда-Воршала решения задачи нахождения кратчайшего пути в ориентированном ациклическом графе расчет может быть разделен на равные по количеству вершин блоки, однако в зависимости от количества ребер в блоке расчет внутри отдельного блока происходит за неравное время.

Для компенсации разницы в нагрузке между потоками выполнения, обусловленной исходными данными самой задачи, можно использовать время ожидания потока (время ожидания окончания расчета зависимых данных, время ожидания окончания итерации и т.д.) с целью передачи вычислительной нагрузки от более загруженных потоков к менее загруженным потокам.

Один из подходов автоматизированного управления движением пловца

Скудняков Ю.А., Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе предлагается один из подходов решения задачи автоматического управления движением пловца. Принцип управления осуществляется с помощью использования автоматизированной системы управления (АСУ), которую можно представить в виде следующей схемы:

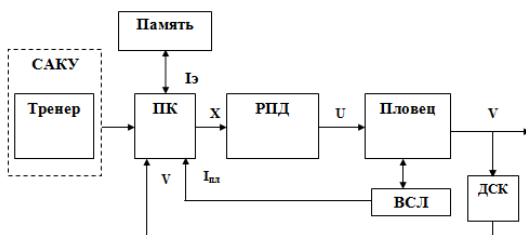


Рисунок 1 – Схема АСУ движением пловца

На рисунке 1 обозначены: САКУ – система анализа, контроля и учета параметров движения пловца в дискретные моменты времени с заданным периодом дискретизации, одним из основных элементов которой является человек-тренер, анализирующий, контролирующий и учитывающий показатели качества процесса движения пловца, а также участвующий непосредственно в управлении перемещением спортсмена; ПК – персональный компьютер; РПД – радиопередатчик; ВСЛ – видеосистема слежения за движением пловца; ДСК – датчик скорости движения пловца; X – задающее воздействие, контролирующее на выходе ПК перемещения спортсмена в водной среде на основе сравнения с эталонной моделью движения пловца с учетом его антропологических и антропометрических параметров для достижения максимально возможной скорости; U – управляющее воздействие, генерируемое РПД на определенной радиочастоте; V – скорость движения пловца. ВСЛ фиксирует видеоизображение движения пловца, а ДСК – измеряет значение V . Эти данные поступают в ПК для обработки. Роль САКУ заключается в выполнении функций анализа, контроля и учета реальных параметров движения пловца с целью принятия тренером соответствующего решения построения оптимального процесса перемещения пловца в водной среде для достижения V_{\max} .

Исследование методов, разработка алгоритмов и программных средств обработки больших данных с использованием технологии torrent

Трофимов Д.К., Прихожий А.А.
Белорусский национальный технический университет

Целью работы является изучение специфики работы протокола BitTorrent и применение полученных знаний в разработке сервиса для онлайн воспроизведения torrent видео файлов прямо в браузере клиента. Основной функцией продукта является онлайн воспроизведение видео контента, через торренты, без необходимости ожидания загрузки всего файла. Прототипом разработки явился «ACE STREAM MAGIC PLAYER».

Принцип работы сервиса следующий: пользователь запускает в нем задачу, которая находится на торрент-трекере. Работу по скачиванию контента продельвает сам сервер, а в браузер отдаётся уже видеопоток, который воспроизводится плеером VLCplayer. Таким образом, после буферизации, пользователь можете смотреть фильм, не дожидаясь полного окончания загрузки последнего на сервер.

Для начала воспроизведения необходимо указать торрент, который пользователь хочет просмотреть. Это может быть как сам torrent-файл так и magnet- или URL-ссылка непосредственно указывающая на него. После этого начнется процесс буферизации контента, трансляция контента в браузер и его воспроизведение. Сервис предлагает возможность выбора нужного файл из группы, если они распространяются одним пакетом. Поддерживается на данный момент видео в формате MP4 и FLV.

К плюсам сервиса можно отнести следующее:

- независимость от операционной системы. Для корректной работы сервиса необходим лишь браузер и vlcPlayer;
- возможность потокового воспроизведение видео высокой четкости;
- возможность воспроизведения эфирного телевидения;
- проигрывание любых торрентов без загрузки.

Тем не менее, сервис не лишен определенных проблем. На текущий момент недоступна перемотка видео — только пауза. Сейчас ведутся работы по разработке алгоритма, который позволил бы проматывать просмотренный видеоролик от начала и до текущей точки загрузки.

Также существует проблема, связанная со спецификой работы самого BitTorrent протокола. Трудности с просмотром видео могут возникнуть в случае малого количество пользователей, раздающих данный контент, либо в случае их полного отсутствия.

Исследование модели стратегии планирования “вероятностный Backfilling” на разных потоках задач

Фролов О.М., Прихожий А.А.

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 работы, требующие для своего выполнения сразу нескольких процессоров. После оптимизации приоритетных работ он выполняет дополнительную оптимизацию обратно заполненных работ. На рис.1а показан план обратного заполнения работ, который не является оптимальным, поскольку он уступает плану, изображенному на рис.1б. Черной заливкой показаны приоритетные работы, штриховой – заполненные работы. Для усовершенствования и оптимизации известного варианта алгоритма Backfill предлагается использовать распределения вероятностей завершения запущенных на выполнение задач в заданном промежутке времени. В результате анализа полученных экспериментальным путем функций распределения вероятностей завершения задач на кластере в зависимости от времени были установлены зависимости вида функции от класса задач. Используя полученные данные можно записать упрощенное условие постановки задачи из очереди ожидания на выполнение через вероятность завершения выполняемого процесса и вероятность освобождения ресурсов, необходимых для запуска данного процесса:

$$P_q(t) = P_{rp}(t)P_r(t),$$

где $P_q(t)$ – вероятность постановки задачи q на выполнение из очереди планирования в момент времени t в зависимости от загрузки системы; $P_p(t)$ – вероятность завершения одной из выполняющихся задач p в момент времени t ; $P_r(t)$ – вероятность освобождения требуемых для выполнения задачи q ресурсов объемом r процессоров в момент времени t .

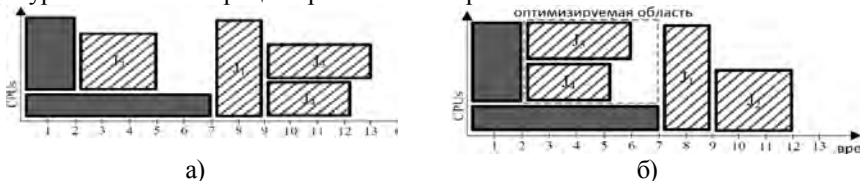


Рис. 1. Неоптимизированный и оптимизированный планы выполнения работ, построенные алгоритмом Backfill

Использование шины AXI для получения видеоданных

Щербаков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Для взаимного обмена данными между процессорными ядрами и ПЛИС в системе на кристалле Xilinx Zynq-7000 организованы каналы: Accelerator Coherency Port (ACP), General Port(GP), High Performamce Port (HP). При необходимости передачи больших объемов данных от процессорных ядер Cortex-A9 в ПЛИС и обратно можно использовать предоставляемый фирмой Xilinx блок AXI Direct Memory Access. Этот блок подключается либо к порту ACP, либо к порту HP и позволяет передавать массив данных в ПЛИС по протоколу AXI-Stream. Кроме использования готовых Intellectual Property (IP) блоков существует возможность разработки пользовательского IP блока, непосредственно подключаемого к порту ACP или HP. При этом на пользователя ложится задача реализации протокола шины AXI. В качестве примера решения задачи связи процессорного ядра ARM Cortex-A9 с блоком FPGA разработан IP блок, имеющий интерфейс AXI-Lite, задачей которого является получение данных со стандартного интерфейса видеочамеры. Для генерации данных видеопотока использована камера OV7670, имеющая VGA разрешение и интерфейс подключения, состоящий из канала управления и канала передачи видеоданных. Интерфейс AXI-Lite является упрощенной версией интерфейса AXI, главным ограничением которого является отсутствие режима пакетной передачи данных. Обе шины имеют пять каналов связи: два канала для чтения данных и три канала для записи.

Для чтения используют канал адресации данных и канал для передачи непосредственно данных. Для записи: канал адреса, канал передачи записываемых данных и канал подтверждения. IP блок камеры имеет входную 8-битную шину для передачи информации о цвете и входные сигналы вертикальной и горизонтальной синхронизации. Данные каждой строки видеоразрешения заносятся во внутреннюю блочную двух портовую память (BRAM) блока FPGA. Для обеспечения требуемой скорости, четная и нечетная строка записывается в свой участок блочной памяти, что позволяет распараллелить запись данных из видеointерфейса и передачу данных в память через шину AXI-Lite.

Разработанный IP блок имеет интерфейс AXI-Lite и позволяет записывать видеоданные по заданному адресу DDR памяти без задействования вычислительной мощности процессорного ядра ARM Cortex-A9.

Оптимальная по энергетическому критерию качества система управления гибридным транспортным средством

Юденков В.С., Гук М.Э.

Белорусский национальный технический университет

Целью исследования является синтез оптимального управления электродвигателем, на базе магистрального метода оптимизации. Проведен синтез оптимального регулятора методом математического моделирования, рассчитан момент переключения с оптимального регулятора на ПИД - регулятор, а также показана экономичность привода по сравнению с обычным ПИД - регулированием. Критерий качества имеет вид:

$$J = \int_0^T (1 + \lambda \Delta P_{\Sigma}) dt$$

Используя магистральный метод оптимизации, получено оптимальное управление:

$$i_a = I_c \pm \sqrt{I_c^2 + \frac{1 + \lambda(g(w) + \Delta P_M(w))}{R_0}},$$

где $g(w)$ – потери мощности в цепи возбуждения, $\Delta P_M(w)$ – потери механической мощности, зависящие от угловой скорости.

Основным двигателем гибридного автомобиля является двигатель внутреннего сгорания ДВС. В качестве вспомогательного двигателя используется либо синхронный двигатель переменного тока, либо двигатель постоянного тока ДПТ. Контур рекуперации энергии состоит из синхронного генератора СГ, электрического накопителя энергии ЭНЭ и электромеханического дифференциала ЭМД. Ключевым элементом гибридной силовой установки является распределитель мощности ЭМД, обеспечивающий перераспределение потоков мощности между механической трансмиссией автомобиля МТ, основным двигателем, вспомогательным двигателем ДПТ и контуром рекуперации энергии ЭНЭ. При всех допустимых изменениях тягово-скоростного режима удалось обеспечить управление частотой вращения коленчатого вала ДВС, минимизировавшее потери мощности в электромеханической системе.

Яцынович С.В., Попова Ю.Б.

Белорусский национальный технический университет

Неотъемлемой частью процесса разработки обучающих систем является структурирование знаний, представляющее собой формализованное описание предметной области. Предлагается применение нейронных сетей (НС) для структурирования знаний [1].

С точки зрения обучающей системы нейрон S можно рассматривать, как некоторый учебный элемент, связанный с другими элементами с помощью синапсов и аксона. Вид нейрона представлен на рисунке 1.

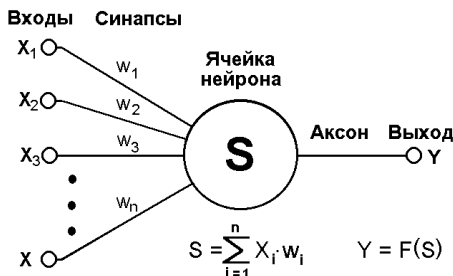


Рисунок 1 – Общий вид нейрона [2]

В автоматизированных обучающих системах нейронные сети могут найти применение для диагностики уровня усвоения учебных элементов, а также для адаптации траектории обучения к способностям и фактическим знаниям обучаемых. Преимущества применения нейронных сетей состоят в возможности структурировать знания и отношения между учебными элементами. Установка приоритетов между отношениями базы знаний осуществляется в ходе обучения нейронной сети. Переходя от одного понятия к другому и задавая соответствующие вопросы, можно определить, какие из понятий базы знаний обучаемый усвоил, а какие — нет. Такой подход позволит получить объективную оценку уровня усвоения знаний. Проведя предварительное оценивание знаний, можно определить и сформировать для обучаемого отсутствующие связи между учебными элементами и обучить этим знаниям.

Литература

1. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект. — М.: Издат. центр «Академия», 2005.
2. Еремин Д. М., Гарцев И. Б. Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления. — М.: МИРЭА, 2004.

Металлургические технологии

Методика расчета допустимой скорости непрерывной разливки углеродистых сталей в зависимости от химического состава

Кабишов С.М., Малькевич Н.Г.

Белорусский национальный технический университет

Для оперативной оценки толщины затвердевшей корочки в различные моменты кристаллизации слитка чаще всего пользуются известным законом «квадратного корня»:

$$\delta = K\sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где K – константа затвердевания, м/с^{0,5}; τ – время, с.

Согласно информации [1] при затвердевании в условиях современных МНЛЗ $K=0,0035-0,0048$ м/с^{0,5}. В работах [1, 2 и др.], где используется данная зависимость, не указано, какое значение следует принимать в том или ином случае. Опыт непрерывной разливки показывает, что константа кристаллизации существенно зависит от величины интервала кристаллизации сплава и условий охлаждения. Путем решения балансового уравнения энергии для заготовки, затвердевающей в условиях машины непрерывного литья, нами была получена следующая зависимость:

$$K = \frac{(a+b) \cdot \sum_{i=1}^n [\alpha_i \cdot l_i \cdot (\overline{T_{sur,i}} - T_{cool,i})]}{\sqrt{\tau_{cr}} \cdot v_c \cdot \rho \cdot b \cdot [c_0 (T_{liq} + \Delta T) - c_{out} (T_{sol} - (T_{sol} - T_{sur,out})/3) + L]}, \quad (2)$$

где a и b – размеры сечения разливаемой заготовки, м; α_i – коэффициент теплоотдачи (Вт/(м²·К) в i -ой зоне охлаждения, $\overline{T_{sur,i}}$, $T_{cool,i}$ – средняя температура поверхности и температура охлаждающей среды соответственно; l_i – длина i -ой зоны охлаждения, м; n – количество зон охлаждения; ρ – плотность стали, кг/м³; τ_{cr} – время полного затвердевания заготовки, с; v_c – скорость разливки, м/с; c_0 и c_{out} – теплоемкость металла в момент завершения кристаллизации при средней температуре в сечении заготовки, Дж/(кг·К); L – удельная теплота кристаллизации, Дж/кг.

В полученной зависимости (2) в явном виде присутствуют основные технологические параметры разливки (условия охлаждения, скорость разливки), размеры сечения заготовки и зон охлаждения, а также теплофизические характеристики разливаемой стали.

Литература

1. Смирнов, А.Н. Непрерывная разливка стали /Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В.// ДонНТУ. –2011. – 482 с.
2. Самойлович, Ю.А. Стальной слиток. Т. 1. / Самойлович Ю.А [и др.]// Мн.: Беларуская навука, – 2000. – 583 с.

Эффективность применения водоохлаждаемых элементов в электродуговых печах

Корнеев С.В., Трусова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Для маломощных ДСП металлургических предприятий и литейных цехов машиностроительных заводов характерна кирпичная кладка стен и свода печи. По мере увеличения вводимой мощности ухудшалась стойкость кирпичной кладки. В результате в практику были внедрены водоохлаждаемые своды и корпуса печей. Это приводит к увеличению расхода электроэнергии на 10-70 кВт·ч/т, одновременно в 5-10 раз снижается расход огнеупоров, на 10-15 % уменьшается расход электродов, улучшается ремонтоспособность печей и в результате повышается их производительность.

Например, на ДСП-50 ОАО «Ижорские заводы» при внедрении водоохлаждаемого свода удалось снизить удельный расход огнеупоров с 9,2 кг/т до 0,5 кг/т.

Для определения эффективности использования водоохлаждаемого корпуса и свода на ДСП-100 нами были определены удельные расходы электрической энергии в случае использования водоохлаждаемых панелей и в случае использования огнеупорной кладки.

Для футеровки ДСП-100 с эркерным выпуском и водоохлаждаемым корпусом и сводом расход огнеупорных материалов в среднем составляет 8,4 кг/т (из них огнеупоров – 2,4 кг/т, масс – 6 кг/т). На арматурную футеровку приходится 0,45 кг/т, набивную футеровку подины 1 кг/т, рабочую футеровку 5,7 кг/т, эркерный выпуск 0,6 кг/т, продувочную фурму и систему продувки аргоном – 0,45 кг/т, малый свод – 0,15 кг/т. Расход теплоизоляционных материалов – 1,1 кг/т.

В случае использования кирпичной кладки расход огнеупоров принимался равным 35,4 кг/т.

Результаты расчетов показывают, что использование водоохлаждаемых панелей и свода является более предпочтительным вариантом, так как суммарные годовые денежные затраты снижаются на 9,5 % без учета уменьшения времени простоев печи и других преимуществ использования водоохлаждаемых элементов. Снижению расхода электрической энергии при использовании водоохлаждаемых корпусов и свода способствует управляемое вспенивание шлака.

Влияние величины температурного интервала кристаллизации на уровень дендритной сегрегации в непрерывнолитых заготовках

Кабишов С.М., Ратников П.Э., Менделев Д.В.
Белорусский национальный технический университет

Анализ экспериментальных данных о распределении ликватов в области столбчатой кристаллизации в непрерывнолитых заготовках показывает, что среднее значение концентрации отдельных элементов в твердой фазе практически постоянно и равно исходной их концентрации в разливаемом сплаве. Но в масштабе одной дендритной ячейки концентрация примесей по мере заполнения ячейки будут изменяться.

В рамках исследований, выполняемых согласно заданию 2.1.08 ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» был выполнен анализ дендритной сегрегации в непрерывнолитых заготовках. В процессе моделирования была рассмотрена ситуация, когда вторичные ветви соседних дендритов вырастают до такой степени, что перекрывают возможность выделения ликвирующих примесей в жидкое ядро.

С учетом накопления примеси в остатках жидкости в междендритном пространстве были выполнены расчеты для случаев затвердевания заготовок из стали 20 и стали 80К (рис. 1).

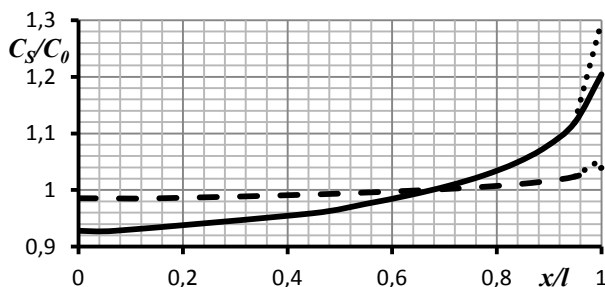


Рис.1. Изменение относительной концентрации углерода между вторичными ветвями дендрита в зоне столбчатой кристаллизации при затвердевании заготовки из стали 80К (сплошная линия) и стали 20 (штриховая линия)

Как видим, увеличение разности температур между границами фазового перехода приводит к существенному росту дендритной сегрегации углерода: в стали 20 данный показатель не превышает 4 %, а в стали 80 достигает 20 %.

Анализ количественных характеристик угара легирующих элементов и примесей при выплавке железоуглеродистых сплавов в среднечастотной индукционной печи

Румянцева Г.А., Герман М.Л.^{*}, Рафальский И.В., Шенец С.Л.
Белорусский национальный технический университет, ^{*} УП «Литье»

Проблеме угара легирующих элементов при плавке стали и чугуна в индукционных тигельных печах повышенной частоты (ИТППЧ) в технической литературе уделяется недостаточно внимания. Но в машиностроении и литейном производстве большая часть сплавов производится именно в ИТППЧ, и суммарные потери легирующих достигают значительных объемов. В печах с основной футеровкой угар элементов следующий [1]: вольфрама около 2 %,– хрома, марганца и ванадия – 5–10 %, кремния – 10–15 %, титана 25–35 %; в печах с кислой футеровкой: угар марганца – 10 %, кремний практически не угорает, угар вольфрама и молибдена около 2 %, хрома 5 %.

В условиях унитарного предприятия «Литье» были проведены плавки чугуна ЖЧХЗ и стали 25Л в индукционной печи YR - 120 с кислой футеровкой (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сплавов, %

| Сплав | C | Si | Mn | Ni | V | Mo | Cu | Cr | P | S |
|-----------|----------|-----------|---------|------|-------|------|-------|------|--------|--------|
| ЖЧХЗ | 3-3,8 | 2,8-3,8 | <1.0 | <0,2 | <0,15 | <1,0 | <0,04 | 2-3 | 0,3 | <0,12 |
| Сталь 25Л | 0,22-0,3 | 0,17-0,37 | 0,5-0,8 | 0,25 | 0 | 0 | 0,25 | 0,25 | <0,035 | <0,035 |

В результате химического анализа проб установили, что угар элементов для сплава ЖЧХЗ составил: углерод (C) – 10%, кремний (Si) – 15%, марганец (Mn) – 15 %, никель (Ni) – 2%, ванадий (V) – 10%, молибден (Mo) – 2 %, хром (Cr) – 2 %. Для стали 25Л: (C) – 2 %, (Si) – 27 %, (Mn) – 8 %, (Ni) – 2 %, (V) – 1 %, (Mo) – 2 %, (Cr) – 2 %.

Анализ полученных результатов показывает, что фактические потери легирующих отличаются от данных [1]. Следовательно, необходимы дополнительные исследования с целью выявления причин угара элементов и корректировки существующих технологий плавки стали и чугуна в ИТП.

Литература

1. Поволоцкий, Д.Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов / Поволоцкий Д.Я. [и др.] // М.: Metallurgy, 1974. – 551 с.

Моделирование процессов индукционного нагрева изделий сложной формы

Цыкунов П.Ю., И.А. Трусова

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время создание и реализация процесса термообработки деталей и заготовок, как правило, включает стадию компьютерного моделирования. Учитывая особенности индукционного нагрева, предварительный расчет конструктивных и технологических параметров установки является обязательным.

В рамках исследований был создан программный модуль, позволяющий смоделировать поведение заготовки при различных входных параметрах индукционного нагрева. В качестве метода решения уравнений Максвелла, как основы индукционного нагрева, использована конечно-разностная модель. Особенностью примененной модели является переход с сеточного разбиения заготовки на методику угловых координат для заготовок круглого сечения. Это позволило снизить погрешность расчета. Программирование производилось в среде *Lazarus*.

Созданный программный модуль имеет собственную базу данных материалов с возможностью ее пополнения. В расчетах используется температурная зависимость трех ключевых свойств материалов (теплоемкость, плотность, теплопроводность) от температуры, что сильно повышает точность расчетов. По критическим точкам материала есть специальная база данных.

Расчет температурного поля заготовок производится в реальном времени с параллельным графическим построением по сечению. Имеется возможность изменения шага по сечению и времени, усреднение свойств по температуре для ускорения расчетов. Использование программного модуля позволяет получить температурные поля заготовок типа: ограниченный цилиндр, ограниченная труба, прямоугольный профиль (брус и пластина).

На основе варьирования параметров индукционного нагрева выявлена их взаимосвязь с конечным результатом нагрева, что позволяет оценить время, необходимое для нагрева заготовки до требуемого состояния и выбрать способ и режим последующей операции. Среди ключевых параметров выделены: полезная мощность нагрева и ее влияние на скорость нагрева, толщина скин-слоя и его влияние на выбор частоты нагрева в соответствии с геометрическими размерами заготовки, влияние свойств материала заготовки на допустимую мощность и скорость нагрева, и температурный перепад по сечению.

**Литейное производство
черных и цветных
металлов**

**Экологические аспекты использования отработанных масел
в качестве альтернативного топлива в различных технологических
процессах**

Панасюгин А.С., Машерова Н.П., Михалап Д.П.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время жидкие углеводороды используются в различных отраслях народного хозяйства, начиная с тяжелой индустрии и заканчивая легкой промышленностью и сельским хозяйством. Для подавляющего числа механических узлов необходимы смазки, которые через определенный срок эксплуатации теряют свои потребительские свойства. В результате образуется большое количество отработанных масел. При современном дефиците энергоносителей захоронение отработанных масел является нецелесообразным.

На данный момент установлено, что ряд отработанных органических продуктов может представлять интерес в качестве альтернативных источников энергии. Так, в качестве энергоносителей можно использовать углеводородсодержащие отходы, которые в соответствии с Классификатором отходов, образующихся в Республике Беларусь относятся к группе IV «Отходы продуктов переработки нефти»: А «Отходы синтетических и минеральных масел»; В «Отходы эмульсий и смесей нефтепродуктов»; Г «Отходы добычи нефти»; Д «Шламы минеральных масел, остатки, содержащие нефтепродукты»; Е «Остатки рафинирования нефтепродуктов».

В процессе работы были проведены научные исследования по разработке метода топливоподготовки отработанных масел для их использования в качестве альтернативного топлива.

В ходе проведенных натуральных испытаний было установлено, что при использовании кавитационных станций топливоподготовки решается задача утилизации отработанных масел, при этом обеспечивается соответствие нормативным показателям по содержанию загрязняющих веществ в отходящих газах, поступающих в атмосферный воздух, и экономия топлива не менее 10–25 % по отношению к обычному печному топливу.

Сорбционные свойства шунгитсодержащих материалов, полученных методом кислотной активации

Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Григорьев С.В., Чипурко З.Н.
Белорусский национальный технический университет

Избыточное содержание летучих органических веществ в атмосфере является актуальной экологической проблемой. В настоящее время очистка отходящих газов от паров органических растворителей путем адсорбции на природных сорбентах в частности шунгитовых пород представляется весьма перспективным. Это связано с наличием значительных запасов шунгитовых пород в природе. Улучшения сорбционных характеристик шунгитов можно достичь в результате их предварительной обработки.

Целью данной работы явилось исследование закономерностей сорбции паров изо-пропанола на природном и активированном раствором фосфорной кислоты шунгите, а также установление механизма, по которому протекает процесс активации шунгита.

Объектом исследования являлся природный и активированный фосфорной кислотой шунгит Зажогинского месторождения (Россия, Карелия).

В ходе исследований установлено, что механизм активации шунгита H_3PO_4 протекает путем разложения фазы мусковита, с образованием кристаллографических фаз: $Al(H_2PO_4)_3$, $Fe(H_2PO_4)_3$ и $Mg_3(PO_4)_2$.

Результатом кислотной активации явилось увеличение скорости сорбции отношению к парам изо-пропанола примерно в 2 раза.

Лимитирующей стадией адсорбционного процесса является внутридиффузионный механизм.

Процесс кислотного активирования природного шунгита привел к увеличению удельной поверхности и сорбционного объема в 2,7 раза.

В ходе анализа изотерм сорбции установлено, что пористая структура исходного и активированного шунгита соответствует мезопористым адсорбентам.

**Проблемы, возникающие при лазерной пайке
алюминия и его сплавов**

Щавелева О.А., Девойно О.Г., Голубцова Е.С., Луцко Н.И.
Белорусский национальный технический университет

Проблема получения качественных соединений методом лазерной пайки на сегодняшний день является актуальной. Для обеспечения доброкачественной пайки температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления основного металла. При пайке, как и при сварке алюминиевых сплавов, возникают некоторые трудности. Возможность образования тугоплавкого оксида Al_2O_3 ($T_{пл} = 2050 \text{ }^\circ\text{C}$) с плотностью большей, чем у алюминия, затрудняет сплавление соединяемых поверхностей и способствует загрязнению контактируемых поверхностей припоя и основного металла. Припой не должен растворять основной металл, а смачивать его, легко растекаясь по соединяемым поверхностям. В большинстве случаев, соединяемые поверхности предварительно очищают механохимическим путем, с применением флюсов. Флюсы подбирают таким образом, что они должны полностью переходить в жидкое состояние и проявлять химическую и физическую активность при сравнительно низких температурах. Действие флюсов при пайке алюминия и его сплавов направлено на деградацию оксида Al_2O_3 , которая в зависимости от их природы может протекать по химическому, физическому или смешанному механизмам.

Из известных на сегодняшний день соединений наиболее бурно взаимодействуют с оксидом алюминия - галогениды лития. При правильном подборе припоя в процессе лазерной пайки должно происходить расплавление припоя лазерным пятном без расплавления основного металла. Металлы, используемые в исследованиях, - алюминиевые сплавы Д16 и АК5. В ходе протекания процесса возникает другая проблема, поскольку алюминий плохо поглощает излучение необходимо подобрать температуру, при которой выбранный припой будет расплавляться, постепенно заполняя зазоры. В ходе лазерной пайки, контролировать температуру возможно только косвенно - изменяя скорость передвижения лазерного пятна и его диаметр. Данные проблемы, можно решить только опытным путем.

Экзотермические утеплительные смеси

Барановский К.Э., Розенберг Е.В., *Розум В.А.
Белорусский национальный технический университет
*ООО «ПолитегМет»

В практике литейного производства широко применяются утеплительные покровные смеси. Эти смеси предназначены для утепления открытых прибылей стальных и чугунных отливок. В настоящее время для этих целей применяются засыпки из следующих материалов: кварцевого песка, шамотной крошки, диатомита. Защищающих зеркало металла от тепловых потерь излучением. Лучший утеплительный эффект получают при использовании материалов с большей пористостью и низкой теплопроводностью: вспученного перлита, керамзита, вспученного вермикулита теплоизоляционных органических смесей (рисовая шелуха и т.п.). Все выше перечисленные материалы имеют существенные недостатки: спекаемость материалов (кроме органических смесей), затраты тепла на нагрев самого материала, не большое выделение тепла при горении. Этих недостатков лишены экзотермические покровные смеси. Источником тепла в этих смесях служит реакция окисления алюминия. Экзотермическая смесь начинает работать при контакте с жидким металлом в прибыли. Действие экзотермических смесей (подогрев металла в прибыли, увеличение времени воздействия атмосферного давления на жидкий металл, резкое снижения теплотеря за счет уменьшения излучения и конвекции) способствует повышению эффективности работы прибыли и уменьшению усадочных раковин и пористости. Снижается литейный брак от дефектов усадочного характера, гарантируется стабильное качество литья. Авторами статьи разработана, изготовлена и прошла промышленное опробование утеплительная экзотермическая покровная смесь, состоящая, в основном, из производимых в Республике Беларусь компонентов, в том числе вторичных материалов и отходов производства. Экзотермическая смесь состоит из: окисляемых компонентов, окислителей и термостойких наполнителей. Смесь предназначена для чугунов и сталей. После засыпки в прибыль на жидкий металл смесь медленно разгорается и увеличивается в размерах, на поверхность выносятся легкая низкотеплопроводная часть, в глубине смеси продолжается горение и нагрев термостойкого наполнителя, удерживающего тепло, в течение 10-25 минут в зависимости от размера прибыли и температуры сплава. Экзотермическая утеплительная смесь позволяет не только повысить качество литья, но и уменьшить металлоемкость прибылей на 20-30% за счет увеличения их эффективности.

Литье заэвтектических хромистых чугунов

Барановский К.Э., *Ильюшенко В.М., *Дувалов П.Ю.
Белорусский национальный технический университет
*«Институт технологии металлов» НАН Беларуси

Задача по повышению износостойкости деталей из хромистых чугунов является комплексной и включает: выбор состава износостойкого чугуна в зависимости от условий эксплуатации детали, определение технологии литья, разработку оптимальных режимов литья, а так же использование дополнительного легирования базового состава чугуна.

Износостойкость хромистых чугунов, главным образом, зависит от количества и размеров тригональных карбидов $(Fe, Cr)_7C_3$ обладающих высокой твердостью – 1240 - 1550 HV. Образование карбидов, их расположение и размеры сильно зависят от условий первичной кристаллизации. При этом скорость кристаллизации играет важнейшую роль в формировании кристаллической структуры хромистых чугунов, влияя, в первую очередь, на размер карбидов. Преобладание отдельно расположенных тригональных карбидов размерами (в сечении) 5 - 12 мкм в аустенитно-мартенситной металлической матрице обеспечивает наиболее высокую износостойкость материала. Такой структурой обладают детали, полученные литьем в кокили и комбинированные формы.

В «Институте технологии металлов» НАН Беларуси проводились экспериментальные плавки заэвтектических хромистых чугунов содержащих 4,2 - 4,4 % углерода. Для измельчения заэвтектических карбидов сплав дополнительно модифицировался и легировался карбидообразующими элементами, детали изготавливали в металлических формах. Комплексное легирование и модифицирование позволило измельчить заэвтектические карбиды до 10 - 15 мкм. Детали для центробежных мельниц из этих чугунов были поставлены различным организациям. Случаев поломок у потребителей не наблюдалось.

Проведенные в лабораторных условиях испытания на износостойкость чугунов с измельченными заэвтектическими карбидами, показали, что износостойкость таких чугунов значительно выше, чем у используемых в настоящее время.

Для оборудования, работающего в условиях незначительных ударных нагрузок, можно рекомендовать заэвтектические высокохромистые чугуны с диспергированными карбидами, содержащие 4,2 - 4,4 % углерода.

Обработка расплава стали модификаторами, содержащими щелочноземельные металлы

Проворова И.Б., Комаров О.С. Розенберг Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Обработка жидкой стали лигатурами, содержащими щелочноземельные металлы, оказывают комплексное рафинирующее и модифицирующее воздействие. В результате процессов модифицирования происходит изменение степени дисперсности и морфологии фазовых составляющих стали. При этом существенно изменяются механические и технологические свойства. Эффективность совместного применения лигатур с кальцием, барием и стронцием в значительной степени обусловлено тем, что эти элементы обладают полной взаимной растворимостью. При вводе таких сплавов в жидкую сталь упругость паров будет ниже упругости пара каждого отдельно взятого элемента, что ведет к более медленному испарению и, как следствие, к более эффективному результату модифицирования.

Целью приведенной работы является опробование опытного модификатора, содержащего ЩЗМ, в промышленных условиях для производства отливок из стали марки 45Л. Для определения влияния модификатора на механические и литейные свойства стали 45Л проведена серия плавов по заводской технологии. При заполнении заливочного ковша на 25-30%, в него вводился модификатор в количестве 0,1, 0,2, 0,3% соответственно. Затем, заливались спиральные пробы на жидкотекучесть и трефы, часть из которых использовалась для изготовления шлифов, для определения загрязненности стали неметаллическими включениями, а часть подвергалась термической обработке – нормализации в соответствии с заводской технологией для проведения механических испытаний. В результате обработки жидкой стали модификатором, уменьшился размер и количество неметаллических включений, а также улучшилась их форма. Результаты испытаний механических свойств показали, что после модифицирования произошло повышение предела текучести на 20 – 35%, относительное удлинение и относительное сужение при модифицировании возросло на 25 – 40%. Кроме того, при модифицировании на 40 – 55% увеличилась жидкотекучесть. Следует отметить, что некоторые зависимости носят экстремальный характер, поэтому целесообразно вводить в расплав 0,2% модификатора. Применение модификатора, содержащего ЩЗМ, позволяет снизить загрязненность стали неметаллическими включениями повысить жидкотекучесть расплава, а также увеличить механические свойства отливок.

Повышение эффективности лигатуры на основе меди для внепечной обработки высокопрочных чугунов

Слущкий А.Г., Шейнерт В.А., Сметкин В.А., Кулинич И.Л.
Белорусский национальный технический университет

В основу технологии получения высокопрочных чугунов положена внепечная обработка жидкого расплава лигатурами, магнийсодержащим присадкам. Широкое распространение получили сфероидизирующие лигатуры на основе ферросилиция (типа ФСМг) и «тяжелые» лигатуры на основе меди и никеля. Повышение их эффективности за счет более полного усвоения магния, снижения удельного расхода присадки, и минимизации пылегазовых выбросов в процессе сфероидизирующей обработки жидкого чугуна является актуальной задачей. Одним из путей решения данной проблемы является применение лигатур в компактной форме, при которой процесс растворения присадки протекает эффективнее.

В настоящей работе исследованы особенности получения и применения «чипс»-лигатуры на основе меди и магния с добавками нанодисперсного порошка оксида иттрия. Для получения лигатуры в виде пластин толщиной 1-2мм использовали принцип механотроники, включающий брикетирование исходных компонентов после их перемешивания с последующим высокоскоростным ударно-механическим воздействием.

В лабораторных условиях сфероидизирующая обработка жидкого чугуна производилась ковшевым методом с использованием «чипс»-лигатуры. При этом величина добавки составляла 0,8% от массы обрабатываемого расплава.

Установлено, что при сфероидизирующей обработке высокопрочного чугуна разработанной лигатурой процесс взаимодействия магния с жидким расплавом протекает стабильно без существенного пироэффекта и выбросов металла за пределы ковша. Металлографический анализ показал, что структура чугуна состоит из шаровидного графита правильной формы.

Наличие в составе лигатуре оксида иттрия оказало так же положительное влияние как на количество включений шаровидного графита. По механическим свойствам полученный высокопрочный чугун соответствует марке ВЧ60.

Анализ проведенных исследований показал, что изменение размера структурных составляющих и уменьшение толщины «чипс»-лигатуры до величины порядка 1,5 мм способствует более быстрому ее растворению в процессе сфероидизирующей обработки жидкого чугуна. Это позволяет повысить эффективность процесса и исключить операцию вторичного модифицирования высокопрочного чугуна.

Анализ способов получения стальной фибры для армирования железобетонных конструкций

Шейнерт В.А., Галузо О.Г., Кулинич И.Л., Прокопчук Д.А.
Белорусский национальный технический университет

Одним из путей использования высокопрочных бетонов является применение в его составе стальной фибры, особенно при строительстве ответственных зданий и сооружений.

В настоящее время известны несколько способов получения литой стальной фибры, которые отличаются: по используемому сырью (шихта, сляб, вторичный металл, сварочная проволока и катанка); по способу загрузки сырья в зону плавления (ручная, полуавтоматическая загрузка, трайп-аппарат для подачи катанки и проволоки); по способу плавки (индукционный, электродуговой, плазменно-дуговой и соответствующим им конструкциям питателей рабочей камеры); по способу кристаллизации металла (с получением непрерывного волокна, штапельного волокна, ленты и т.д.).

Самым эффективным является электродуговой способ получения фибры, в основу которого могут быть положены два вида процесса: первый процесс – зона плавки металла и рабочая зона получения фибры разделены в пространстве; второй процесс – зона плавки металла совмещена с рабочей зоной получения фибры.

В основу технологии получения стальной литой фибры положен способ электроплавки стали с последующим диспергированием расплава на специальной установке. Она представляет из себя электромеханический комплекс устройств и агрегатов, позволяющий производить конечную продукцию непосредственно из исходной шихты в одну стадию. Это позволяет получать из стального холоднокатаного прутка литую фибру высокой дисперсности и анкерной способностью в бетонных смесях.

Однородный гранулометрический состав фибры обеспечивается автокалибровкой в процессе ее изготовления. А физико-механические свойства получаемого материала позволяют эффективно смешиваемость ее в бетоне без образования «ежей», с равномерным распределением фибры по объему.

Перспективным направлением использования фибробетона являются строительство зданий, взлетно-посадочных полос, автомобильных дорог, военных укреплений, хранилищ ценностей и опасных материалов, химическая и металлургическая промышленность (химически стойкий и теплостойкий бетон).

Термодинамический анализ восстановительных процессов силицидных систем

Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Ковалевич Э.В.
Белорусский национальный технический университет

Изготовление сплавов для катодов из силицидов с заданным содержанием кремния, может осуществляться различными способами, одним из которых является металлотермическое восстановление. Ранее проведенный термодинамический анализ показал, что процесс восстановления металлов возможен за счет алюминия, кремния и магния. Например титан и кремний можно восстановить из оксидной фазы только за счет алюминия и магния. Важным показателем такого процесса является термичность. Расчеты показали, что высокой термичностью обладают восстановительные смеси на основе оксида молибдена, меди, никеля.

Для смесей на основе оксида титана и кремния из-за низкой термичности требуется предварительный подогрев. Поэтому при получении силицидов данных металлов потребуются разработка дополнительных мероприятий, позволяющих инициировать восстановительную плавку, обеспечивающую стабильность процесса и получение качественной отливки катодов.

В таблице 1 представлены результаты расчета термичности некоторых восстановительных смесей для получения силицидов

Таблица 1 – Результаты расчета термичности восстановительных смесей для получения силицидов

| № | Количество оксидов в составе восстановительной смеси, % | | | Термичность, Дж/г | Необходимость подогрева |
|---|---|------------------|------------------|-------------------|-------------------------|
| | CuO, | SiO ₂ | TiO ₂ | | |
| 1 | 43 | 14 | 43 | 2695 | без подогрева |
| 2 | 50 | 20 | 30 | 2911 | без подогрева |
| 3 | 40 | 20 | 40 | 2653 | без подогрева |
| 4 | - | 14 | 86 | 1584 | требуется подогрев |
| 5 | 70 | 30 | - | 3492 | без подогрева |
| 6 | - | 50 | 50 | 1821 | требуется подогрев |

Установлено, что для смесей в состав которых входят оксиды меди, общая их термичность находится в пределах от 3492-2563 Дж/г, что не требует предварительного ее подогрева при восстановительной плавке. Что касается смесей, в состав которых входят оксиды титана и кремния, то значение термичности составляют от 1584-1821 Дж/г. И для инициирования восстановительного процесса необходим предварительный подогрев смеси.

Экспериментальные плавки, выполненные в лабораторных условиях подтвердили расчетные данные.

Михальцов А.М., Прибыш А.Н. *Пивоварчик А.А.
Белорусский национальный технический университет
*Гродненский государственный университет

Повышенное газосодержание и пористость отливок, получаемых литьем под давлением, существенно снижают достоинства этого высокопроизводительного процесса литья. Одним из способов снижения указанных недостатков является подпрессовка—представляющая собой повышение давления на затвердевающий металл в момент окончания заполнения формы. Влияние указанного технологического приема на качество отливок зависит от целого ряда факторов: скорости срабатывания и усилия подпрессовки, толщины питателя и отливки, температуры расплава и формы. Следует отметить, что процессы, протекающие в этот момент в затвердевающем металле, изучены недостаточно. В некоторых публикациях отмечается, что наблюдаемое снижение пористости при воздействии подпрессовки обусловлено механическим сжатием газовоздушных включений и компенсацией возникающих усадочных явлений. Вместе с тем ряд авторов указывает на возможность снижения пористости за счет удержания некоторых газов (например, водорода) в твердом растворе в момент затвердевания. Отмечается также возможность взаимодействия расплава металла с газами, в частности, с кислородом с образованием твердых оксидов, в момент заполнения полости формы. Вместе с тем определенный интерес представляют также процессы взаимодействия затвердевающего металла с захваченными им газами в момент заполнения камеры прессования и полости формы. Речь здесь может идти преимущественно о азоте, так как большая часть кислорода к этому моменту уже расходуется на образование оксида. Высокие температура и усилие подпрессовки создают благоприятные условия для более полного взаимодействия алюминия с газами с образованием не только оксидов но и нитридов. Выполненные расчеты показывают, что температура внутри газовых включений в момент подпрессовки может достигать значений 2000–2500 °С. В этом случае процессы оксидо- и нитридообразования могут протекать очень быстро, практически мгновенно. Указанное позволило предположить, что при определенных условиях (температура металла, усилие и момент срабатывания подпрессовки) возможно более полное снижение газосодержания и пористости отливок при литье под давлением. Выполненные предварительные исследования, в определенной мере, подтверждают высказанные предположения.

Оптимизация составов керамической смеси для изготовления литейных форм при производстве литой штамповой оснастки

Андрюц А.А., *Уваров Б.И., *Лущик П.Е., Довнар Г.В., Долгий Л.П.

Белорусский национальный технический университет

*УП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Литейное и кузнечно-штамповое производства – основа машиностроения и от разработки и внедрения инновационных технологий и материалов в этих областях зависит эффективность и конкурентоспособность машиностроительных отраслей. Научно-технический прогресс предъявляет повышенные требования к физико-механическим и служебным свойствам отливок, что заставляет литейщиков обращаться к фундаментальным и смежным техническим наукам и разрабатывать инновационные материалы и методы производства. Значительное повышение эффективности и надежности литой штамповой оснастки может быть достигнуто получением в литье штампов достаточной размерной точности с хорошим качеством литой поверхности, обеспечив при этом необходимые эксплуатационные характеристики металла отливки.

Авторами данной работы была разработана и в настоящее время проходит производственные испытания инновационная технология точного литья на основе золь–гель технология превращения жидкого золь связующего в твердый гель при определенных условиях и катализаторах процесса. В мире известны близкие литейные технологии под названиями Shaw-процесс, Dip-процесс, и Unicast-процесс, но разработанная технология значительно проще и дешевле в осуществлении. Оригинальные ноу-хау (комплекс устройств, технологических секретов и методов работы) позволяют изготавливать уникальные сложные и точные отливки с минимумом механообработки из любых литейных сплавов практически без ограничения по размерам и развесу литья (от нескольких граммов до сотен килограммов), в том числе тонкостенное корпусное литье и отливки со сложными внутренними полостями.

Проведенная в данной работе оптимизация состава керамической смеси для изготовления литейных форм, по новой технологии позволит значительно снизить себестоимость изготавливаемой технологической оснастки по сравнению с механообработкой из проката, сократить цикл производства. Изготовление штамповой оснастки по предложенной технологии позволит повысить коэффициент использования металла, в несколько раз снизить трудоемкость изготовления, сэкономить электроэнергию, транспортные расходы, технологические материалы и самое важное – многократно переплавлять отработанную оснастку.

Исследование технологических параметров литья колес нефтяных насосов на основе имитационного моделирования технологических процессов

Андриц А.А., *Уваров Б.И., *Лущик П.Е., Долгий Л.П.
Белорусский национальный технический университет
*УП «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Целью работы является оптимизация технологических и конструкционных параметров процесса изготовления износостойких элементов нефтяных центробежных насосов.

Нефтяные насосы относятся к группе центробежных насосов, работающих под давлением, элементы которых подвергаются механическому или коррозионно-эрозионному износу, вследствие чего теряется их работоспособность. Наиболее сложными, дорогостоящими в изготовлении и требующими особого внимания являются рабочие колеса (импеллеры) центробежного насоса, имеющие изогнутые лопатки с изменяющимся наклоном и профилем сечения.

На предприятиях Республики Беларусь в настоящее время рабочие колеса нефтяных насосов закупаются за рубежом либо производятся путем механической обработки двух половин с последующей сваркой. Поскольку высота лопатки на выходе составляет всего 8мм, изготовление такой отливки точным литьем по выплавляемым моделям затруднено из-за того, что тонкий протяженный канал между лопатками не просыпается песком, при этом, остаются пустоты, которые лопаются при удалении восковой модели из керамической оболочки. Восковая модель паяется из нескольких частей, что приводит к появлению смещения и биения. К тому же пресс-формы для изготовления восковых моделей имеют высокую стоимость.

В результате исследования различных типов (ступеней) колес нефтяных центробежных насосов с использованием имитационного моделирования технологических процессов были установлены зависимости образования усадочных дефектов от конструкции литниково-питающей системы, типа сплава, состава формы и технологических параметров литья (температура металла, температура предварительного разогрева формы и др.). Разработаны рекомендации по эффективному управлению процессом для устранения основных видов брака – недоливы, усадочные раковины и пористость, горячие трещины. В результате проведенной работы разработаны рекомендации по изготовлению технологической оснастки для получения нефтяных колес из среднеуглеродистой и легированной стали в разовые (керамические и ХТС) формы.

**Интеллектуальные методы контроля металлургических процессов
получения литейных сплавов**

Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из элементов совершенствования систем автоматизации контроля и управления металлургических процессов является применение интеллектуальных информационных систем и технологий (ИИСТ). Благодаря достигнутым успехам в области разработки программно-аппаратных средств измерений возможности автоматизированных комплексов, связанных со сбором информации, ее обработкой и хранением, значительно возросли. Следующим важным шагом в развитии автоматизированных систем контроля и управления металлургическими процессами является использование методов и средств интеллектуальной обработки данных, программная реализация ИИСТ и их адаптация к условиям производства.

На основе нейро-нечеткой модели идентификации выполнена разработка тестовой адаптивной информационной системы для неразрушающего контроля и принятия решений с использованием методов, применяемых при мониторинге за состоянием технологического процесса приготовления сплава в плавильной печи и получения из него литых изделий – термического и акустического анализов технологических проб, результаты которых использовались в качестве входных параметров модели идентификации. Использование указанных методов анализа обеспечивает возможность проведения мониторинга за состоянием процессов получения литых изделий с соблюдением требований активного неразрушающего контроля, оперативность принятия управленческих решений в процессе производства. Хранение информационных массивов организовано с использованием информационного ресурса – банка данных свойств (параметров) образцов литейных сплавов и литых изделий, управление которым организовано в режиме удаленного доступа.

Алгоритмы обработки данных термического анализа и их программная реализация обеспечивают возможность выполнять автоматический расчет параметров двухфазной зоны в интервале кристаллизации различных сплавов, широко используемых в промышленности при производстве литых изделий. Учет таких данных крайне важен для получения адекватных компьютерных моделей процессов формирования литых изделий с использованием численных методов расчета.

**Ресурсосберегающий синтез сплавов на основе алюминия
с использованием дисперсных неметаллических материалов**

Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Реализация металлургических способов получения сплавов на основе алюминия с использованием дисперсных неметаллических материалов возможна при условии достаточной адгезии и смачивании частиц неметаллической фазы расплавом, в противном случае требуются специальные методы и технологии обработки материалов. Однако большинство дисперсных неметаллических материалов, используемых в качестве наполнителя, при обычных условиях не смачиваются расплавами алюминия и его сплавов, что существенно затрудняет ресурсосберегающий синтез дисперсно-упрочненных алюминиевых сплавов.

Решение этой задачи для систем Al-SiC, Al-Al₂O₃, Al-SiO₂ получено путем получения алюмоматричных композиций (АМК) в результате смешивания дисперсных неметаллических материалов с алюминием в жидко-твердофазном состоянии расплава.

Установлено, что структура полученных дисперсно-упрочненных сплавов определяется не только исходным составом композиций, но также особенностями их температурно-временной обработки. При температурной обработке в диапазоне температур 750–850 °С алюминий интенсивно взаимодействует с оксидом кремния в композициях на основе алюминия и кремнезема, а при температурах 850–900 °С – с карбидом кремния в композициях, полученных с использованием алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния.

Магний оказывает положительное влияние на процесс совмещения дисперсных неметаллических материалов с алюминием в гетерофазном состоянии расплава: с его увеличением максимальное количество вводимого в АМК дисперсных неметаллических материалов может быть увеличено на 15–20 %. При этом магний, содержащийся в алюминиевом сплаве, активно взаимодействует с кремнеземом с образованием оксида магния. Это обеспечивает возможность использовать низкосортные лом и отходы алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния для получения дисперсно-упрочненных сплавов на основе алюминия из АМК.

Подготовка стальной и чугунной стружки к переплаву

Лукашенко К.А. Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Современное литейное производство совершенствует процесс выплавки путем выпуска новых плавильных печей, а качество продукции – путем внепечной обработки. По сути своей печи становятся агрегатами, главной функцией которых является переплав качественной (кусковой) шихты. В то время как передовая мысль все больше обращается к дисперсным отходам плавильных печей и металлообработки. Главная цель: вовлечь их в повторный оборот литейного производства в первую очередь – в качестве шихты.

Накопление дисперсных отходов происходит, потому что литейное производство, в силу ряда объективных причин, не в состоянии создать 100% готовых изделий, не нуждающихся в обработке. Так образуются значительные объемы присада, окалины, стружки.

Наиболее пригодной для повторного использования в условиях РБ является стружка. Этот вид отходов привлекает своей высокой металлической составляющей и дешевизной, но в то же время ставит ряд задач, которые нужно решить для достижения высокого результата.

Чтобы пройти путь от дисперсных отходов до качественной шихты стружка должна приобрести ряд качеств: отсутствие влаги на основе масел и жиров; имеет низкую степень окисленности (в виду отсутствия восстановительного периода при электропроцессе); повышение степени тепло- и электропроводности.

Это значит, что дисперсные отходы должны соответствовать требованиям кускового лома или приближаться к ним. Эти условия труднодостижимы без дополнительных затрат, что, в свою очередь, увеличивает стоимость стружки-шихты.

В таких условиях необходимо создание эффективной технологии для подготовки шихты из стальной и чугунной стружки. На этапе подготовки к переплаву предстоит:

- 1) классифицировать виды стружки в зависимости от способа получения;
- 2) охарактеризовать существующие способы снижения засоренности;
- 3) рассмотреть технологии измельчения и разделения фракции;
- 4) проанализировать существующие схемы брикетирования.

В современных печах, лишенных доменного процесса, наблюдается значительный угар стружки. Сможет ли этап подготовки к переплаву решить и этот вопрос.

Румянцева Г.А., Бежок А.П., Джураев Т.Х., Семенец И.Б.
Белорусский национальный технический университет

В современном сталеплавильном производстве для повышения физико-механических свойств выплавляемых сталей широко используются шлаки двух основных типов - печные и рафинировочные (шлаки АКП). Печные шлаки содержат, масс. %: 15,0-31,0 CaO; 6,4-19,2 SiO₂; 2,5-8,0 Al₂O₃; 19,7-53,2 FeO; 4,2-10,1 MgO; 4,3-8,8 MnO; 0,14-0,47 P₂O₅; 0,05-0,27 S. Отличительной особенностью рафинировочных шлаков является более высокая их основность при повышенном содержании Al₂O₃ и низкой концентрации оксидов фосфора.

Особенность этих шлаков заключается в том, что при охлаждении они распадаются в мелкозернистый порошок. Продолжительность распада изменяется от нескольких часов до нескольких суток. Продукты распада относятся к экотоксичным материалам. Они легко аэрируются, распространяются на большие территории, растворяются в осадочных и грунтовых водах. Переработка таких шлаков на дробильно-сортировальных установках вызывает значительное пылеобразование.

Причина распада рафинировочных шлаков связана с их известковосиликатным составом, при охлаждении которого в различной последовательности кристаллизуются трех- и двухкальциевые силикаты и их твердые растворы. Трекхкальциевый силикат неустойчив и распадается на оксид кальция и двухкальциевый силикат, который претерпевает структурные превращения в кристаллической решетке с увеличением ее объема на 11-12 % и вызывает распад шлака.

Известно несколько вариантов стабилизации рафинировочных шлаков, которые препятствуют их распаду. Наиболее перспективными является термическая стабилизация, заключающаяся в быстром охлаждении шлака из расплавленного состояния в агрегатах с шаровой насадкой.

При вращении емкости расплавленный шлак, проникая в межшаровое пространство, оказывается окруженным со всех сторон металлом, быстро отдает ему тепло, переходит в пиропластичное состояние, а затем в твердом состоянии удаляется из емкости через колосники.

В результате быстрого охлаждения реализуется физическая стабилизация рафинировочного шлака с получением устойчивой структуры. В окискованном виде он может быть использован в качестве флюсующей добавки в электродуговых печах во время окислительного периода.

Влияние технологии ввода стронция на эффективность модифицирования силуминов

Бежок А.П., Лысаковский Г.А., Прусова И.В., Красовский А.Л.
Белорусский национальный технический университет

Модифицирование силуминов является неотъемлемой частью технологического процесса при производстве отливок литьем в кокиль или разовые формы.

Натрийсодержащие флюсы не всегда обеспечивают требуемый уровень механических свойств по причине кратковременного модифицирующего эффекта. Поэтому особый интерес представляют модификаторы длительного действия, к числу которых относится стронций. Данный модификатор вводится в расплав преимущественно в виде лигатур и хорошо зарекомендовал себя в цветнолитейном производстве промышленно развитых стран.

Отставание стран СНГ и Республики Беларусь во внедрении данного модификатора связано в основном с несовершенством стронцийсодержащих лигатур, с недостаточной изученностью закономерностей их растворения и накопления стронция в расплаве, противоречивой информацией о влиянии стронция на технологические свойства силуминов.

Успешное использование стронция для модифицирования силуминов во многом зависит от качества стронциевых лигатур. Установлено, что для 10% лигатуры Al-Sr температура ликвидус приближается к 950°C. Следовательно, при прочих равных условиях лучшим усвоением будет обладать лигатура Al - 10% Sr. Время ее усвоения при постоянной технологии модифицирования будет определяться размерами алюминидов стронция, которые зависят от скорости охлаждения лигатуры. Поэтому необходимо добиваться в лигатурах минимально возможных размеров алюминидов стронция. Это обеспечит быстрое их растворение с образованием атомарного стронция, который будет равномерно распределяться по всему объему расплава, блокируя рост эвтектического кремния. В случае охлаждения лигатуры Al - 10% Sr со скоростью $\sim 10^3$ °C/c при прокатке из жидкого состояния стронций находился в лигатуре преимущественно в виде пересыщенного твердого раствора стронция в алюминии и тонкодисперсных включений $SrAl_4$, имеющих размер порядка 5 мкм. Модифицирование такой лигатурой в количестве 0,3-0,4 от массы расплава обеспечило получение стабильных механических свойств отливок из сплава АК9 при сохранении их высокой плотности.

Математическая модель кристаллизации $\text{Al}(\text{OH})_3$ из раствора алюмината натрия без внешнего воздействия

Комарова Т.Д.

Белорусский национальный технический университет

С целью предупреждения пригара при производстве отливок из стали сухие литейные формы и стержни окрашиваются специальными противопопригарными красками. Одним из способов повышения конкурентоспособности противопопригарных красок, содержащих дисперсные частицы Al_2O_3 , является снижение их стоимости за счет использования более дешёвого оксида алюминия, полученного из отходов производства. При их переработке после фильтрации образуется раствор NaAlO_2 из которого осаждается $\text{Al}(\text{OH})_3$, а его дальнейшая прокатка позволяет получать дисперсные частицы Al_2O_3 .

В соответствии с диффузионной теорией снижение пересыщения будет пропорционально изменению массы твердого вещества. Скорость зарождения и скорость роста кристаллов являются переменными величинами, зависящими от пересыщения, которое, в свою очередь, изменяется в соответствии с количеством выделившегося из раствора $\text{Al}(\text{OH})_3$. Масса вещества, образовавшегося в единичном объёме раствора, определяется зависимостью, где масса одного кристалла к моменту этого времени зависит от снижения пересыщения в объёме. Если предположить, что вязкость находится в прямой зависимости от пересыщения, то можно установить зависимость скорости диффузии от пересыщения.

Расчёты показывают, что по мере увеличения размера частиц затравки отмечается рост и конечного размера частиц после завершения процесса кристаллизации, так как общий размер кристаллов складывается из размеров частиц затравки и приращения к нему вещества из раствора. Полученная зависимость размера частиц $\text{Al}(\text{OH})_3$ от числа готовых центров кристаллизации и скорости образования новых не противоречит экспериментально полученным данным по измельчению выпадающих частиц от числа вводимых затравок при неизменном объёме затравок.

Не существенное влияние спонтанного зарождения центров кристаллизации $\text{Al}(\text{OH})_3$ из пересыщенного раствора свидетельствует о том, что доминирующее влияние на процесс кристаллизации оказывает число готовых центров, вносимых затравкой, что согласуется с практикой производства $\text{Al}(\text{OH})_3$, когда в виде затравок вводится до 60% $\text{Al}(\text{OH})_3$ от его количества выпадающего из раствора.

Математическая модель кристаллизации $\text{Al}(\text{OH})_3$ при механическом перемешивании раствора алюмината натрия

Комарова Т.Д.

Белорусский национальный технический университет

В БНТУ разработана технология комплексной переработки отработанных катализаторов нефтехимического производства, содержащих менее 20% NiO , с получением концентрата NiO и раствора алюмината натрия. При правильном выборе соотношения $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{NaOH} : \text{H}_2\text{O}$ образуется раствор, близкий к насыщенному. При интенсивном перемешивании раствора процесс роста кристалла будет лимитироваться не диффузией $\text{Al}(\text{OH})_3$ к кристаллу, а кинетическими параметрами осаждения частиц из раствора на поверхность кристалла. По мере роста кристалла пересыщение убывает, оставаясь равномерным по объёму. В пересыщенном растворе возможно появление новых центров кристаллизации, как спонтанное, так и на подложках, образовавшихся в результате отрыва от кристалла частиц твердого вещества $\text{Al}(\text{OH})_3$.

На основании проведенных экспериментов по кристаллизации $\text{Al}(\text{OH})_3$ при механическом перемешивании раствора алюмината натрия предложена математическая модель кристаллизации $\text{Al}(\text{OH})_3$. Она базируется на физической модели и показывает зависимость между параметрами, характеризующими процесс роста кристаллов из раствора. Это позволяет рассчитать конечное значение размеров кристаллов и установить взаимосвязь параметров, влияющих на процесс роста кристаллов. Для установления взаимосвязи изменения пересыщения по объёму раствора варьировали время перемешивания, количество вводимой затравки, массу вещества, образовавшегося в единичном объёме, характеристики скорости нарастания из раствора массы вещества на готовых центрах кристаллизации.

Расчеты показали, что основным параметром, влияющим на размер частиц, является не процесс зарождения кристаллов, а их рост на готовых центрах кристаллизации (затравки). При фиксированном значении размеров затравки рост числа готовых центров приводит к измельчению частиц затравки, а так как конечные размеры определяются размерами частиц затравки плюс выделившееся из раствора вещество, то полученная зависимость уменьшения конечных размеров хорошо согласуется с физической картиной кристаллизацией из раствора.

**Влияние технологии раскисления стали на её загрязнённость
неметаллическими включениями**

Неменёнок Б.М., Никитюк П.А., Самута С.В.
Белорусский национальный технический университет

Современные технологические процессы выплавки стали не позволяют получать расплавы чистые по неметаллическим включениям. Часть неметаллических включений попадает в металл из шихтовых материалов, футеровки плавильных агрегатов и разливочных ковшей, а также образуется в результате химического взаимодействия компонентов расплава со шлаками, печной атмосферой и в процессе кристаллизации расплава. Наибольшее количество неметаллических включений связано с присутствием в расплаве серы и кислорода. Для их вывода из металла проводятся операции по десульфурации и раскислению стали за счет ввода элементов с большим сродством к кислороду и сере чем у железа.

Учитывая высокую химическую активность вводимых добавок нельзя исключать и возможность протекания побочных процессов, которые могут способствовать или препятствовать выполнению присадками их прямого назначения.

Для раскисления стали, т.е. удаления из расплава растворенного кислорода, широко используются добавки алюминия или его сплавов. Поэтому в настоящей работе ставилась задачи по изучению вероятности протекания других процессов, кроме взаимодействия алюминия с кислородом. Следует учитывать, что все процессы ковшевой металлургии протекают не изолированно один от другого, не разобшенно, а совместно и, чаще всего, одновременно, то есть они совмещены, как в пространстве, так и во времени.

Ответ на данный вопрос можно получить из температурной зависимости изобарно-изотермических потенциалов реакций взаимодействия алюминия с основными примесями, содержащимися в сталях. Расчёты показали, что термодинамически возможны реакции взаимодействия алюминия с кислородом и серой при температурах выплавки стали. Реакция образования сульфида алюминия протекает так же с большой вероятностью, хотя константа её равновесия на несколько порядков ниже, чем у реакции образования Al_2O_3 .

Проведенные расчёты позволили объяснить факт снижения содержания серы и загрязнённости стали неметаллическими включениями при её обработке раскислительными смесями, полученными на основе алюминиевых шлаков.

Анализ энергопотребления при плавке стали в дуговых и индукционных печах

Неменёнок Б.М., Румянцева Г.А., Глушанкова Л.Я., Литвинов М.О.
Белорусский национальный технический университет

В структуре себестоимости получаемых расплавов стали затраты на энергоносители и шихтовые материалы являются наиболее значимыми. Поэтому любые мероприятия, направленные на снижение энергопотребления, являются одним из факторов повышения конкурентоспособности продукции. Наиболее эффективно расходуется тепловая энергия при плавке в электрических индукционных тигельных печах средней частоты (72,4%) и дуговых печах постоянного тока (66,4%). При плавке стали в литейных цехах на предприятиях чаще всего используются дуговые печи переменного тока, позволяющие выплавлять широкую гамму сплавов с высокими показателями качества. Однако дуговые плавильные печи переменного тока наносят большой ущерб окружающей среде, а строительство мощных устройств пыле- и газоочистки для защиты воздушного бассейна требует значительных капиталовложений.

К недостаткам данных печей следует также отнести сравнительно высокий уровень удельного расхода электроэнергии, графитированных электродов, угар шихтовых материалов и ферросплавов (3,5-6,0%), а также высокий уровень шума (до 103-105 дБ).

Существенное влияние на расход электроэнергии оказывает качество шихтовых материалов. Так увеличение зашлакованности металлошихты на 1% снижает выход жидкой стали на 0,95%. При этом расход электроэнергии и продолжительность плавки возрастают, а производительность печи уменьшается.

За последние 10-15 лет насыпная плотность металлошихты снизилась с 1 до 0,4-0,6 т/м³. Одновременно с этим изменились её теплофизические свойства. Например, теплопроводность отдельных кусков лома составляет 29-70 Вт/(м·К), а легковесной шихты только 0,87-2,3 Вт/(м·К). Это может быть одним из главных показателей, влияющих на теплопередачу в столбе металлозавалки, а следовательно, и на время расплавления лома.

Поэтому для оценки энергопотребления при плавке стали помимо типа печи необходимо учитывать качество шихтовых материалов, марку стали, способ выплавки и энергоёмкость очистных сооружений.

Влияние магнезиальных шлаков на стойкость футеровки сталеразливочных ковшей

Трибушевский Л.В., Прусова И.В., Горбель И.А.
Белорусский национальный технический университет

Повышение требований к качеству металлопродукции приводит к усложнению внепечной обработки стали и более продолжительному ее нахождению в сталеразливочном ковше, что влияет на износ огнеупорной футеровки. Считается, что основной причиной ее разрушения является химическое взаимодействие со шлаком. Процесс химического растворения периклазоуглеродистых огнеупоров в шлаковом расплаве зависит от температуры и химического состава шлака. Так при прочих равных условиях степень растворения огнеупора в шлаке тем меньше, чем больше концентрация MgO в нем приближена к равновесной. Корректировать состав шлака, приближая концентрацию MgO в нем к равновесной, можно путем использования магнезийсодержащих материалов. При этом чем больше концентрация MgO в шлаках приближена к равновесной, тем меньше скорость растворения периклазоуглеродистых огнеупоров в шлаке. Теоретическим подтверждением этому служит положение химической термодинамики об отсутствии взаимодействия на поверхности раздела двух фаз в случае равенства концентрации диффундирующего компонента и концентрации насыщения.

Расчеты показывают, что для этих целей возможно эффективное применение даже магнезиальных «инертных» порошков с низким значением константы перехода MgO в шлак при растворении в нем флюса, но при условии обеспечения высокой площади контакта флюса со шлаковым расплавом. В этом случае следует решить задачу по технологии подачи тонкодисперсного порошка в тепловой агрегат. Для этих целей может быть использовано гранулирование, брикетирование и другие виды компактирования. Эксперименты показывают, что содержание MgO в покровном ковшовом шлаке на уровне 9-10% обеспечивается присадкой флюса в количестве около 300 кг на плавку массой 100-115 т. Одновременно отмечается и некоторое увеличение степени десульфурации металла в ковше, что можно объяснить повышением активности CaO в шлаке за счет связывания части оксидов кремния в силикаты магнезия. Использование магнезиальных шлаков в процессе внепечной обработки обеспечивает защиту футеровки сталеразливочного ковша в районе шлакового пояса, что способствует значительному повышению их срока службы.

Совершенствование препарата для легирования алюминиевых сплавов марганцем

Задруцкий С.П., *Зенько П.В., **Наливайко О.Г., ***Фатеев А.В.

Белорусский национальный технический университет

* ООО «ПолитегМет»

** ОАО «Белцветмет»

*** УП «Цветмет»

Доведение химического состава расплавов на основе алюминия до требуемого является стандартной процедурой во вторичной металлургии. Марганецсодержащие материалы для легирования алюминиевых сплавов достаточно распространены и являются типовыми. Основной сложностью при доводке химического состава по марганцу является медленное усвоение последнего. В индукционных печах при наличии интенсивного перемешивания этот недостаток не является серьезной помехой. Однако при невозможности обеспечения перемешивания ванны, требуется длительная изотермическая выдержка расплава для полного усвоения введенного марганца.

Длительность изотермической выдержки можно уменьшить за счет диспергирования марганцевого порошка и специальной подготовки легирующего препарата, заключающейся в нанесении на каждую дисперсную частичку марганца тонкого слоя специального флюса, разрушающего оксидные включения, препятствующие растворению частичек марганца.

Нанесение указанного флюса на частички порошка марганца требуемой дисперсности осуществляется в катковых бегунах с использованием связующих. Дальнейшее изготовление легирующего препарата предусматривает его таблетирование для удобства использования и вакуумную упаковку. Усвоение марганца из такого препарата достигает 98...99%.

Указанный легирующий марганецсодержащий препарат прошел апробацию на ряде промышленных предприятий Республики Беларусь, России, Украины.

**Новый материал для минимизации содержания металла
в скачиваемом шлаке при плавке сплавов медной группы**

Задруцкий С.П., *Зенько П.В., **Наливайко О.Г., ***Фатеев А.В.

Белорусский национальный технический университет

* ООО «ПолитегМет»

** ОАО «Белцветмет»

*** УП «Цветмет»

Минимизация потерь металла со шлаком всегда являлась актуальной и важной задачей. В Республике Беларусь эта тема с учетом отсутствия природных сырьевых ресурсов приобретает особое значение.

В лабораторных условиях были проведены работы по изучению влияния смеси карбонатов кальция и стронция на содержание металлической составляющей в скачиваемой шлаковой фазе при плавке сплавов медной группы.

После обработки металла карбонатными смесями в количестве 0,01...1,0% от массы металлозавалки, на зеркале расплава образовывался сухой, рассыпчатый шлак. Карбонатные смеси наносились на зеркало расплава с последующим интенсивным замешиванием и при помощи погружного колокольчика. Температура обработки сплавов соответствовала температурам плавки в реальных производственных условиях. Содержание металлической составляющей в скачиваемом шлаке не превышало 5%.

Полученные лабораторные результаты были подтверждены в промышленных условиях на ОАО «НЗГА».

Таким образом, определено, что обработка расплавов медной группы карбонатными смесями $\text{CaCO}_3 + \text{SrCO}_3$ обеспечивает получение сухого, рассыпчатого шлака с низким содержанием металлической составляющей.

Возможность широкого промышленного применения кальций-стронциевой карбонатной смеси для обработки сплавов медной группы требует дальнейшего изучения.

Принципы конструирования пресс-форм для литья под давлением

Скворцов В.А., Базылев Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Конструкции форм для литья под давлением в зависимости от выбора литейной машины, конфигурации отливки, необходимой производительности и т.п. очень разнообразны. Узлы, детали и механизмы форм в зависимости от их назначения можно разделить на три основные группы.

Формообразующие детали – это детали, которые оформляют наружные и внутренние поверхности отливок и непосредственно соприкасаются с жидким металлом. К ним относятся: вкладыши, вставки, литниковые втулки и раскататели, стержни, выталкиватели и некоторые другие.

Конструктивные детали несут на себе формообразующие детали, осуществляют раскрытие и закрытие формы, обеспечивают точное взаимное расположение и направление всех ее рабочих деталей, крепление формы к машине. К конструктивным деталям относятся: плиты: матриц, подкладные, выталкивателей, оснований, брусы, направляющие колонки и втулки, упоры, фиксаторы, центрирующие штифты, втулки и штыри, а также крепежные детали. Конструктивные детали должны быть прочными, не деформироваться при передаче им усилия рабочими органами машины, обеспечивать в процессе эксплуатации формы точное расположение движущихся частей, а также возможность удобного закрепления формы на столах машины.

Механизмы формы. В соответствии с назначением и характером работы механизмы пресс-формы подразделяются на механизмы выталкивания отливок, стержнеизвлекающие механизмы, запирающие механизмы, которые могут иметь отдельный привод или кинематически связаны с движением подвижной части пресс-формы. Механизмы пресс-форм должны обеспечивать нормальную работу всех движущихся частей в условиях повышенных температур без перекосов и заклиниваний.

Такое большое количество взаимосвязанных деталей требует разработки специальных подходов к процессу конструирования пресс-форм.

Уточненный расчет литниковых систем

Скворцов В.А., Тонкович А.А.

Белорусский национальный технический университет

Литниково-питающие системы (ЛПС) служат для обеспечения заполнения литейных форм металлом с оптимальной скоростью, исключая образование в отливке недоливов и неметаллических включений, и компенсирующей объемную усадку в период затвердевания отливки с получением в ней металла заданной плотности. К типовым литниковым системам относятся: горизонтальные, боковые, сифонные, верхние и дождевые. Для их расчета используют упрощенные методы, основанные на следующих допущениях;

– расплав рассматривается как идеальная жидкость с постоянной вязкостью, охлаждение расплава и нагрев формы при ее заполнении не учитываются;

– движение расплава рассматривается как установившееся движение тяжелой жидкости по закрытым и открытым каналам.

Расчет ЛПС сводится к определению площади наименьшего сечения литниковой системы (стояка или питателя) с последующим определением (по соотношениям) площадей сечения остальных элементов системы.

Для сужающихся литниковых систем площадь наименьшего сечения F_n находят по формуле (метод Озанна-Диттерта)

$$F_n = \frac{G}{\rho \tau \mu \sqrt{2gH\rho}},$$

где G – масса отливки с литниковой системой, кг; ρ – плотность заливаемого расплава, кг/м³; τ – продолжительность заливки формы, с; μ – коэффициент расхода расплава, учитывающий потери на трение, повороты в литниковой системе; g – ускорение свободного падения, м/с²; $H\rho$ – расчетный статический напор, м.

Недостатком данного метода расчета является то, что в формуле в числитель подставляется масса отливки с литниковой системой, которую мы только рассчитываем.

Для определения массы отливки с литниковой системой на чертеж детали наносятся литейно-модельные указания. На основании литейно-модельных указаний определяются габаритные размеры моделей, разрабатывается эскиз расположения моделей на подмодельной плите и конструкция литниковой системы, по которым определяются длины питателей и шлакоуловителей.

Результаты центробежно-ударной обработки отвальных формовочных смесей

Одиночко В.Ф., Шишпор К.Д.

Белорусский национальный технический университет

В связи с широким использованием в литейных технологиях легко выбиваемых стержней появляется избыточное количество оборотных формовочных песчано-глинистых смесей (ОФС).

На кафедре «Машины и технология литейного производства» Белорусского национального технического университета совместно с Минским УП «НПО «Центр» была проведена исследования процесса центробежно-ударной обработки отвальных песчано-глинистых смесей РУП МТЗ. Цель обработки – регенерация формовочного песка из отвальных ОФС.

Проба смеси в количестве 30 кг подвергалась обработке в течение 30-35 сек в лабораторной дробилке пятикратно. Расчетная скорость частиц смеси в момент удара составляла 75-80 м/с. После каждого опыта проводился анализ гранулометрического состава полученного продукта. Технологические испытания песчано-глинистых смесей, в состав которых для сравнения в качестве освежающей добавки добавляли свежий или регенерированный песок проводили по стандартным методикам.

Результаты анализов гранулометрического состава свидетельствуют о том, что после уже после первого опыта в продуктах переработки ОФС количество зерен основных фракций (0,1 – 0,315 мм) практически соответствует их содержанию у свежего кварцевого песка. При этом после каждого опыта содержание пыли (частиц менее 0,1 мм) в продуктах переработки составляет до 7 % вследствие измельчения более крупных частиц.

По результатам химического анализа установлено, что мелкая фракция (частицы с размерами до 0,1 мм) после первого опыта в основном состоит из частиц бентонитовой глины, молотого угля и незначительного количества кварцевой пыли. Добавление в смесь 2-4% этой пылевидной фракции (отхода регенерации) существенно на технологические свойства песчано-глинистой смеси не повлияло, но позволило сэкономить до 0,3-0,5 % бентонита и до 0,2-0,3 % молотого угля. При этом прочность на сжатие находилась в пределах 1,05-1,21 МПа, текучесть 42-45 %, уплотняемость 37-41 %, газопроницаемость 85-104 ед.

Результаты экспериментов также показали, что технологические свойства образцов смесей с освежающей добавкой (регенератом) в количестве до 10% вместо свежего песка практически не отличаются от свойств образцов с добавкой свежего песка при всех прочих других равных условиях.

**Технологические особенности процесса полунепрерывного литья
чугуна**

Крутилин А.Н., Куприянова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Анализ факторов, оказывающих влияние на стабильность процесса, показал, что основную роль в процессе формирования оказывают температурные условия.

На начальной стадии формирования корки, при непосредственном контакте жидкого металла и водоохлаждаемой стенки кристаллизатора, интенсивность теплообмена между отливкой и кристаллизатором максимальная. Экспериментальные исследования показывают, что плотного контакта между поверхностью заготовки и стенками кристаллизатора не существует.

При дальнейшем движении слитка в кристаллизаторе между корочкой и стенками кристаллизатора происходит образование газового зазора, возрастает термическое сопротивление, интенсивность теплообмена падает. Характер изменения газового зазора оказывает влияние, как на температурное поле по сечению заготовки, так и на развитие усадочных процессов, что ведет к образованию значительных напряжений и возникновению деформации в затвердевающей отливке, которые увеличивают вероятность образования дефектов типа зависаний, искажения геометрии отливки и т.д.

Перечисленные выше факторы не исчерпывают всего многообразия технологических особенностей процесса, оказывающих влияние на стабильность процесса литья. Необходимо проведение детального анализа по влиянию предусадочного расширения, полноты протекания процесса графитизации в затвердевающей корке и других факторов. Прекращение процесса происходит в результате малоциклового высокотемпературной усталости корки, наличие больших растягивающих напряжений возникающих под действием знакопеременных динамических нагрузок снижает усталостную прочность затвердевающей корки и создает опасность нарушения стабильности процесса.

Крутилин А.Н., Шикуров О.М.

Белорусский национальный технический университет

Для процесса формирования отливки при вертикальном полунепрерывном литье чугуна характерны специфические условия кристаллизации. Знание закономерностей распределения температур, напряжений и деформаций в затвердевающей отливке является необходимым условием для выбора оптимальных технологических параметров процесса, а также рациональных путей улучшения качества отливки.

Анализ расчетных данных показывает, что напряжения по толщине затвердевающей корки изменяются от растягивающих на поверхности заготовки, до сжимающих напряжений на внутренней поверхности. Напряжения достигают максимальных значений, когда температурный перепад по сечению имеет наибольшую величину.

С ростом температуры заливаемого металла и скорости литья происходит увеличение зоны, подверженной влиянию растягивающих напряжений суммарные растягивающие напряжения в поверхностных слоях заготовки возрастают. В отличие от поверхностного слоя, в котором действуют растягивающие напряжения, при перемещении к центру наблюдается изменение знака напряжений.

Определение оптимальных технологических параметров процесса непрерывного литья основывается на знании величины напряжений, возникающих под действием металлостатического давления, термических напряжений, усилия вытягивания заготовки.

Результаты расчета суммарных термических напряжений и напряжений от действия ферростатического напора в зоне максимального разогрева отливки показали, что в поверхностных слоях отливки развиваются растягивающие напряжения, которые наиболее опасны с точки зрения развития трещин.

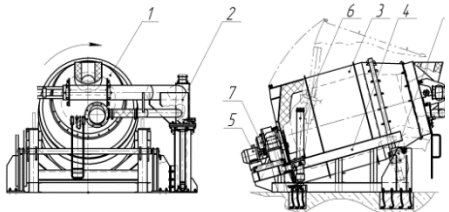
Моделирование и расчет элементов конструкции ротационных наклоняющихся печей (РНП)

Ровин С.Л., *Ровин Л.Е., *Мазуров В.С.

Белорусский национальный технический университет

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

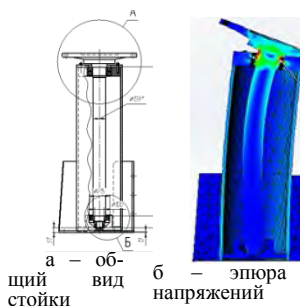
РНП – новый тип плавильных печей, популярность которых стремительно растет в литейном производстве и металлургии (рис. 1). Сегодня эти печи выходят на лидирующее место при производстве алюминиевых, цинковых, свинцовых, медных и других сплавов из стружки, мелкого скрапа, шлама, шлака и т.д. Среди используемых в настоящее время плавильных печей нет агрегатов, которые позволяли бы с большей эффективностью переплавлять дисперсную шихту. РНП дает возможность активного проведения всех металлургических процессов: восстановления, окисления,



- 1 – крышка; 2 – стойка крышки; 3 – корпус;
4 – поворотная рама; 5 – привод вращения; 6 –
– привод наклона; 7 – узел осевого подшипника;
8 – опорные ролики

Рис. 1. Общий вид РНП

восстановления, окисления, расплавления, перемешивания расплава, рафинирования, модифицирования и т.д. Построение геометрии и расчет параметров рабочего пространства печи выполняется на основании результатов мат. моделирования движения газовых потоков и теплообмена в процессе нагрева и расплавления материала. Хорошую сходимость с реальными процессами обеспечивает применение программных комплексов Solid Works Flow Simulation и ANSYS CFX.



а – общий вид стойки
б – эпюра напряжений

Рис. 2. Оптимизация конструкции стойки крышки.

Корпус печи рассчитывается на прочность и жесткость с учетом знакопеременных деформаций и напряжений, продольных и поперечных изгибающих моментов, тепловых расширений и динамических нагрузок.

Статические и динамические нагрузки на опорные ролики, осевой подшипник, стойку поворотной крышки моделируются и рассчитываются с помощью п.п.п. Solid Works Premium (рис. 2).

Рудницкий Ф.И.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является отработка технологии получения литых заготовок из быстрорежущих сталей за счет улучшения структуры и повышения эксплуатационных свойств быстрорежущих сталей путем введения в расплав наноструктурированного диборида титана. Титан эффективно повышает ударную вязкость литой стали. Бор повышает твердость, теплостойкость и устойчивость против истирания.

Диборид титана в наноструктурированном виде вводили в печь с расплавленной сталью методом продувки его через футерованную фурму инертным газом (аргоном) после полного раскисления стали. Твердость литых образцов определяли после отжига, закалки и отпуска. Ударную вязкость и износостойкость изучали после полной термической обработки.

В результате микроструктурного анализа исследуемых образцов, установлено, что наномодифицирование измельчается первичное зерно, сетка ледебуритной эвтектики разрывается, эвтектика приобретает тонкое строение и располагается в виде изолированных колоний. Эвтектическая составляющая по морфологическому типу скелетообразная, что характерно для борсодержащей быстрорежущей стали. Однако механизм разрушения экспериментальной стали близок к механизму разрушения стали, модифицированной титаном – внутризеренный. Результаты анализа поверхностей разрушения экспериментальной стали, модифицированной наноструктурированным диборидом титана показывают, что фасетки скола отсутствуют, присутствующие на фрактограммах борсодержащей стали. Напротив, в поверхностях разрушения наномодифицированной стали преобладает ямочный микрорельеф, что свидетельствует о высокой энергоемкости такого механизма и повышенной ударной вязкости образцов.

В результате проведенных исследований установлено, что наномодифицирование быстрорежущей стали сильными карбидообразующими элементами (титаном, бором) в установленных количествах оказывает заметное влияние на морфологию структуры литой быстрорежущей стали, приводит к измельчению зерна (в 1,5-2 раза), раздроблению эвтектики, уменьшению количества неметаллических включений (в 1,5-2,5 раз). При этом повышается ударная вязкость в 1,2-1,3 раза, теплостойкость литой стали на 1-1,5 HRC и износостойкость в 1,5 раза.

Наномодифицирование цинковых антифрикционных сплавов

Рудницкий Ф.И., Шапелевич И.А.

Белорусский национальный технический университет

Сплавы системы цинк-алюминий-медь - антифрикционные материалы, из которых наибольший интерес представляет сплав марки ЦАМ10-5, который во многих случаях способен заменить оловянистую бронзу, а иногда и свинцовооловянный баббит марки Б-16. При нагрузке на пару трения 50 кгс/см^2 со смазкой коэффициент трения данного сплава в паре со сталью 45 (49–51 HRC) составляет 0,009, износ — $0,017 \text{ мг/(см}^2 \cdot \text{км)}$. Коэффициент трения баббита Б-83 при тех же условиях 0,005.

Результаты выполненного анализа в рамках настоящих исследований свидетельствуют о том, что при условии улучшения некоторых свойств, а также достижения эффекта самосмазывания, сплав на основе цинка может быть успешно использован в качестве заменителя бронз.

При обосновании выбора сплава на основе цинка, проводили оптимизацию основных легирующих элементов сплава алюминия и меди с использованием диаграмм состояния. Установлено, что в соответствии с диаграммой состояния цинк–алюминий в процессе кристаллизации жидкости при определенной концентрации компонентов происходит эвтектическое и эвтектоидное превращение. Это позволяет обеспечить такую структуру сплава на основе цинка, которая удовлетворяла бы принципу Шарпи — присутствию твердых структурных составляющих в мягкой основе. В этом случае разрабатанный сплав может быть использован в качестве антифрикционного.

При выполнении исследований в качестве модифицирующих добавок, оказывающих влияние на процесс структурообразования антифрикционного сплава системы цинк-алюминий-медь в наноструктурированном виде использованы нитрид бора и бемит. В результате анализа микроструктур образцов исследуемого сплава установлено, что вводимые нанодобавки кардинально меняют дисперсность, характер, распределения, количественное соотношение структурных составляющих. Так при введении в расплав значительно увеличивается доля эвтектики, представляющей смесь двух твердых растворов. Особенно этот эффект проявляется при модифицировании нитридом бора и, в несколько меньшей степени, бемитом. В частности в структуре сплава обработанного нитридом бора фиксируется лишь небольшая доля (не более 10 %) первичных зерен α – твердого раствора, выстроенных в направлении осей дендритов. Модифицирующий эффект нанодобавок проявляется как в инокулирующем, так и лимитирующем действии на кристаллизующийся расплав.

Моделирование и системный анализ технологии изготовления отливок в металлических формах

Николайчик Ю.А., Маркин Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

В рамках настоящей работы выполнено моделирование и системный анализ технологии изготовления в металлических формах (кокилях) крупногабаритных отливок вкладышей тяжело нагруженных подшипников скольжения. Для моделирования и системного анализа при выполнении работы использован пакет ProCast. ProCast – это программа для компьютерного моделирования литейных процессов, основой моделирования является метод конечных элементов, данный метод обеспечивает высокую точность описания геометрии отливки и формы. Применение ProCast на стадии проектирования геометрии отливки вкладыша подшипника скольжения и металлической формы позволило значительно упростить, ускорить, а также снизить затраты процесс освоения технологии получения отливок вкладышей подшипников скольжения. Применение ProCast позволило выполнить анализ многоциклового литья отливок вкладышей подшипников скольжения в кокиль: получены данные распределения теплового поля в металлической форме после нескольких циклов заливки/охлаждения антифрикционного сплава, а также повышена точность моделирования вероятности образования усадочной пористости на последующих циклах.

В ходе выполнения работы промоделированы несколько вариантов литниковых систем предназначенных для изготовления отливок тяжело нагруженных вкладышей подшипников скольжения. По полученным данным сделан вывод о рациональности той или иной системы подвода жидкого металла. Результаты моделирования представлены в виде корометражных фильмов с кадровым заполнением металлической формы. В результате анализа различных вариантов литниковой системы, подобрана наиболее оптимальная ее конструкция с точки зрения получения годной отливки. Кроме того результаты моделирования позволили оценить влияние литниковой системы, температуры заливаемого металла, химического состава сплава, скорости заливки на образование газовых дефектов в отливке.

Профилактика образования дефектов поверхности отливок за счет применения эффективных покрытий литейных форм

Николайчик Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение конкурентоспособности продукции машиностроительного комплекса Республики Беларусь невозможно без высокой эффективности литейного производства. В условиях жесткой рыночной экономики вопросы повышения качества литых изделий как никогда приобретают первостепенное значение. Как известно формирование качества отливки складывается на всех технологических этапах ее изготовления. Среди дефектов отливок одна из самых распространенных групп – дефекты поверхности, которые формируются в период взаимодействия формы и расплава. В технологии литейного производства предупреждение таких дефектов осуществляется с помощью нанесения на поверхность литейной формы специальных противопопригарных покрытий. Следует отметить, что при современном уровне литейного производства покрытия должны не только выполнять противопопригарные функции, но и решать задачи профилактики всей группы дефектов поверхности, быть экологически безопасными и относительно недорогими.

В рамках выполненной работы разработана широкая номенклатура эффективных противопопригарных покрытий (таблица 1).

Таблица 1 – Номенклатура разработанных покрытий

| Внешний вид | |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| № покрытия | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Основной наполнитель | | Алюмо-силикаты | Циркон | Графит | Композитная смесь | Магнезит | Композитная смесь | Хромомагнезит |
| Назначение | Сталь | + | + | - | - | + | + | + |
| | Чугун | + | + | + | + | - | - | - |

Разработанные противопопригарные краски и покрытия по основным технологическим свойствам не уступают лучшим зарубежным аналогам, а по ряду специальных характеристик превосходят их. При этом, стоимость новых красок в 2-2,5 раза ниже аналогов.

Автоклавное модифицирование наноматериалами жидкостекольного связующего материала

Гуминский Ю.Ю., Сергиевич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Будущее литейного производство заключается в высококачественных и экологически безопасных технологиях. Не для кого не секрет, что широко применяемые в настоящее время литейные смеси на основе смоляных (фурановых, фенолформальдегидных и т.д.) связующих материалах негативно оказывают влияние на экологию в цехе и за его пределами. Система вентиляции и очистки рабочих мест является сложной и дорогостоящей. Так же стоимость захоронения отходов довольно высокая

Перспективным, в сложившейся ситуации, выглядят смеси, связующим материалом которых является модифицированное жидкое стекло. Новые составы жидкостекольных связующих позволят получать не только литейные формовочные и стержневые смеси с высокими технологическими свойствами, но и улучшить экологические показатели.

Жидкостекольное связующее в литейных цехах используется с 40-ых годов прошлого века, но до сих пор до конца не изучено, а следовательно потенциал его раскрыт не полностью. Поэтому проблемы основных недостатков жидкостекольного связующего материала до сих пор остаются не решенными, а именно повышенное процентное содержание связующего в смеси и как следствие затрудненная выбивка. Именно эти недостатки являются главными сдерживающими факторами широкого применения жидкостекольного связующего в современном литейном производстве.

В современном мире нанотехнологии быстро развиваются. Применение нанопорошков (30 - 100 нм) сделало возможным не только химически связывать модификатор с жидкостекольным связующим, но встраивать его в саму структуру глобулы силикагеля. В первую очередь благодаря наноразмеру модификатора и повышенной химической и поверхностной активности нанопорошков. При этом температура и давление в автоклавах требуется значительно меньше. Полученные таким образом модифицированные связующие материалы позволяют повысить прочность жидкостекольных смесей до 20-25% (возможность снизить содержание связующего в смеси до 4%), а работу, затрачиваемую на выбивку, сократить практически в 2 раза.

В современном литейном производстве предъявляются повышенные требования к качеству форм и стержней, а так же требования к экологичности технологий. Наномодифицированные жидкостекольные связующие практически полностью соответствуют данным требованиям.

Перспективные экологические безопасные смеси для литейных форм и стержней

Гуминский Ю.Ю., Одиночко В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Довольно острой проблемой является экология в литейных цехах. В настоящее время ситуация сильно обострилась. В первую очередь это связано с преимущественным применением различных смоляных связующих, таких как фенольные, фенолформальдегидные, фурановые и др. смолы. Поэтому следует искать пути уменьшения вредного воздействия данных связующих или искать экологически чистые связующие материалы, которые впоследствии смогут занять место вредных и опасных смол.

В роли экологически чистого заменителя смоляных связующих материалов может выступать жидкое стекло. Этот связующий материал в прошлом был довольно популярным, но и в настоящих дни является до конца не изученным, а следовательно его потенциальные возможности еще полностью не раскрыты. Для конкурентоспособности жидкостекольных связующих со смоляными, данный тип связующее следует избавить от следующих недостатков: повышенное содержание связующего в составе смеси и плохая выбиваемость стержней. Эти два недостатка косвенно между собой связаны, так как при уменьшенном содержании связующего в смеси будет затрачиваться и меньше работы, на выбивку стержней.

Нами ведутся исследования в 2-ух направлениях, а именно автоклавное модифицирование наноматериалами самого жидкостекольного связующего и технологическая обработка вакуумом смесей на основе жидкого стекла в момент их отверждения (CO_2 -процесс). Конечным результатом этих направлений исследований должен стать комплексный метод отверждения жидкостекольных смесей, содержащих наномодифицированное связующее, в вакууме.

По обоим направлениям получены образцы имеющие повышенную прочность, что позволяет снизить содержание жидкостекольного связующего в смеси с 6-9%, до 3-4% без потери технологических свойств. Так же наблюдается улучшение выбиваемости, а именно снижение работы, затрачиваемой на выбивку стержней, до 60%.

Будущее литейного производство заключается в высококачественных и экологически безопасных технологиях. Новые составы жидкостекольных связующих позволят получать не только литейные формовочные и стержневые смеси с высокими технологическими свойствами, но и улучшить экологические показатели.

**Порошковая металлургия,
сварка
и технология материалов**

УДК 629.735

Формирование волокнистой структуры в алюминии прошивкой сгустками карбидных частиц

Ушеренко С.М., Ушеренко Ю.С., Яздани - Черати Джавад Ф.
Белорусский национальный технический университет

Алюминий является достаточно однородным с точки зрения плотности металлическим материалом. Так как прошивка этого металла происходит в твердом агрегатном состоянии за счет динамического взаимодействия, то колебания ударников относительно оси образца реализуются за счет отражения ударных волн. При прошивке алюминия сгустками частиц в нем формируются волокна, которыми армируется алюминиевая матрица. На основе алюминиевой матрицы, после прошивки, возникает волокнистая структура (рисунок 1).

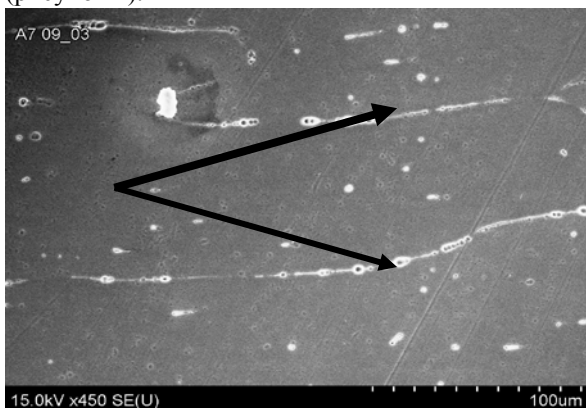


Рисунок 1. Композиционный алюминиевый материал.

Процесс прошивки происходит за счет дополнительной генерации энергии в виде взрыва. При этом в зоне захлопывания канала, формируемого при прошивке, достигается давление $\sim 10^{16}$ Дж/м³.

Получена дополнительная информация о формировании волокнистой структуры. Обнаружено в зоне треков дополнительного легирования - железом и медью $\approx (25 \text{ масс \% Fe} + 1,5 \text{ масс \% Cu})$. Использование карбида кремния в качестве микроударников позволяет выполнить маркировку по волокну за счет дополнительного легирования $\approx 2 \text{ масс \%}$.

За счет дополнительного легирования меняется химическая активность материала в зоне волокна, а также физико-химические свойства.

Процессы динамического легирования в сталях

Ушеренко С.М., Ушеренко Ю.С., Яздани Джавад Х.
Белорусский национальный технический университет

Широко известно легирование сталей в жидком агрегатном состоянии. Введение в объем жидкого металла легирующих элементов в случае неограниченной и ограниченной растворимости приводит к формированию легированных сталей и повышению уровня их физико-химических свойств. В настоящее время практически исчерпаны возможности такого типа легирования при добавках лигатуры в до 4-х легирующих химических элементов. В случае традиционного подхода на основе стали формируется относительно однородная стальная матрица с заданным комплексом свойств.

В результате использования эффектов динамического легирования появилась возможность легирования сталей в твердом агрегатном состоянии. В этих условиях на основе высокоэнергетического взаимодействия между материалом вводимых порошковых частиц и стальной матрицы формируются волокна из метастабильных соединений. Свойства таких соединений в настоящее время невозможно предсказать на основании известной информации. Однако накопленная в результате экспериментов информация позволяет предсказать формирование композиционного стального материала. Матричная сталь сохраняет исходные свойства, а армирующий каркас состоит из малоизвестных продуктов синтеза. На рисунке 1 показан пример формирования волоконного композиционного материала методом введения в сталь 45 ступков порошков нитрида ниобия.

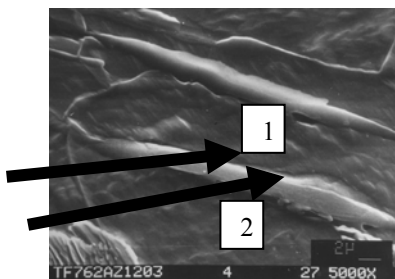


Рисунок 1. Композиционный стальной материал, армированный волокнами из синтезированного материала

Точка 1. Концентрация элементов вблизи с волокном :

$Nb=0,60\%$, $Mn=2,18\%$, $Fe=97,14\%$.

Точка 2. Концентрация элементов в волокне: $O=0,23\%$, $Si=0,15\%$, $Nb=7,14\%$, $Mn=12,30\%$, $Fe=80,18\%$.

Исследование влияния температуры горячего прессования, примесей в шихте на плотность и прочность при изгибе горячепрессованной керамики на основе нитрида кремния

Голубцова Е.С., Каледина Н.Б. ¹, Нисс В.С., Трибушевский Л.В.
Белорусский национальный технический университет

Вопрос синтеза конструкционной керамики, которая могла бы длительное время работать в окислительной среде при температуре свыше 1200 °С до сих пор по ряду причин остается актуальным. Для синтеза высокопрочной керамики и обеспечения повышенной надежности изделий из нее необходимо создать тонкозернистую структуру в сочетании с низкой дисперсией размеров зерен и равномерным распределением фаз. В настоящей работе применяли ультрадисперсные композиционные порошки (УДКП) в системе Si_3N_4 - Y_2O_3 с повышенной удельной поверхностью (>50 м²/г). Горячее прессование осуществляли с использованием индукционного нагрева в графитовых пресс-формах в среде азота при температуре до 1850 °С и давлением 25 МПа. Для исследования влияния температуры испытаний, доли Y_2O_3 в смеси порошков и отношения β - Si_3N_4/α - Si_3N_4 был использован трехфакторный некомпозиционный план второго порядка Бокса-Бенкина. В качестве параметров оптимизации была выбрана плотность ($y_1 = \rho$, г/см³), предел прочности на изгиб ($y_2 = \sigma_u$, МПа) и трещиностойкость ($y_3 = K_{Ic}$, МПа·м^{0,5}), а в качестве факторов — температура испытаний (x_1 , $t = 20, 700$ и 1400 °С); доля Y_2O_3 (x_2 , 2, 10 и 18 мас.%) и отношение β - Si_3N_4/α - Si_3N_4 (x_3 , 0,43; 0,96; 1,49). Анализ полученных уравнений показывает, что наибольшее влияние на все параметры оптимизации (ρ ; σ_u ; K_{Ic}) оказывает содержание в смеси оксида иттрия (x_2), влияние соотношения фаз β - Si_3N_4/α - Si_3N_4 (x_3) и температуры испытания значительно меньше. Максимальные значения $y_1 = \rho = 3,73$ г/см³; $y_2 = \sigma_u = 995$ МПа и $y_3 = K_{Ic} = 10,62$ МПа·м^{0,5} при температуре испытания 700 °С, доле Y_2O_3 18%, соотношения β - Si_3N_4/α - $Si_3N_4 = 0,43$.

Щавелева О.А., Девойно О.Г., Панасюгин А.С., Луцко Н.И., Голубцова Е.С.
Белорусский национальный технический университет

Проблема получения качественного соединения лазерной пайкой является актуальной на сегодняшний день. Для обеспечения доброкачественной пайки температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления основного металла.

При пайке, также как и при сварке алюминиевых сплавов возникают некоторые трудности. Наличие и возможность образования тугоплавкого окисла Al_2O_3 ($T_{пл} = 2050$ °С) с плотностью большей, чем у алюминия, затрудняет сплавление соединяемых поверхностей и способствует загрязнению контактируемых поверхностей припоя и основного металла. Припой должен растворять основной металл и смачивать его, легко растекаясь по поверхности пайки. Как правило, соединяемые поверхности предварительно очищают механическим путем, а затем подвергают химической очистке при помощи флюсов. Флюсы должны полностью расплавляться и проявлять активное химическое и физическое действие при сравнительно низких температурах пайки. Действие флюсов при пайке алюминия и его сплавов направлено на химическое или физическое уничтожение оксида Al_2O_3 .

Наиболее сильно действующие растворители оксида алюминия -- галогенные соединения щелочного металла лития. При лазерной пайке должно происходить расплавление припоя лазерным пятном без расплавления основного металла. Металлы, используемые в исследованиях, - алюминиевые сплавы Д16 и АК5.

Здесь возникает и другая проблема -- алюминий плохо поглощает излучение, поэтому необходимо подобрать температуру, при которой выбранный припой будет расплавляться, постепенно заполняя зазор. В процессе лазерной пайки возможно контролировать температуру только косвенно - изменяя скорость передвижения лазерного пятна и диаметр самого пятна. Это также является проблемой, которая решается путем подбора и расчетов.

Особенности сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов

Специан М.В., Голубцова Е.С.,
Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день, проблема получения качественных сварных соединений из алюминия и его сплавов, является весьма актуальной для таких областей промышленности как судостроение, железнодорожный транспорт, аэрокосмическая, автомобильная, электротехническая, пищевая промышленность, строительная индустрия.

Традиционная сварка плавлением имеет ряд недостатков и проблем, которые могут быть решены с помощью сварки трением с перемешиванием, к примеру, в процессе сварки трением с перемешиванием отсутствует дым, шум, ультрафиолетовое излучение, нет необходимости придания специального профиля кромкам и удаления оксидной пленки перед сваркой, возможно получение беспористых швов с низким уровнем деформаций. Качество сварки трением с перемешиванием и ее производительность, во многом определяются геометрией сварочного инструмента. Параметры геометрии инструмента, который состоит из пина и бурта, должны обеспечивать получение качественного сварного соединения, максимально приближенного по своим свойствам к свойствам основного металла. Сам инструмент должен состоять из материала, имеющего высокую жаростойкость, твердость, низкую теплопроводность, износостойкость. Для алюминиевых сплавов обычно используют инструмент из сплавов на кобальто-никелевой основе, инструментальных сталей, твердых сплавов системы *WC-Co*. Вращение инструмента обеспечивает нагрев материала, и его перенос в процессе сварки. При увеличении частоты вращения инструмента, увеличивается тепловыделение, интенсифицируется процесс переноса и перемешивания материала. Важно подобрать оптимальную скорость вращения, так как если материал будет недостаточно прогрет, за пином будут образовываться несплошности шва, а при слишком большой температуре, будет происходить перегрев металла, образование задигов и схватывание материала с инструментом.

**К вопросу стабильности начального этапа процесса
горизонтального непрерывного литья**

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Для стабилизации начального этапа процесса горизонтального литья использовали устройство - пробку из малотеплопроводного материала с литниковым каналом, отделяющую металлоприёмник от полости кристаллизатора и вставляемую в выступающую неохлаждаемую часть графитового вкладыша. Оно предназначалось для ликвидации прорывов расплава на выходе из кристаллизатора в процессе литья.

Недостатком такого устройства являлось то, что пробка часто выталкивалась в металлоприёмник во время обратного направлению вытяжки движения заготовки. Это происходило потому, что в начале процесса литья, в момент заливки первых порций расплава в металлоприёмник, поступающий в кристаллизатор расплав способствовало образованию в верхней части кристаллизатора воздушной подушки, давление в которой возрастало пропорционально температуре расплава. Поскольку гидростатическое давление металла на пробку со стороны металлоприёмника уравнивается гидростатическим давлением расплава со стороны кристаллизатора, то давление воздушной подушки выталкивало пробку внутрь металлоприёмника, что соответственно приводило к нарушению процесса литья. Выталкивание пробки наблюдали при промышленном внедрении технологии горизонтального непрерывного литья заготовок из чугуна в условиях Каунасского завода «Центролит».

На основании теоретических и экспериментальных исследований было предложено использовать в устройстве для горизонтального непрерывного литья, содержащем металлоприёмник, водоохлаждаемый кристаллизатор с графитовым вкладышем, неохлаждаемая часть которого соединена с металлоприёмником пробку из малотеплопроводного материала с литниковым каналом для прохода расплава, отделяющую металлоприёмник от полости кристаллизатора. Пробка соединялась с неохлаждаемой частью графитового вкладыша с помощью замка, выполненного в виде пазов на вкладыше и пробке. Кроме того в верхней части пробки было выполнено щелевое отверстие для отвода воздуха из полости кристаллизатора в металлоприёмник.

Таким образом, использование усовершенствованного устройства позволило решить задачу обеспечения стабильности процесса горизонтального непрерывного литья.

О механизме формировании сварного шва при точечной контактной сварке разнотолщинных материалов

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

При сварке материалов с большим соотношением толщин с резко различающимися теплофизическими свойствами существенное влияние на расположение литой зоны соединения оказывает характер режима сварки.

В случае жесткого режима сварки литая зона располагается относительно симметрично плоскости соединяемых деталей, размеры вмятин на поверхности деталей меньше, выше стойкость электродов. При этом на жестких режимах сварки необходимо повышать усилия сжатия заготовок. Это ограничивает применение жестких режимов в связи с усложнением конструкций приводов сварочных машин. На мягком режиме литая зона смещена в более толстую деталь и расположена симметрично относительно внешних поверхностей деталей. Однако при больших $t_{св}$ размеры зоны термического влияния увеличиваются, что может привести к деформации металла и короблению сварных узлов. При соединении деталей неравной толщины возникает ряд проблем, обусловленных различным характером распределения плотности тока в деталях, отвода теплоты от расплавленной зоны в электроды и пониженным сопротивлением деформации тонкой детали. Из-за сильного растекания тока в толстом листе резко возрастает плотность тока на периферии контакта деталей. Неодинаковое удаление зоны расплавления от рабочей поверхности электродов создает в тонком листе более высокий градиент температур, а поэтому более сильный поток теплоты в электрод. В результате ядро располагается несимметрично относительно стыка деталей и смещается к центру, а проплавление тонкой детали уменьшается. При большой разнице в толщине может возникнуть полный непровар изделия. Повышение температуры тонкой детали усиливает ее деформацию, появляются глубокие вмятины от электродов, увеличиваются зазоры между деталями.

При применении мягких режимов усиливается отвод теплоты в электроды и смещение ядра, увеличивается деформация тонкой детали. Проведенное моделирование процесса контактной точечной сварки стальных деталей различной толщины показало, что ядро возникало в виде кольцевой зоны на некотором радиусе относительно оси электрода, которая во время цикла сварки распространялась внутрь и наружу.

Показано что, при глубоком проплавлении требуемое время сварки с понижением сварочного тока быстро возрастает.

Использование высокоэнергетических методов обработки с целью создания инструмента из отходов твердых сплавов

Поболь А.И.

Белорусский национальный технический университет

Современное производство не обходится без применения твердосплавного инструмента. Дороговизна как готовых твердосплавных изделий, так и сырья для их изготовления вызывает необходимость постоянного поиска путей снижения издержек производства. В то же время, несмотря на огромные объемы лома твердых сплавов (только на БМЗ исчисляется тоннами в год) промышленная переработка отходов твердых сплавов (ОТС) в Беларуси не реализована. Механическая переработка отходов ВК сплавов в барабанных мельницах и атриторах уже показала свою целесообразность. С целью снижения дисперсности, а вместе с этим и повышение ряда важнейших характеристик получаемых порошков ведется работа с Томским политехническим университетом по применению *электроэрозсионного диспергирования* для переработки ОТС. Получаемые золи с субмикронными и наноразмерными частицами обладают высокой поверхностной энергией, при этом рентгенофазовые исследования показали высокий процент карбидной составляющей в получаемом сырье. Технология не требует больших капиталовложений. В процессе создание компактных изделий импульсное *электроконтактное спекание* (ЭКС) имеет ряд преимуществ: при высокой производительности и низкой энергоемкости процесс реализуется без защитной атмосферы в коротком временном интервале, что позволяет минимизировать зону термического воздействия на материал, сформировав мелкодисперсную структуру при его высокой (до 99%) плотности. С применением ЭКС в ОИМ НАН Беларуси из ОТС изготовлен инструмент: фильеры для правки арматурной проволоки, а также токарные резцы и правильные карандаши. Испытания инструмента показали сравнительно высокую стойкость, в некоторых случаях превышающую стойкость инструмента, изготовленного классическим спеканием твердого сплава первого применения, при значительно меньшей стоимости.

Электронно-лучевые технологии (ЭЛТ) также могут применяться в процессе изготовления изделий из твердых сплавов. В ФТИ НАН Беларуси испытаны возможности ЭЛТ формировании отверстий, восстановлении фильер путем залечивания пор и трещин, при пайке и термообработке ТС.

Таким образом, высокоэнергетические методы обработки, применяемые в Беларуси или легко внедряемые, найдут применение на всем цикле переработки ОТС и создания изделий из них.

Использование раскислительно-модифицирующих композиций для стали

Проворова И.Б.¹, Розенберг Е.В.¹, Волосатиков В.И.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Министерство образования Республики Беларусь

В Республике Беларусь производится более 150 тыс. тонн стального литья. Перед заливкой в формы при изготовлении отливок из сталей проводят операцию раскисления, для которой используется вторичный алюминий, а также, в зависимости от требований SiCa и FeMn. С целью измельчения зерна, повышения жидкотекучести расплава, улучшения формы неметаллических включений, рафинирования, повышения механических свойств после раскисления необходимо проводить операцию модифицирования. В связи с высокой стоимостью модификаторов для стали на подавляющем большинстве предприятий эта операция не производится. Предлагается совместить раскисление и модифицирование. Для этого необходимо ввести в состав раскислителя отсева модификатора.

В условиях сталелитейного цеха ОАО «МТЗ» опробована экспериментальная партия раскислительно-модифицирующей композиции на базе вторичного алюминия и отсева модификаторов, содержащих щелочноземельные металлы (Ca, Ba, Sr), для внепечной обработки расплава стали 45Л.

Раскислительно-модифицирующую композицию получали смешиванием в жидко-твердой фазе расплава вторичного алюминия с отсевами модификатора в соотношении 35 и 65 мас. % соответственно. Проведены следующие серии экспериментов: добавка раскислительно-модифицирующей композиции (0.1 мас. % отсева модификатора + 0,05 мас. % вторичного алюминия); добавка 0,1 мас. % модификатора и 0.05 мас. % алюминия отдельно; добавка 0.05 мас. % алюминия для дораскисления по заводской технологии. Заливались спиральные пробы на жидкотекучесть и трещины.

Из них вырезались образцы для механических испытаний, из которых изготавливались шлифы для определения структуры и загрязненности стали неметаллическими включениями до и после термообработки. В первой серии экспериментов наблюдалось увеличение относительного удлинения в 1.25 раза, жидкотекучести – в 1.25 раза, во второй серии относительное удлинение увеличилось в 1.20 раза, жидкотекучесть – в 1.30 раза по сравнению с заводской технологией.

В результате обработки жидкой стали раскислительно-модифицирующей композицией и модификатором, наблюдалось уменьшение количества неметаллических включений и их размеров. Таким образом, рекомендуется использовать раскислительно-модифицирующие смеси в литейных цехах предприятий машиностроительного профиля для выпечной обработки сталей.

УДК 536.7+546.3

Оценка степени активации порошковых аморфно-кристаллических сплавов на основе Fe по величине его электрохимического потенциала

Горанский Г.Г.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Доказана возможность управления термодинамической стабильностью порошковых многокомпонентных аморфизируемых сплавов на основе Fe путем их предварительной деформации при атриторной обработке (АО).

Зная энергонапряженность атритора (определялась методами «тест-объекта» и путем непосредственного измерения потребляемой мощности в цепи привода при работе в режимах холостого и рабочего хода) и время диспергирования, оценивали механическую энергию E_d , подведенную к материалу за время его (АО). Энергия E_n , аккумулируемая единичной массой материала в процессе АО, определялась калориметрическим методом.

АО через определенное время приводила сплавы в аморфное состояние с различным объемом аморфной фазы Co (вплоть до полной аморфизации). Это доказано методами рентгеноструктурного анализа, электронной и оптической микроскопии.

Далее методом мгновенного фиксирования ЭДС определены значения химических потенциалов $\Delta\mu$ железа для исследуемых сплавов после различной степени их аморфизации вследствие АО.

Результаты исследования сведены в таблицу. Здесь же для оценки термической стабильности сплавов приведены параметры их перекристаллизации (температура начала процесса T_v , энергия его активации E_a , интенсивность экзотермического эффекта ΔT , показатель n Джонсона-Мела-Аврами), полученные методом дифференциально-термического анализа.

Степень аморфизации, химический потенциал и параметры перекристаллизации порошковой композиции в зависимости от степени аккумулируемой ими при АО энергии $E_{\text{п}}$

| Сплав | $E_{\text{п}}$, кДж/г | Со, % | $\Delta\mu_{\text{Fe}}$, Дж/моль | T_{v} , К | ΔT , град | E_{a} , кдж /моль | n |
|---------------------------------|---------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|------|
| Fe–Ni– Mo–Co –Cr–B– Si | - | 82 | 4083 | 755 | 220 | 322,4 | 2,31 |
| | 0,32 | 82 | 3452 | 764 | 245 | 392,8 | 2,60 |
| | 0,74 | 86 | 3106 | 776 | 285 | 418,6 | 2,66 |
| | 1,36 | 88 | 2796 | 798 | 310 | 434,6 | 2,73 |
| | 2,60 | 96 | 2550 | 818 | 370 | 520,7 | 2,96 |
| | 2,79 | 98 | 2101 | 818 | 385 | 520,7 | 3,02 |

Установлено: температурная стабильность порошковой композиции Fe–Ni–Mo–Cr–Co–Si–B определяется ее термодинамическим потенциалом.

УДК 536.425:538.91

Термодинамическое моделирование и свойства аморфной фазы в многокомпонентных сплавах на основе Fe

Горанский Г.Г.¹, Хина Б.Б.²

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»¹

Физико-технический институт НАН Беларуси²

Перспективным направлением в современном материаловедении является использование аморфных порошковых систем как прекурсоров для получения субмикроструктурных и наноструктурированных материалов и покрытий путем контролируемого нагрева, при котором происходит кристаллизация аморфного материала.

Предложена термодинамическая модель оценки энергии активации и экзотермического эффекта превращения многокомпонентный аморфный сплав → кристаллические фазы, обосновывающая и базирующаяся на том, что лимитирующей стадией кристаллизации является гомогенное образование зародышей кристаллов. Потенциал Гиббса и энтальпия превращения многокомпонентный аморфный сплав → кристаллические фазы оцениваются на основе термодинамических данных для различных фаз, используемых для расчета равновесных диаграмм состояния по методам вычислительной термодинамики CALPHAD. К аморфной фазе применена модель регулярного раствора для тройной или четверной системы, составляющей основу аморфной фазы.

Модель учитывает влияние развивающихся при перекристаллизации внутренних напряжений на реальную величину энергии активации. Численные расчеты для реальных систем Ni-Co-Fe-Cr-Mo-Si-B и Ni-Fe-Cr-

Si-B, полученных механическим легированием, позволяют оценить термическую устойчивость аморфных сплавов и выделяющуюся теплоту перекристаллизации. Показано: температурная стабильность порошковой композиции Fe–Ni–Mo–Cr–Co–Si–B определяется ее термодинамическим потенциалом, который можно изменять на стадии диспергирования, варьируя величиной энергии деформации, аккумулируемой материалом.

Применение полученных механическим легированием аморфных порошковых сплавов с изменяемым уровнем термической стабильности для формирования нано- или субмикроскопических износостойких покрытий позволяет, используя при нанесении покрытия запасенную в материале энтальпию неравновесного фазового перехода, корректировать режимы газопламенного нанесения покрытий и управлять их структурой.

Покрытия упрочнены равномерно распределенными в матрице наночастицами (40-80 нм) интерметаллидов (до 22%) и аморфной фазы (6- 2%).

УДК 621.791:621.793

Газодинамическое напыление в аддитивной технологии формирования керамических покрытий

Ваганов В.В.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Аддитивная технология нанесения керамических покрытий предполагает создание нескольких слоев, каждый из которых выполняет свои функции: подслой обеспечивает высокий уровень адгезии к основе, средний слой гарантирует высокие прочность и вязкость, наружный – твердость, термостойкость, износостойкость, коррозионную стойкость. Нанесение этих слоев осуществляется последовательным применением нескольких технологических процессов.

Подслой для многофункциональных керамических покрытий должен обладать высокой адгезионной прочностью, минимальной пористостью, высокой однородностью, варьируемой в широком диапазоне толщиной. Подобный уровень свойств подслоев обеспечивает метод газодинамического напыления, когда порошковый материал инжектируется в воздушную струю, скорость которой 300-800 м/с. За счет высоких скоростей соударения и деформации, материал порошка приобретает повышенную пластичность, что позволяет частицам привариваться к основе, формируя качественное покрытие без дополнительного подогрева воздуха и основы.

Метод позволяет без предварительной подготовки поверхности основы

наносить покрытие на воздухе при нормальном давлении, любых значениях температуры и влажности. Тепловое воздействие на основу минимально; поток напыляемых частиц - узконаправленный с поперечным сечением 2-5 мм, что позволяет наносить покрытия на локальные участки поверхности изделий из любых металлов, керамики, стекла, полимеров.

Прочность адгезии составляет 80-120 МПа; толщина покрытия обеспечивается режимом нанесения и может быть любой (от 2-4 мкм до 2 и более мм); однородное покрытие имеет низкую пористость (0,05 - 0,3%); шероховатость его поверхности составляет $R_z = 20-40$, обеспечивая высокую прочность закрепления других дополнительно наносимых покрытий.

При последующей химической или химико-термической обработке возможно формирование многокомпонентных многослойных покрытий с градиентным распределением достигнутых или новых свойств.

Газодинамические тонкие (2-10 мкм) высокоплотные подслои на основе алюминия и его сплавов - первый шаг перед ионно-плазменной обработкой в соответствующей среде с целью формирования многокомпонентных многослойных керамических покрытий типа Al_2O_3 , AlN , $AlTiN$, Al_4C_3 , Al_2TiO_5 , $SiAlN$.

УДК 620.179 + 621.793

Обоснование составов подслоев керамических покрытий, полученных ионно-плазменной обработкой

Ваганов В.В.

Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»

Многокомпонентные и многослойные керамические покрытия типа Al_2O_3 , AlN , $AlTiN$, Al_4C_3 , Al_2TiO_5 , $SiAlN$ имеют неограниченные перспективы для использования: в горнодобывающей, нефтяной и машиностроительной промышленности на инструментах (из быстрорежущих сталей, твердосплавных и керамических), клапанах, эксцентриках, втулках и т.д.; в деталях металлургического оборудования (в связи с низкой смачиваемостью расплавленными металлами и высокой термостойкостью); в медицине и пищевой промышленности (обладают высочайшей коррозионной стойкостью и биоинертностью); в энергетике и микроэлектронике (AlN имеет уникальное сочетание крайне высокой теплопроводности и отличных изоляционных свойств, низкий коэффициент теплового расширения). Толщина покрытий в зависимости от сферы применения составляет от 2-5 мкм до 1 мм. Они могут наноситься на большинство технически интересных материалов с использованием аддитивной технологии (газодинамическое нанесение

подслоя из алюминия и его сплавов и последующая ионно-плазменная обработка (ИПО) в соответствующей среде). Варьирование режимами ИПО (схема загрузки изделий в камеру, содержание в смеси активных газов, их давление, плотность тока и напряжение) позволяет формировать покрытия с различным строением и фазовым составом. Показано, что когда подслоем из Al предварительно сформирован, не надо использовать вакуумные камеры с магнетронными и электродуговыми распылителями. Отсутствие распыляемых мишеней упрощает технологию, ускоряет процесс, стабилизирует свойства покрытия по его сечению. Можно сразу формировать многокомпонентные керамические слои покрытия, расширяя спектр их характеристик. Доказано, что управление технологическими параметрами позволяет формировать структуры с большим содержанием рентгеноаморфной фазы и наноразмерными компонентами, сообщая покрытию улучшенные характеристики износостойкости. Установлена возможность изменения состава каждого осаждаемого многокомпонентного слоя и изменения структуры чередующихся слоев с высокой степенью точности. Выполнение ионно-плазменной обработки в газовой среде позволяет использовать низкую мощность разряда и избежать нагрева подложки, что формирует покрытие с повышенной трещиностойкостью и дает возможность обрабатывать изделия с низкой температурой отпуска.

УДК 669.788–699.234.002.5

Водородная обработка материалов: история развития и перспективы

Гольцова М.В.

Белорусский национальный технический университет

Все виды энергетики, от атомной до водородной, в той или иной мере связаны с использованием систем металл-водород. Таким образом, исследование закономерностей взаимодействия водорода с металлами и металлическими материалами и развитие водородного материаловедения особенно актуально для Республики Беларусь в свете строительства Белорусской АЭС, а также, учитывая мировую тенденцию к широкому использованию водородной энергетики.

Водородное материаловедение состоит из двух обширных областей: водородной дегградации материалов и водородной обработки материалов. Эти области имеют противоположные цели и задачи. В первой (водородная дегградация материалов) исследуются закономерности ухудшения структуры и свойств металлов и сплавов в результате их взаимодействия с водородом.

Развитие этой области было обусловлено непредсказуемыми разрушениями химического и нефтехимического оборудования обусловленными водородной коррозией, железнодорожными и авиакатастрофами в результате флокенов и водородной хрупкости. Эта область знаний была систематизирована в ставшей классической монографии [1].

Водородная обработка материалов (далее - ВОМ) ставит своей целью улучшение структуры и свойств тех материалов, в которых положительное воздействие водорода принципиально возможно (Pd, Nb и их сплавы, сплавы типа TbFe₂, NdFeB, титановые сплавы, и т.д.). Причем, первые экспериментальные данные об улучшении водородом деформируемости литых металлов были получены исследователями Цвиккером и Шляйхером при изучении водородной хрупкости титановых сплавов в конце 1950-х годов. Но только в 1970х годах были начаты систематические исследовательские работы по благоприятному влиянию водорода на технологичность титановых сплавов, а также по влиянию водородофазового наклепа на палладий и ниобий и их сплавы [2]. Теория и технология ВОМ были обобщены в монографии [3] на английском, а затем в [4] – на русском языках.

Несмотря на то, что для классического материаловедения само понятие об улучшении свойств материалов с помощью водорода звучит «крамольно», достаточно упомянуть хотя бы несколько технологий ВОМ, достигших широкого коммерческого применения, чтобы оценить широту возможностей:

1. термо-водородная обработка и водородные технологии титановых сплавов,
2. водородная обработка алюминиевого литья,
3. водородная обработка (HDDR-процесс) сплавов для постоянных магнитов,

и другие технологии, с которыми можно подробнее ознакомиться в [2 - 4]. Потребность в ВОМ будет неизбежно расти в результате постоянного увеличения в настоящее время доли «зеленой энергетики» в развитых странах.

Палладий, как модельный материал, позволяет выявить общие закономерности взаимодействия водорода с металлом. Систематические исследования различными методиками показали, что особую роль в системах металл-водород играют внутренние напряжения, индуцированные водородом в металле. Они вызывают целый ряд водородоупругих и водородопластических эффектов микро- макро- и мезомасштабов.

Сильные внутренние напряжения, индуцируемые водородом, могут приводить к необратимой пластической деформации металла, а могут

релаксировать ранее неизвестными в классическом металловедении способами, например, сдвигом зерен металла или возникновением волновых процессов в металле.

О силе возникающих водородных напряжений свидетельствует экспериментально зарегистрированный факт развития пластической деформации в области разбавленных твердых растворов водорода в палладии (α -PdH_x). Этот эффект может применяться на практике, например, в области разработки датчиков утечек водорода, чему будут посвящены будущие работы.

Литература

1. Колачев Б.А. Водородная хрупкость металлов. М.: Металлургия, 1985. – 216 с.
2. А.А. Ильин, Гольцова М.В. Водородная обработка материалов : исторические аспекты и теоретические основы (обзор современного состояния) // Металловедение и термическая обработка металлов. 2008, т. 50 (№5-6), стр. 261-264.
3. Progress in Hydrogen Treatment of Materials / [editor V. A. Goltsov]. – Donetsk–Coral Gables: Kassiopeya Ltd., 2001. – 543 p.
4. Альтернативная энергетика и экология (спецвыпуск журнала) 2014, №1 (141).

УДК 621.793

Упрочнение технологического покрытия при длительном распылении комбинированных катодов

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Жук В.А.
Белорусский национальный технический университет

Длительное распыление комбинированных катодов при магнетронном распылении сопровождается разогревом зоны эрозии катодов. Распыление идет кластерами и капельной фазой. Возможный нагрев катодов в процессе эрозии влияет на состав и однородность распыляемого потока и степень его активности. Источником питания регулировали толщину конденсата, как функцию времени и условия осаждения. Нанесение тонкопленочного покрытия на поверхности подложки, располагаемой под различным углом относительно эмиссионного потока позволило установить, что адгезия растет с увеличением угла встречи потока с подложкой до 30°, а затем падает интенсивно после 45°.

Длительное распыления одновременно Mo и C или C и Si с использованием комбинированных катодов или моно (W) катодов

получены композиционные или слоистые покрытия из смеси атомов, кластеров или дисперсных частиц на дробии. При кратковременном распылении использовали процесс с циклическим чередованием распыления в жестких режимах при давлении аргона 0,3 Па и охлаждения поверхности катода обдувом холодным аргоном под давлением 10 Па, что обеспечивало создание условий раздельного синтеза и получение смеси в аморфном состоянии.

Свойства керамических покрытий (плотность $\rho \sim 3,18 \text{ г/см}^3$), твердость (3260 МПа), модуль нормальной упругости (354 ГПа), адгезионная прочность (определялась качественно по методу царапания), стойкость к окислению до 1000°C, фазовый состав (близок к стехиометрическому) и электрическое сопротивление ($\rho 10^9 - 10^{10} \text{ ом см}$) исследовали в зависимости от параметров напыления. После испытаний на раздавливание порошков – композитов на основе АСМ 14/10 изучена тонкая структура и по микродифракции оценивался фазовый состав покрытия.

Предельной плотностью карбидокремниевых покрытий является плотность α -SiC монокристаллов равная $3,214 \text{ г/см}^3$. Плотность покрытий регулируется силой тока (0,9 – 1,0 А) разряда, напряжением на катоде (0,6 – 0,7 кВ), давлением газа в камере (0,2 – 0,35 Па), расстоянием между обрабатываемой поверхностью и распыляемым катодом (200 мм).

УДК 621.793

Эффективность обработки плазмой тлеющего разряда при нанесении покрытия

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Жук В.А.

Белорусский национальный технический университет

Значительная роль придается процессу обработки плазмой тлеющего разряда. Обработка плазмой тлеющего разряда при отключенной магнитной катушке при магнетронном распылении позволяет не только очистить частицы, подвергаемые напылению, от загрязнений, но и выполнить дегидратацию и дегазацию адсорбированных компонентов, получить требуемую адгезионную прочность между частицами и покрытием. Перед нанесением покрытий осуществляли обработку (очистку) поверхности частиц от оксидов, гидроксидов (для влажных порошков). После каждой смены катодов проводили обработку поверхности плазмой тлеющего разряда. Для повышения адгезионной прочности покрытия с частицей предусматривается очистка ее поверхности (дегидратации и дегазации) ионной бомбардировкой плазмой

тлеющего разряда в среде аргона при давлении (1 – 0,8) Па. При обработке плазмой тлеющего разряда поверхности частиц одновременно с температурными эффектами наблюдается механическое воздействие поверхностных волн Релея, происходит «тренировка» поверхности катода и ее атомы насыщают зону плазмы, делают ее более плотной, что на этапе распыления покрытия обеспечивает качество процесса на низких режимах. Плотность частиц нейтральной плазмы в области темного фарадеева пространства максимальна при пониженной кинетической активности и зарядности. Обработка плазмой TP_3 в условия распыления комбинированного катода Si+C в течение 60 и 90 минут с коэффициентом засыпки $K_{зас} = 0,3$ и $0,6$ устраняет влияние остаточных напряжений при разгерметизации. Присутствие на поверхности покрытия, доля которого с увеличением удельной поверхности повышается, обеспечивает повышение вязкости разрушения и снижает скорость падения прочности с уменьшением размера частиц алмаза.

Предложен механизм управления адгезионной прочностью покрытий путем воздействия частиц плазмы тлеющего разряда на процесс дегидратации поверхности подложек. Устойчивость островков влаги, формирующихся на льюисовских центрах, определяется режимами обработки и временем выдержки перед напылением (60...2400 с), что позволяет получать покрытия в тонкопленочном исполнении с высоким уровнем адгезионной прочности (40 МПа).

УДК 621.793

Формирование многослойных покрытий в пресс-формах

Жук А.Е., Григорьев С.В., Ковалевская А.В.

Белорусский национальный технический университет

Применение сферического порошка коррозионностойкой стали при изготовлении фильтров возможно при спекании в условиях упругой подпрессовки или при использовании легкоплавкой добавки, удаляемой до или в процессе спекания. Использовали шихту из активированных порошков различных размеров с нанопокрытием. Активирование поверхности порошков проводили путем обработки их плазмой тлеющего разряда с последующим нанесением магнетронным распылением охлаждаемых катодов конденсата толщиной свыше 300нм. Конденсат состоял из компонентов, совместимых с основой. Формование изделия проводили в металлической пресс – форме. При малой длительности (десятки секунд) процесса распыляемые элементы осаждаются в аморфном, а с увеличением времени распыления в кристаллическом

состоянии в виде смеси (Si+C) или (Mo+Si). Состав осаждаемого конденсата изменяется после обработки тонкого слоя плазмой тлеющего разряда на аморфный SiC или MoSi₂. При длительности распыления кремния и молибдена до 2ч.40мин. на поверхности частицы осаждается конденсат с формированием аморфно – кристаллической структурой, образуются поверхности покрытий с рельефом кластерных структур.

Реакционное спекание протекает по экзотермической реакции с образованием SiC или MoSi₂. Диффузионные процессы Si и Fe протекают на контакте частицы и конденсата, как одновременно с реакционным спеканием, так и при более высокой температуре с образованием Fe₃Si. При нагреве в интервале 750 – 1000 °C усадка протекает интенсивно, при температуре 940°C образуется MoSi₂. Установлен интервал температур (1000 – 1150°C), при котором происходит спекание порошков с покрытием с формированием Fe₃Si. Проводили формование и ступенчатое спекание с изотермическими выдержками в течение 1ч. при 850°C для экзотермической реакции с образованием α – SiC и при 940 °C с образованием MoSi₂ и спекание активированных частиц через прослойку Si с образованием фазы (Fe₃Si) при температуре 1150 °C. Спекание порошков с покрытием протекает в два этапа: первый – реакционное спекание Mo+2Si = MoSi₂ (с увеличением объема элементарной ячейки, так как $r_x/r_{me} > 0,59$ (правило Хегга), то образуется силициды со структурой растворов замещения) и второй этап – активированное спекание изделия с формированием окончательных свойств

УДК 621.793

Нанесение покрытий в условиях раздельного синтеза при магнетронном распылении

Жук А.Е., Григорьев С.В., Жук К.А.

Белорусский национальный технический университет

Качество покрытия достигается снижением уровня остаточных напряжений за счет согласования объемных изменений в материалах покрытия и в частицах. Механизм напыления описывает процессы эмиссии, переноса и конденсации вещества с учетом неоднородности распыляемого потока. Взаимодействия эмиссионного потока с локализованной плазмой магнетронного разряда, имеющей повышенную плотность, ограниченный объем и содержащей высокоэнергичные электроны, ионы, нейтральные атомы, приводит к активации атомов потока. Однородная область высокоэнергичных атомов при низких температурах создает условия получения аморфной структуры.

Управление процессом напыления проводят с минимальной инерцией и максимальной скоростью за счет изменения индукции магнитного поля. Нанесение покрытий в условиях раздельного синтеза позволяют получать базовой материал покрытия в аморфном состоянии в виде смеси компонентов с последующим взаимодействием их с образованием химического соединения. В условиях раздельного синтеза при размещении частиц в перемешивающем устройстве в области фарадеевого пространства, где эмиссионный поток обладает минимальной энергией, ведение процесса на мягких режимах при низком давлении рабочего газа позволило получить карбидокремниевое покрытие с тонким слоем до 20 нм с аморфной структурой, а при толщине свыше 100 нм с аморфно – кристаллической структурой. Аморфная структура напыленного базового материала (карбида кремния, дисилицида молибдена) и его способность к кристаллизации зависят от мощности подводимого теплового потока.

Реакции в покрытии протекают экзотермические карбид кремния или карбида вольфрама из смеси Si– C (W - C) и силицид молибдена из смеси Mo – Si₂. Установлено, что реакционное спекание в твердой фазе α-SiC из смеси атомов кремния и углерода состава, соответствующего стехиометрическому, протекает при температурах 540 – 890 °С, что приводит к уменьшению объема и повышению плотности покрытия. Исследования, выполненные при нагреве уплотненных порошков – композитов на dilatометре, показали, что в процессе нагрева происходит изменением линейных размеров образца, которые наблюдаются при синтезе новой фазы в материале.

УДК 539.893: 546.28.171.1

Исследование фазового состава композитов на основе тугоплавких соединений и углерода, полученных с использованием высоких давлений

Григорьев С.В., Волосатиков В.И., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

Для изучения влияния фуллереновой сажи на процессы структурообразования композитов на основе порошка нитрида кремния были исследованы образцы композиционного материала Si₃N₄ с добавкой 0,5 % фуллереновой сажи, которые были получены спеканием под давлением (до 4 ГПа). Температура спекания композита изменялась в диапазоне 1500 – 1900 °С. Фазовый состав и параметры тонкой структуры полученных образцов исследовались на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Использовалось Cu_{Kα} монохроматизированное рентгеновское

излучение при напряжении на рентгеновской трубке $U=30$ кВ и токе $I = 20$ мА. В качестве монохроматора для удаления K_{β} – характеристического излучения использовался пиролитический графит. Регистрация рентгенограммы осуществлялась в пошаговом сканирующем режиме. Шаг сканирования - $0,05^{\circ}$, время выдержки 5 с.

Первичная обработка рентгенограммы – сглаживание спектра, вычитание фона, определение межплоскостных расстояний, определение площади дифракционных пиков и их полуширины осуществлялось с использованием специализированного программного обеспечения DifWin1.

Изучение фазового состава проводилось с использованием специализированного программного обеспечения Crystallographica Search Match (CSM) и базы данных PDF-2. Анализ рентгенограмм позволил определить фазовый состав композитов нитрид кремния - 0,5 % фуллереновой сажи. Фазовый состав образцов Si_3N_4 представлял собой совокупность α и β фаз Si_3N_4 , а также незначительного количества SiO_2 . фаза α - Si_3N_4 присутствовала в образце до температуры спекания $1700^{\circ}C$.

При более высокой температуре спекания в образцах присутствовала только β - фаза Si_3N_4 с небольшим содержанием SiO_2 (3-4 %). Выявлено, что влияние фуллереновой сажи на процессы структурообразования композита на основе нитрида кремния аналогично влиянию фуллереновой черни. При увеличении температуры спекания выше $1600^{\circ}C$ содержание β - фазы Si_3N_4 резко увеличивается с 29 % при температуре $1600^{\circ}C$ до 97% при температуре $1900^{\circ}C$ при соответствующем снижении количества α - фазы Si_3N_4 .

УДК 539.893: 546.28.171.1

Исследование микроструктуры высокоплотных керамических композитов, полученных с использованием высоких давлений

Волосатиков В.И., Симончик А.П., Силина Т.В.
Белорусский национальный технический университет

Исследования тонкой структуры высокоплотных композиционных материалов осуществлялось для оптимизации получения материалов на основе нитрида кремния с необходимым уровнем физико-механических и эксплуатационных характеристик. Для обеспечения высокой плотности образцы керамических композитов спекались под высоким давлением. Спекание под высоким давлением позволяет достичь высокой степени уплотнения композиционных материалов с минимальным количеством

активирующих добавок или совсем без них. Этот метод позволяет получать высокоплотные материалы с сохранением нанокристаллических размеров частиц в структуре спеченных композитов. В качестве исходных компонентов использовались субмикронные порошки нитрида кремния, нитрида титана, оксиды алюминия и иттрия, наноразмерные и субмикронные порошки кубического нитрида бора. Оксиды алюминия и иттрия использовались как добавки, активирующие процесс спекания разрабатываемого композиционного материала. Образцы из шихты на основе данных компонентов в различных процентных соотношениях спекались в диапазоне температур от 1300 °С до 1900 °С. Давление в матрице горячего прессования составляло 4 ГПа. Анализ микроструктуры образцов проводился по микрофотографиям, полученным с использованием детектора обратно отраженных электронов сканирующего электронного микроскопа. Использование детектора обратно отраженных электронов позволило по изменению цвета фаз, в зависимости от атомного номера входящих в фазу химических элементов, идентифицировать присутствующие в исследуемых образцах фазы и оценить характер их распределения. Фазы Al_2O_3 и Y_2O_3 располагаются в виде тонких включений по границам частиц BN , TiN и Si_3N_4 . При высоких температурах спекания (более 1600 °С) в структуре керамических композитов начинают появляться отдельные области, содержащие оксиды кремния, образовавшиеся при распаде (окислении) нитрида кремния.

Использование шихты ($\alpha-Si_3N_4 - TiN - Y_2O_3 - Al_2O_3$) + 30-50% кубического нитрида бора позволило создать методом горячего прессования высокоплотный композит с пористостью не более 2-3% с равномерным распределением входящих в шихту фаз.

УДК 621.79

Разработка и исследование процессов электролитно-плазменной обработки титановых и циркониевых сплавов

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Одним из прогрессивных методов повышения качества поверхности металлических изделий является электролитно-плазменная обработка (ЭПО), которая широко используется в процессах полирования, удаления заусенцев и очистки изделий медицинского назначения, декоративных изделий, деталей машин и приборов. Однако массовое использование технологии ЭПО ограничивается тем, что в промышленных масштабах к настоящему времени освоены процессы ЭПО только небольшого перечня

материалов: низкоуглеродистые и коррозионностойкие стали, алюминиевые сплавы, бронзы и латуни. В то же время существует и ряд других распространённых материалов включая титановые и циркониевые сплавы, широко применяемые при производстве ответственных изделий, технология изготовления которых предусматривает выполнение качественной финишной обработки. К таким изделиям относятся, зубные и костные имплантаты, имплантаты для травматологии, фиксаторы позвоночника и другие изделия из титановых сплавов; турбинные лопатки двигателей из титановых сплавов; листы; детали тепловыделяющих и теплообменных элементов ядерно-энергетических систем из циркониевых сплавов. Как правило, такие детали имеют сложную геометрическую форму, поэтому при полировании их механическими методами возникают значительные трудности. Для электрохимических технологий указанные материалы являются труднообрабатываемыми, а процессы их полирования требуют применения токсичных электролитов. Для решения указанных проблем разработана технология электролитно-плазменного полирования и очистки изделий из титановых, и циркониевых сплавов. Технология обладает высокой экологической безопасностью по сравнению с классическим электрохимическим полированием за счёт применения безвредных электролитов. Технология обеспечивает снижение шероховатости поверхности с $Ra = 1,25-0,8$ мкм до $Ra = 0,2-0,04$ мкм. Продолжительность обработки составляет в среднем 5 мин. Новый метод электролитно-плазменной обработки реализуется в электролитах на основе водных растворов солей общей концентрацией не более 5 %. Для сравнения, традиционное полирование, например, титановых сплавов выполняется в электролитах с температурой 80 °С, содержащих помимо серной и азотной кислот, токсичную плавиковую кислоту концентрацией 20–25 %.

УДК 621.9.047.7

Импульсное биполярное электрохимическое полирование изделий из алюминиевых сплавов

Нисс В.С., Паршутю А.Э., Головач С.И.

Белорусский национальный технический университет

Электрохимическое полирование поверхности металлов и сплавов в настоящее время является одним из наиболее прогрессивных технологических процессов повышения качества поверхности, не смотря на то, что используется в промышленности на протяжении многих десятилетий. Однако ЭХП в его классическом виде имеет ряд существенных недостатков. Одним из них является зависимость режимов

обработки и составов электролита от обрабатываемого материала. Кроме того, для электрохимического полирования применяются агрессивные дорогостоящие, электролиты, требующие специальных технологий по утилизации. Для электрохимического полирования алюминия в настоящее время применяют электролиты на основе ортофосфорной кислоты, а также смесь соляной кислоты с уксусным ангидридом. Электролиты при электрохимическом полировании алюминия требуют подогрева до температуры 60 – 90 °С. Обработка при таких температурах наносит значительный вред окружающей среде и производственному персоналу.

В результате исследования влияния характеристик импульсов на характеристики поверхности обрабатываемых материалов в процессе импульсного биполярного электрохимического полирования установлено, что полирование алюминия и алюминиевых сплавов может быть осуществлено в электролитах для полирования медных сплавов и коррозионностойких сталей. Для этого продолжительность положительных и отрицательных импульсов должна составлять около 0,1 мс. Разработанные электролиты состоят из смеси ортофосфорной и серной кислот, а также из смеси ортофосфорной кислоты и глицерина. Обработка выполняется при комнатной температуре. Плотность тока при обработке составляет 0,4 – 0,6 А/см². Таким образом в результате выполнения работы разработан ряд универсальных электролитов для электрохимического полирования, не содержащих соединений хрома (VI), позволяющих снизить экологическую опасность процесса электрохимического полирования. Наиболее целесообразно применение разработанной технологии для обработки поверхности изделий из технического алюминия и деформированных сплавов на его основе, типа АД, Д16, АМГ, АМЦ с целью последующего оксидирования или нанесения гальванических покрытий.

УДК 621.793

Разработка импульсного биполярного источника питания для электрохимической обработки

Нисс В.С., Сорока Е.В., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

В последнее время в промышленности появилась тенденция использования методов электрохимической обработки, основанных на применении милли- и микросекундных импульсов вместо постоянного тока. Исследования показали, что процессы, связанные с анодным растворением и пассивацией, развиваются не сразу, а с различной динамикой в микро- и

миллисекундном диапазоне времен. Для исследования влияния временных параметров импульсов тока, а также длительности пауз между ними, на характеристики поверхности деталей из различных металлических материалов при ЭХО разработан специальный источник питания, обеспечивающий возможность регулирования частоты, длительности положительного и отрицательного импульсов, а также длительности пауз между ними в достаточно широком диапазоне. Разработанный источник питания позволяет формировать импульсы тока до 40 А обеих полярностей и способен регулировать их длительность в диапазоне от 10 мкс до 0,9 с, при возможности регулировки соотношения длительности импульсов и пауз от 1 к 1, до 1 к 9. Например: длительность положительного импульса – 90 мкс, длительность паузы после него – 50 мкс, длительность отрицательного импульса – 10 мкс и длительность паузы между отрицательным и положительным импульсом – 10 мкс. Конструктивно источник питания состоит из двух одинаковых независимых источников положительного и отрицательного напряжения, и блока управления. Регулировка выходного напряжения источников осуществляется с помощью автотрансформатора, подключенного до выпрямителя. Блок управления источником питания отвечает за формирование импульсов положительной и отрицательной полярности. Разработанный биполярный импульсный источник питания был испытан в ряде экспериментов по электрохимическому полированию образцов из коррозионностойкой и низкоуглеродистой стали, медных и алюминиевых сплавов. В результате испытаний установлены особенности обработки, на возникновение которых влияют временные характеристики импульсов тока, или время паузы между ними. Создание источника питания с микросекундным диапазоном изменения временных параметров импульсов тока, открывает широкие возможности для разработки и исследования принципиально новых процессов обработки в электролитах, как с целью полирования поверхности, так и с целью нанесения покрытий.

УДК 621.77

Разработка процессов формообразования ультразвуковых концентраторов-волноводов трубчатого типа переменного сечения

Королёв А.Ю., Алексеев Ю.Г., Паршуто А.Э.
Белорусский национальный технический университет

В качестве альтернативы существующим дорогостоящим и травматическим процедурам устранения непроходимости магистральных артерий предложен метод разрушения внутрисосудистых образований – ультразвуковая реканализация. Метод основан на применении

ультразвукового оборудования, основным компонентом которого является ступенчатый концентратор-волновод трубчатого типа, обеспечивающий возможность подачи жидкости в зону обработки через внутреннюю полость. Концентратор-волновод состоит из трубки ступенчатой формы, узла крепления и разъёма для подключения магистрали подачи или аспирации жидкости. Длина рабочей части концентратора-волновода достигает 635 мм, диаметр ступеней – 1,5 мм, 1,3 мм и 1,0 мм. Диаметр внутренней полости – от 0,5 до 1,0 мм. В результате выполнения работы разработаны и исследованы процессы формообразования поверхностей трубчатого элемента концентратора-волновода. Установлены маршруты, позволяющие выполнять безобрывное волочение с сохранением исходной толщины стенки и обеспечивающие высокие прочностные и акустические характеристики концентраторов-волноводов. Для устранения кривизны заготовки после волочения выполнялась правка в роликовом правильном устройстве. Получение сферического наконечника на ступенчатой заготовке выполняется в две операции: раздача трубки в форму конуса на угол и длину будущего сферического наконечника и вальцовка наконечника для придания ему сферической формы. Установлено, что для формирования сферического наконечника диаметром 1,35 мм из трубки диаметром 1,0 мм требуется предварительная раздача в форму конуса с диаметром большего основания 1,45 мм. Для выполнения этой операции необходимо использование конических пуансонов трёх типоразмеров. Для завальцовки конуса в выпуклую сферическую форму используется матрица с требуемым радиусом закругления (0,65 мм). При этом осевое перемещение матрицы выполняется с таким условием, чтобы в сферическом наконечнике оставалось центральное отверстие диаметром 0,5 мм. Боковые отверстия в сферическом наконечнике формируются методом электрохимической прошивки. По результатам исследований установлены режимы обработки обеспечивающие получения боковых отверстий диаметром 0,3 мм: материал электрода – медь, напряжение – 17 В, скорость перемещения электрода – 20 мкм/с.

УДК 621.732.1

Измерение температуры нагрева изделий в процессе вакуумно-плазменной обработки

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет

В процессе упрочняющей обработки поверхности сталей и сплавов потоком низкотемпературной титановой плазмы их поверхность нагревается до 400°С и выше. Данный нагрев влияет на свойства готовых

изделий (например, отпуск металлорежущего инструмента). Ранее на модельных системах проведены расчеты тепловых полей в подложке, формируемых в процессе плазменной обработки. Однако важным остается разработка простой методики измерения температуры поверхности изделия в процессе нанесения покрытий или ее ионной очистки.

Цель данной работы - представить доработанную методику термопарного измерения температуры поверхности подложки в процессе плазменной обработки.

Образцы из стали 45 обрабатывали направленным потоком низкотемпературной титановой плазмы в вакууме (давление остаточного газа менее 10^{-3} Па). Ток дугового разряда от 45 до 70А. Отрицательный потенциал смещения подаваемый на подложку варьировали от 0В до 1кВ и не отключался в момент измерения температуры.

Предварительно тарированная в лабораторной печи хромель-алюмелевая термопара зачеканивалась в образец на расстоянии 3,5 мм от поверхности. Измерения термо- ЭДС проводили с помощью вольтамперметра М2018, показания которого сравнивали с показаниями вольтметра ПП-63. Измерительный прибор дополнительно изолировали, что позволило измерять температуру подложки при поданном на нее ускоряющем потенциале.

Стальные образцы располагали в центре вакуумной камеры на оси испарителя и теплоизолировали от подложкодержателя при сохранении электрического контакта с ним.

Представлена электрическая схема подключения измерительной аппаратуры, позволяющая получать значения температуры поверхности изделия в режиме реального времени. Получены кривые изменение температуры подложки в ходе процесса формирования покрытия, ионной очистки поверхности и охлаждения.

УДК 621.7

Электролитно-плазменная (эпо) обработка каналов в медицинских инструментах

Качанов И.В., Кособуцкий А.А., Королёв А.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Существующие способы очистки и стерилизации каналов в медицинских инструментах, таких как лапороскопические инструменты, пункционные иглы и др., трудоёмки и недостаточно эффективны. Способ ЭПО эффективно используется при финишной обработке каналов малого диаметра в деталях из металлов и сплавов (патент Республики Беларусь № 13712) и может быть

применён для обработки каналов и полостей малого диаметра в медицинских инструментах. Одним из медицинских инструментов, предстерилизационная обработка канала которого представляет значительные трудности, является сменный направитель биопсийной иглы (рисунок 1).

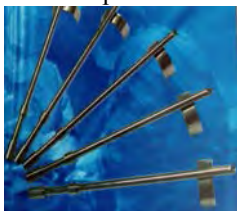


Рисунок 1 – Набор сменных направителей

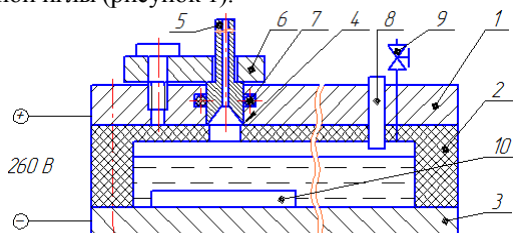


Рисунок 2 – Устройство для ЭПО каналов в медицинских инструментах

Сменный направитель, изготовленный из стали 12Х18Н10Т, представляет собой трубчатый стержень обеспечивающий наведение биопсийной иглы на исследуемую область. Учитывая особенности использования направителей для обработки каналов предложена технология ЭПО. Разработано устройство (рисунок 2), которое состоит из верхней плиты 1, изолятора 2 и нижней плиты 3, герметично соединённых между собой. В отверстии 4 верхней плиты 1 установлен сменный направитель 5 зафиксированный на плите 1 с помощью поворотного прижима 6 и уплотнителя 7. На верхней плите установлен предохранительный клапан 8 и заливной вентиль 9. В полости устройства установлен нагреватель 10, объём полости на половину заполнен 6% раствором серноокислого аммония. Включается нагреватель и подаётся напряжение 260–300 В постоянного тока. Ионизированный пар с высокой скоростью перемещается по каналам направителей и производит их эффективную обработку и очистку. Продолжительность обработки составляет 15–30 мин., что в 3–5 раз повышает производительность процесса обработки каналов.

УДК 621.791.

Изучение влияния нано- и ультраразмерных частиц на сварочно-технологические свойства покрытых электродов

Урбанович Н.И., Игнатович З.В.*

Белорусский национальный технический университет
Институт сварки и защитных покрытий ОХП ГНУ ИПМ*

В работе ставили задачу изучения сварочно-технологических свойств покрытых электродов за счет использования в покрытии нано- и ультрадисперсных частиц.

Носителями таких частиц являлись отходы производства: отработанный полиэтиленгликоль (ПЭГ-200), применяемый при распиливании слитков полупроводникового кремния и содержащий ультрадисперсные частицы Si и SiC; отход выбивки фильтров при производстве чугуна, в котором содержится ультрадисперсный MgO; отсеvy модификаторов марок: МС, содержащий ультрадисперсные частицы оксидов Ti, Sr, Nb на основе криолита, L-cast, -карбонаты Ca, Ba, Sr, K; РС-7, - ультрадисперсные частицы в виде SiCa, SiBa, SiSr на кремниевой основе; доломит ультрадисперсный и наноструктурированная белая сажа (SiO₂) марки 120.

Для проведения экспериментов использовали стандартные электроды марки УОНИ 13/55 (ГОСТ9466-75) диаметром 2,5 мм, на покрытия которых со связующим тонким слоем наносили вышеуказанные отходы в количестве 2-3% от массы покрытия электрода. Перед проведением испытаний электроды прокаливали при температуре 350°C в течение 1,5 часов. Исходным электродом для сравнения служил стандартный электрод этой же марки. Сварку выполняли в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности, при этом сварочный ток составлял 50А. Наложение валика производили на стальную пластину. Сварочно-технологические свойства оценивали по пятибалльной системе согласно показателям по РД 03-613-03. Анализ результатов исследований показал, что самые высокие баллы по сварочно-технологическим свойствам получили электроды, на поверхность покрытия которых наносили следующие отходы производства: отсеvy модификаторов марки РС-7, L-cast, отработанный полиэтиленгликоль (ПЭГ-200), а также ультрадисперсный доломит.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что использование вторичных ресурсов, содержащих нано-и ультрадисперсные частицы в покрытии электродов позволило повысить их сварочно-технологические свойства по сравнению с серийными.

УДК 669.112

Влияние последующей термической обработки на механические свойства высокопрочного чугуна, прошедшего горячее пластическое деформирование

Урбанович Н.И., Григорьев С.В., Горецкий Г.П.*
Белорусский национальный технический университет
Физико-технический институт НАН Беларуси*

Одним из перспективных путей улучшения свойств чугунов является горячее пластическое деформирование в сочетании с эффективными методами термической обработки. Из многочисленных видов термической

обработки чугунного литья наибольшее применение получили: нормализация, закалка, закалка + отпуск, а также изотермическая закалка на бейнит.

В данной работе исследовали влияние вышеуказанных видов термообработки на структуру и свойства деформированного высокопрочного чугуна (ВЧ).

Режим нормализации и закалки заключался в нагреве образцов в печи до 950 °С с выдержкой 1 час и последующем охлаждении на воздухе и воде соответственно. Отпуск закаленного чугуна проводили при 200 °С в течении 2 часов. Изотермическую закалку ВЧ, подвергшегося деформированию при температуре 950 - 1000°С, проводили сразу путем погружения образцов в емкость с расплавленным свинцом, имеющим температуру 350 °С, при этом изотермическая выдержка составляла 2 часа.

Микроструктура металлической матрицы деформируемого ВЧ после изотермической закалки характеризуется наличием бейнита и остаточного аустенита (светлая фаза) (Рис.1).

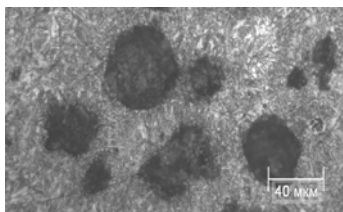


Рисунок 1 - Микроструктура деформированного ВЧ после изотермической закалки

Анализ результатов исследований показал, что оптимальное сочетание прочностных и пластических свойств позволила обеспечить изотермическая закалка. При этом предел прочности повысился с 690 МПа до 1230 МПа, относительное удлинение с 4,4 до 6,2 %.

Обработка материалов давлением

**Технология получения тонкостенной композиционной втулки
«сталь-порошковая бронза» с последующим газопламенным
напылением слоя фторопласта**

Белявин К.Е., Белый А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что выбор материалов для работы узлах трения зависит от конструкции, условий эксплуатации. В настоящее время, существует большая потребность в тонкостенных двухслойных материалах (отношение толщины стенки втулки к ее наружному диаметру 0,025–0,045) компактная стальная основа – порошковый антифрикционный слой. Коэффициент трения таких материалов 0,07 – 0,1. Однако, для чистых производств (пищевая, фармацевтическая отрасли и т.д.), немаловажным фактором является отсутствие жидких смазок. Поэтому предложено в качестве смазочного материала использовать полимер (фторопласт-3М), т.к. он является биологически и химически инертным материалом, имеет низкий коэффициент трения по стали (0,03–0,05), способен работать в диапазоне температур от – 250°С до 300°С.

Для напыления полимера на образцы со спеченным порошковым слоем использовался термораспылитель, разработанный в ОИМ НАН Беларуси, предназначенный для ручного нанесения полимерных покрытий из порошковых материалов методом газопламенного напыления. В качестве исходного материала использовали порошок фторопласта-3М со средним размером частиц 150 мкм.

К особенностям применяемого термораспылителя относится возможность контролируемого изменения плотности теплового потока факела, что позволяет наносить покрытия из полимеров с различной температурой плавления. Для формирования готового изделия, с требуемыми характеристиками пористого антифрикционного слоя, было разработано устройство, совмещающее операции прокатки спеченной композиции и ее гибки.

Проведенные исследования показали, что в антифрикционном порошковым слое по всей толщине наблюдается сквозная пористость. После газопламенной обработки поры равномерно заполняются полимером.

Коэффициент трения образцов составил 0,014 – 0,016, что соответствует требованиям, предъявляемым к антифрикционным материалам на основе бронзы. Полученное значение на 60% ниже коэффициента трения образцов без пропитки.

Технология скоростного горячего выдавливания биметаллического стержневого инструмента для горячей штамповки

Качанов И.В., Шарий В.Н., Власов В.В.
Белорусский национальный технический университет

Острой проблемой в промышленном производстве являются быстрый износ и поломки штампового инструмента, испытывающего большие темосиловые и износные нагрузки. Традиционные способы упрочняющей обработки такого инструмента исчерпали ресурс повышения его прочности и надежности. В этой связи новые возможности открывают способы совмещенного деформационного и термического упрочнения, которые позволяют интенсифицировать физико-химические процессы за счет использования природы материалов и особенностей протекания скоростного горячего выдавливания (СГВ), осуществляемого в режиме ВТМО.

Использование скоростных процессов объемного формоизменения, особенно в части изготовления биметаллических стержневых деталей штамповой оснастки, следует считать перспективным направлением современной металлообработки. Благодаря ряду преимуществ (благоприятное действие сил инерции, снижение сил контактного трения), процессы скоростного формоизменения, особенно скоростное горячее выдавливание (СГВ), создают благоприятные условия для обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов. Особенно эффективным для современных условий хозяйствования следует считать уникальную возможность получения биметаллического стержневого инструмента на основе использования эффектов скоростного формоизменения.

В БНТУ разработан техпроцесс создания биметаллического стержневого инструмента, предназначенного для осуществления операций горячей и холодной штамповки.

В результате проведенных исследований установлены закономерности и технологические особенности соединения разнородных материалов с образованием прочных связей за счет синхронного скоростного пластического течения в условиях горячей деформации двух материалов в осевом направлении, реализуемого при начальных скоростях деформирования 65-85 м/с, с увеличением контактирующих площадей не менее чем в два раза, с приложением сжимающей нагрузки на поверхности контакта и обеспечением адиабатных условий (за счет высокой скорости деформации) реализации процесса пластического течения.

Методика исследования деформаций при поперечной прокатке

Давидович А.Н.¹, Лемеза А.Г.¹, Давидович Л.М.², Мазуренок А.В.²

УП «Физико-технический институт НАН Беларуси»¹

Белорусский национальный технический университет²

Для исследования формоизменения при поперечной прокатке использовали метод координатной сетки, которую наносили на торцевую поверхность образца.

Деформация образца осуществлялась на установке, представляющей собой миниатюрную прокатную клетку (рисунок 1), состоящую из корпуса 1 и ползуна 2, которые составляют между собой клиновую пару. При этом ползун 2 перемещаясь вдоль корпуса 1 за счет клина, имеет возможность изменять расстояние между ползуном 2 и опорной поверхностью корпуса 1. В боковых стенках корпуса 1 выполнены два окна, расположенные оппозитно друг к другу. С одной стороны установки размещен лучевой источник света 3, который освещает межоконное пространство прокатной клетки. С другой стороны устройства размещена фиксирующая камера 4.

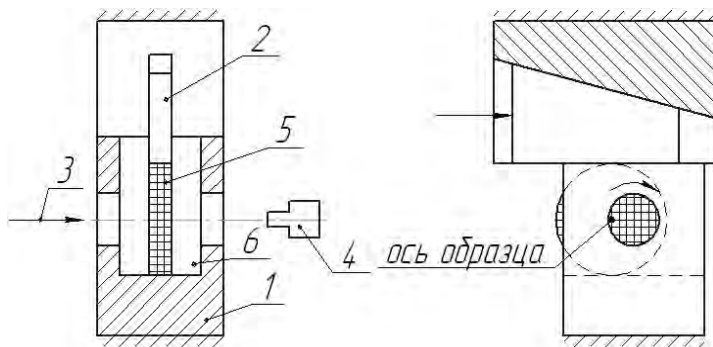


Рисунок 1- Макет устройства для исследования формообразования при поперечной прокатке

В корпусе прокатной клетки устанавливался полиуретановый образец 5 с нанесенной координатной сеткой. С обеих сторон образца 5 размещены прозрачные вставки 6 из оргстекла, назначение которых состоит в предотвращении осадки образца 5 в поперечном направлении – т.е. сохранять условия плоской задачи при поперечной прокатке.

Разработанная методика использовалась для исследования прокатки малопластичных материалов.

Особенности прокатки сталей с ограниченной пластичностьюДавидович А.Н.¹, Лемеза А.Г.¹, Давидович В.А.¹, Давидович Л.М.²УП «Физико-технический институт НАН Беларуси»¹Белорусский национальный технический университет²

Проведенные эксперименты позволили получить новые объективные результаты по влиянию степени обжатия на развитие пластической деформации в осевой зоне прокатываемой заготовки. Было установлено, отсутствие искажения координатной сетки, а значит и пластических деформаций на оси вплоть до значения $\delta=1,035$.

На рисунке 1 графически представлена зависимость накопления степени сдвиговых деформаций в осевой зоне образца от степени обжатия, полученной образцом. Из этого графика видно, что с увеличением степени обжатия после значения $\delta=1,1$, накопление степени деформации сдвига происходит более интенсивно. После значения $\delta=1,2$ из прямолинейной зависимости график $\lambda=f(\delta)$ принимает параболическую форму.

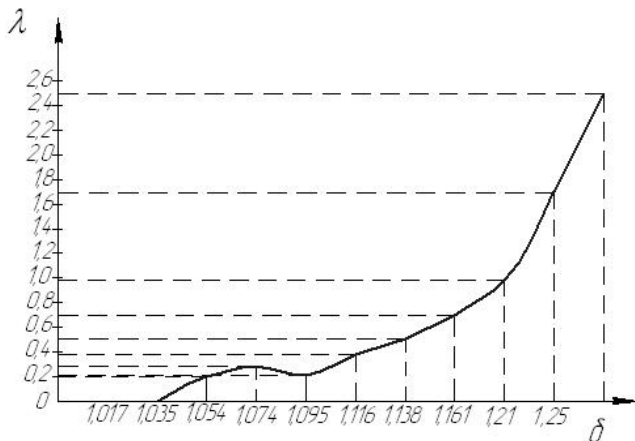


Рисунок 1 - Накопление степени деформации сдвига λ в зависимости от степени обжатия δ при поперечной прокатке в центральной части заготовки

Поэтому особенностью деформирования сталей с ограниченной пластичностью, для предотвращения разрушения от накопленных деформаций, является необходимость соблюдения степеней обжатия на переходах прокатки до значений $\delta=1,2$.

Технология получения длинномерных трубчатых изделий малого диаметра из ленты

Петрусевич М.А., Карпицкий В.С.
Белорусский национальный технический университет

Разработанная технологическая схема получения длинномерных трубчатых изделий малого диаметра из ленты, включающая гибку (свертку) плоской заготовки в трубку, редуцирование и её калибровку, реализована в предполагаемом комбинированном способе формообразования трубок из ленты путём одновременной свёртки и волочения через одну или несколько волок.

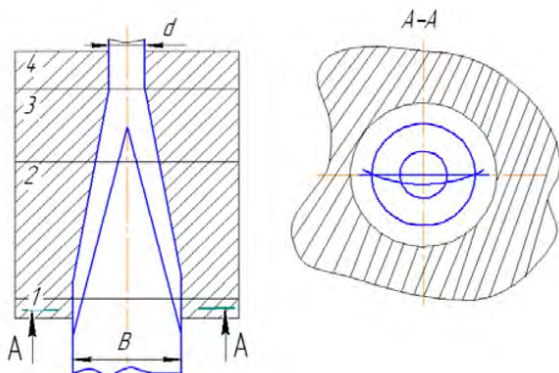


Рисунок 1 – Схема очага деформации при комбинированном способе формообразования трубок малого диаметра из ленты: 1- зона внеконтактной деформации; 2 – зона сварки; 3 – зона безправочного волочения (редуцирования); 4 – зона калибровки

Как показано на рисунке 1, свертка исходной заготовки (ленты) осуществляется на входном участке обжимающей части волокна, протяжённость которой зависит от диаметра трубки и составляет не менее $2/3$ её длины. После того как трубка сформируется, происходит безправочное редуцирование с определённой степенью деформации, обеспечивающей качественное стыковое соединение.

С целью получения точных размеров отрезаемых полос из ленты, изготовлены многодисковые ножницы. Разработанная конструкция ножниц позволяет производить одновременную резку нескольких лент толщиной 0,15 – 0,5 мм, а также обрезку лент по ширине на заданный размер.

Особенности получения полос из круглого прутка

Ленкевич С.А., Иваницкий Д.М.

Белорусский национальный технический университет

Технологии изготовления приспособлений для лечения ортопедотравматологических больных требуют использования заготовок в виде полос с заданными геометрическими параметрами.

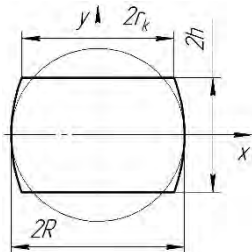


Рисунок 1 -
Изменение свободной
поверхности кругового
сечения

Для обеспечения требуемой геометрии, особенно формы боковых кромок, такие полосы целесообразно получать плещением круглого прутка.

При анализе процесса осадки примем, что в момент начала пластического течения в указанном участке исходное круговое сечение приобретает форму усеченной части эллипса.

Уравнение эллипса $(x^2/a^2) + (y^2/b^2) = 1$ в обозначениях, принятых на рисунке 1, можно представить как

$$\left(r_k^2/R^2\right) + \left(h^2/b^2\right) = 1, \quad (1)$$

где h и r_k - новые переменные; b - большая полуось эллипса.

Поскольку при $y = 0$, $a = R$, при $y = h$, $x = r_k$. Полуось эллипса h , с учетом выражения (1)

$$h = \pi R / 2 \left(\left(1 / \sqrt{1 - (r_k^2/R^2)} \right) \arcsin \sqrt{1 - (r_k^2/R^2)} + (r_k/b^2) \right)$$

Уравнение для расчета зависимости ширины прокатной из прутка полосы от ее толщины

$$B_1 = B_H + \left(\frac{1}{f_y} + \frac{f_x 2l}{f_y \Delta h} \right) \left(h_1 \ln \frac{h_1}{h_H} + h_H - h_1 \right), \quad (2)$$

Изменение конечной ширины прокатных из прутка полос рассчитывали для диаметра 10 мм. Для упрощения расчетов принимали $f_x = f_y$. При этом в отсутствии смазки $f = 0,15$.

Эксперименты проводили прокаткой без смазки прутка диаметром

10 мм в гладких валках радиусом 100 мм. Для получения требуемых размеров поперечного сечения полосы круглый пруток диаметром 10 мм обжимался за 2 прохода.

УДК 621.983.321/324

Разработка теоретических и технологических основ изготовления обработкой давлением полых тонкостенных двухслойных изделий

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Целью работы являлось проведение теоретического анализа механизма деформирования плоских двухслойных составных заготовок из листового проката при изготовлении полых двухслойных изделий методом комбинированной вытяжки. В работе было проанализировано влияние на процесс деформирования двухслойных заготовок таких факторов как соотношение механических свойств материалов слоев при различном расположении мягкого и твердого слоя в изделии, соотношение толщин слоев в заготовке, анизотропия механических свойств материалов составной заготовки, действие сил межслойного и контактного трения с инструментом, коэффициент упрочнения материалов составной заготовки.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований были определены критерии оценки качества двухслойных изделий, изучен механизм деформирования составных заготовок, установлены основные закономерности процесса и причины неравномерной послойной деформации при комбинированной вытяжке полых двухслойных изделий, разработан и обоснован ряд технологических схем изготовления полых двухслойных изделий из составных заготовок, произведена оценка возможностей предложенных схем, разработаны рекомендации по проектированию технологических процессов и конструированию инструмента.

Качество полых двухслойных изделий определяется не только заданным соотношением и равномерностью толщин слоев, но и прочностью их соединения. Требуемая прочность соединения слоев может быть достигнута за счет создания замковых соединений в результате заполнения материалом мягкого слоя локальных углублений в твердом слое, как при совместном, так и послойном деформировании слоев.

Выявленные закономерности позволили разработать целый ряд технологических схем, позволяющих изготавливать двухслойные изделия полые и сплошные, со слоями из металла и порошковых композиций, с внутренним и наружным расположением мягкого слоя, с любым

требуемым сочетанием материалов, соотношением толщин, прочностью соединения слоев, с равномерной толщиной слоев, как по длине, так и периметру поперечного сечения. При этом получение двухслойных изделий возможно путем совместного и послойного деформирования слоев.

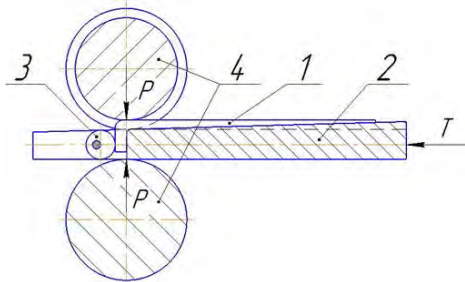
УДК 621.771.63

Технологические основы пластического формообразования полос переменной толщины с изгибом конечного участка

Исаевич Л.А., Нестерович М.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время большое внимание уделяется импортозамещению. Так, Белорусская железная дорога закупает на предприятиях Украины и России чеку тормозной колодки. В НИИЛ ОМД БНТУ была разработана технология изготовлению чеки тормозной колодки, заключающаяся в прокатке полосы переменной толщины совместно с изгибом конечного участка по схеме указанной на рисунке 1.



Нагретую заготовку 1 размещают на калибрующей оправке 2 и зажимают кулачком 3. Калибрующая оправка затягивается приводными валками 4 в зазор между ними, причем верхний валок изгибает и укладывает заготовку 1 на оправку 2 и

Рисунок 1- Схема прокатки переменного профиля с рассогласованием скоростей деформирующего инструмента

прокатывает переменный профиль. Затем отжимают кулачок 3 и снимают заготовку переменного по

длине профиля с оправки. Снижение уширения достигается натяжением заготовки в момент прокатки, что в свою очередь обеспечивается рассогласованием скоростей движения вала и калибрующей оправки.

Предельный момент прокати находится по формуле, при критическом угле $\gamma_1 = 0$:

$$M_{1max} = \tau_c b_c R_1^2 \alpha_1,$$

где $\tau_c = \frac{\sigma_T}{2}$; b_c – ширина полосы; R_1 - радиус верхнего вала; α_1 – угол прокатки при максимальной обжатии полосы.

Момент, передаваемый от валков к оправке равен:

$$M_{\text{тр}} = 2Pf ,$$

где P – усилие, действующее со стороны валков на оправку.

Процесс прокатки возможен при $M_{\text{тр}} > M_{1 \text{ max}}$, в противном случае необходимо приложить дополнительное усилие T к оправке.

УДК 621.983.4

Оптимизация технологического процесса изготовления сильфонных трубок-заготовок с использованием ротационной вытяжки

Шиманович И.М.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является разработка более рационального технологического процесса получения трубок-заготовок для производства сильфонов.

При производстве сильфонов в качестве заготовок могут использоваться штучные заготовки из передельных труб, получаемых прокаткой или волочением. В дальнейшем эти заготовки подвергаются ротационной вытяжке в матрицах планетарного типа.

Примером вышесказанного может служить технологический маршрут изготовления заготовок для сильфонов 20×10×0,12–1–12X18N10T и 20×10×0,08-1-12X18N10T, который выглядит следующим образом:

$$\varnothing 16 \rightarrow \varnothing 14-0,4 \rightarrow 0,25 \rightarrow 0,12 \text{ и } \varnothing 16 \rightarrow \varnothing 14-0,4 \rightarrow 0,25 \rightarrow 0,16 \rightarrow 0,08.$$

При этом в качестве исходной заготовки используется передельная трубка диаметром 16 мм, полученная на стане ХПТР. Для достижения необходимого наружного диаметра в 14 мм заготовку предварительно подвергают ротационной вытяжке с уменьшением диаметра, а затем проводят ротационную вытяжку с утонением стенок. С учетом термических и гальванических обработок технологический процесс изготовления трубок-заготовок для сильфона 20×10×0,08-1-12X18N10T состоит из 34 операций, включающих 4 операции ротационной вытяжки (для сильфона 20×10×0,12–1–12X18N10T из 36 операций – 3 ротационной вытяжки).

Анализируя существующий технологический процесс, установлена возможность применения комбинированной ротационной вытяжки, где наряду с преднамеренным утонением стенок, можно производить значительное уменьшение диаметральных размеров заготовки.

Предлагаемый процесс реализуется в многорядных шариковых (роликовых) планетарных матрицах, первый ряд деформирующих элементов которых производит лишь уменьшение диаметральных размеров заготовки. Использование таких устройств позволяет сократить число операций при изготовлении трубок-заготовок для сильфонов 20×10×0,12–1–12X18H10T и 20×10×0,08-1-12X18H10T на 9 единиц.

УДК 621.983.4

Особенности изготовления тонкостенных сильфонных трубок-заготовок

Шиманович И.М., Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

Высокоточные тонкостенные цилиндрические оболочки как с глухим дном, так и открытые с обеих сторон широко используются в конструкциях приборов и агрегатов машиностроительной техники. Особое место в семействе указанных тонкостенных оболочек занимают трубки, применяющиеся в качестве заготовок для сильфонов.

Металлические сильфоны используются в качестве упругих чувствительных элементов в приборах различного назначения, выполняют функции компенсаторов тепловых расширений трубопроводов, разделителей сред, герметичных уплотнителей и др. Они являются весьма ответственными элементами разнообразных устройств, срок службы и надежность сильфонов, как правило, определяет срок службы и надежность приборов в целом. Этим объясняется то внимание, которое уделяется в настоящее время вопросам совершенствования технологии и повышения качества производства сильфонов.

К сильфонам, применяемым в качестве упругих чувствительных элементов, предъявляются высокие требования по точности функциональных параметров: жесткости, циклопрочности, эффективной площади. Эксплуатационные характеристики формируемых сильфонов обуславливаются в основном качеством получаемых трубок-заготовок, технологический процесс изготовления которых состоит из десятков операций (в среднем до 45). Использование заготовок полученных многооперационной вытяжкой из плоской заготовки или тонкостенных труб полученных прокаткой или волочением затруднительно, а часто и невозможно. Это связано с имеющейся у них разностенностью, анизотропией свойств материала, неоднородностью его химического состава, разброса твердости в результате термообработки и целого ряда других моментов вызывающих разнопрочность исходных заготовок (как

по длине так и по диаметру). Как следствие, низкие эксплуатационные характеристики сильфонных трубок-заготовок сказываются на обеспечении конечных характеристик готового изделия – сильфона.

В условиях производства обычно отрезают часть трубки с разнотолщиной превышающей 10%. В результате коэффициент использования металла снижается до 30 – 35%, а планируемый брак на сильфонных заводах достигает иногда 50%.

УДК 621.771.2

Моделирование процесса прокатки полосовых заготовок переменной толщины с локальным изгибом из прутка

Исаевич Л.А., Иваницкий Д.М.

Белорусский национальный технический университет

По предложенной технологической схеме производится предварительная обработка заготовки, а именно осуществляется обжим концов прутка согласно эскиза (рисунок - 1). Диаметры исходных заготовок для чеки исполнений 1 и 2 были подобраны расчетным путем.

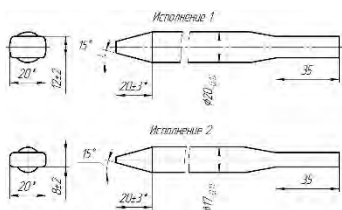


Рисунок 1 - Эскизы профилированных заготовок

По первой схеме формообразование чеки исполнения 1 из круглого прутка производили прокаткой в двух гладких валках на оправке с продольным пазом, повторяющим профиль готового изделия. При проведении моделирования подбирали длину исходной заготовки, при которой произойдет полное заполнение

рабочего ручья. Результаты моделирования представлены на рисунке 2, размеры исходной заготовки $d \times l = 20 \times 185$ мм.

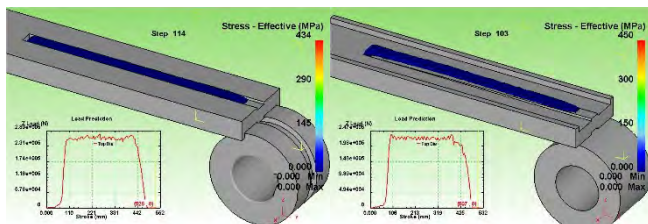


Рисунок 2 - Результаты компьютерного моделирования

По результатам моделирования формообразования чеки исполнения 2 определили размеры исходной заготовки $d \times l = 17 \times 240$ мм. Основными недостатками первой схемы формообразования являются искажение формы готового изделия и образование заусенца на боковых кромках в местах наибольших обжатий.

Результаты моделирования прокатки по второй схеме (Рис.2) и размеры исходной заготовки $d \times l = 20 \times 175$ мм для исполнения 1 и для исполнения 2 - $d \times l = 17 \times 235$ мм.

УДК 621.771.012

Исследование процесса формообразования конического зубчатого колеса сферодвижной штамповкой (СШ)

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А., Стадник В.В.
Белорусский национальный технический университет

Технологии и конструкция прессы для сферодвижной штамповки обеспечивает одноступенчатый процесс пластической деформации, т.е. за один ход ползуна прессы осуществляется операция деформации.

Данная деформация достигается благодаря циклам сферодвижного прессы представленным на рисунке 1.



Рисунок 1 – Циклы СШ конического зубчатого колеса

Вся верхняя часть штампа встроена в сферическую головку и поддерживается гидравлическим зажимным устройством. Нижняя часть штампа встроена в стол прессы и крепится гидравлическим зажимным устройством. Нижний выталкиватель крепится специальным устройством и может также использоваться как опция для формования внутренней части заготовки в ходе процесса прессования.

Наличие такой последовательности циклов штамповки ведет к сокращению технологического цикла СШ, возможности автоматизации, а

также возможности обработки кольцевых заготовок, что предоставляет дополнительные технологические преимущества.

Процессы СШ имеют существенные преимущества по сравнению с традиционными методами штамповки:

- получение деталей сложного профиля без нагрева
- значительное снижение силы деформирования до 20...25 раз;
- получение поковок с большим отношением диаметра к высоте (более 20);
- расширение области рационального использования холодных деформационных процессов для получения точных заготовок и готовых изделий, при этом существенно снижается материалоемкость производства и уменьшается объем механической обработки.

УДК 621.774

Исследование силовых параметров процесса формообразования сферообразных оболочек с использованием жесткого деформирующего инструмента

Карпицкий В. С., Карпицкий Ю. В.

Белорусский национальный технический университет

Изготовление сферообразных оболочек с более сложной конфигурацией их боковых поверхностей возможно с использованием жесткого составного деформирующего инструмента, в конструкции которого для формоизменения трубной заготовки используют разжимной секционный пуансон с рабочими поверхностями соответствующими профильной боковой образующей получаемого изделия. В процессе деформирования полой заготовки в зависимости от формы наружной поверхности изделия в материале заготовки под действием осевого усилия и усилия, передаваемого секциями разжимного пуансона на внутреннюю стенку заготовки, возникают осевые и тангенциальные напряжения.

Поскольку внешняя поверхность заготовки в процессе раздачи не нагружена, а удельное усилие, передаваемое секциями пуансона, при относительно тонкостенной заготовке мало по сравнению с напряжением текучести, можно считать, что напряженное состояние элемента заготовки в зоне пластической деформации близко к плоскому, поскольку при относительно малом удельном усилии удельные силы трения им пропорциональны.

На этом основании условие пластичности может быть записано в виде $\sigma_{\theta} = \beta \sigma_s$. Совместное решение обобщенного уравнения равновесия

элементарного объема материала заготовки в зоне пластической деформации и условия пластичности позволяет определить деформирующее усилие P_p , необходимое для формоизменения заготовки

$$P_p = 2\pi\beta\sigma_s HS(\operatorname{tg}\alpha + \mu).$$

Полученная зависимость учитывает, как технологические параметры инструмента и заготовки, так и физико-механические свойства материала и условия его деформирования.

УДК 621.771.013

Влияние параметров процесса сферодвижной штамповки на стойкость формообразующего инструмента

Качанов И.В., Кудин М.В., Стадник В.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе сферодвижной штамповки главную работу деформирования выполняет сферодвижный механизм. Основное назначение сферодвижного механизма состоит в том, что он сообщает исполнительному звену совместно с пуансоном пространственно - сферическое колебание вокруг заданного центра. В этом центре пересекаются осевые линии исполнительного звена, пуансона и заготовки, а также две главные оси кинематических пар, образующих этот механизм.

Кинематика исполнительного звена обладает сложной характеристикой, так как в различных точках этого звена скорость, ускорение и траектория колебания не одинаковы. Точки рабочей поверхности пуансона совершают цикличное волновое колебание вокруг центра, при этом воздействие пуансона на металл заготовки происходит в локальной зоне.

Отклоненная от вертикали на небольшой угол γ (угол прецессии) ось водила бойка описывает коническую поверхность вокруг вертикальной оси; при этом водило не вращается вокруг собственной оси и пуансон получает не вращательное, а круговое качательное движение. Вершина конуса, описываемого вращением оси водила совпадают с вершиной конусной части деформирующего вала.

Торцевая часть пуансона непрерывно перекачивается по поверхности деформируемой заготовки, установленной в матрице, образуя в каждый момент сосредоточенный очаг деформации. Ввиду этого нагрузка на деформируемую заготовку прикладывается не по всей торцевой поверхности одновременно, как при осадке плоскопараллельными бойками, а по значительно меньшей поверхности.

Осадка заготовки осуществляется за несколько оборотов пуансона. При этом за каждый оборот деформируются определенные участки заготовки определенным участком качающегося пуансона. Такой способ деформирования заготовки обуславливает появление неоднородности распределения знакопеременных напряжений по объему деформированной заготовки и формообразующего инструмента, что повышает требования к стойкостным характеристикам и термообработки легированных сталей, из которых изготовлен формообразующий инструмент.

Материаловедение в машиностроении

**Опыт выполнения и защиты магистерских диссертаций
на кафедре в 2015 году**

Константинов В.М.

Белорусский национальный технический университет

В анализируемый период было продолжено совершенствование магистерской подготовки на кафедре. Успешно защищены 9 магистерских диссертаций. В настоящее время в магистратуре при кафедре обучается 8 магистрантов. Большинство из них – практико-ориентированная заочная магистратура по специальности 1-42 81 01. Следует отметить, что почти все профессора и доценты кафедры руководят магистерской подготовкой. Ежегодно 20...30% выпускников кафедры поступают в магистратуру. Тематика диссертаций, как правило, направлена на решение конкретных производственных задач по месту работы диссертанта. Так например, магистрантом Сосиновичем А.И. (рук. проф. Гурченко П.С.) выполнена диссертация «Исследование возможности изготовления шестерен из углеродистых сталей с упрочнением объемно-поверхностной закалкой с индукционным нагревом в условиях ОАО «МПЗ». Инженер Гомельского завода «СИиТО» Ильеня А.В. (рук. проф. Ситкевич М.В.) выполнил диссертацию «Исследование и производственное апробирование процессов ХТО для повышения стойкости инструмента заводской номенклатуры». Традиционная последовательность организации работы над магистерской диссертацией: 1. Подбор профессионально пригодного выпускника кафедры и мотивация его для выполнения магистерской диссертации. 2. Формирование плана приема в магистратуру. 3. Подбор тематики диссертации по профилю работы. 4. Выполнение и защита диссертации на кафедре с элементами практического внедрения.

Для повышения эффективности взаимодействия с предприятиями предложен следующий алгоритм организации работы над магистерской диссертацией: 1. Подбор инженерно-технического сотрудника предприятия заводской кадровой службой. 2. Формирование тематики диссертационной работы по научно-производственной потребности завода. 3. Формирование плана приема в магистратуру по заявкам предприятий. 4. Выполнение диссертации при двойном руководстве: от предприятия и от университета. 5. Защита диссертации на предприятии. Результатом реализации предложенного алгоритма должно стать повышение эффективности выполнения диссертации и управляемый карьерный рост выпускника магистратуры для развития инженерного корпуса и обеспечения инженерной безопасности машиностроения.

Лабораторная универсальная установка индукционного нагрева

Константинов В.М, Михлюк А.И., Дашкевич В.Г., Щербаков В.Г.
Белорусский национальный технический университет

В рамках сотрудничества с ГНУ «ФТИ НАН Беларуси» был реализован комплекс мероприятий связанный с созданием и разработкой научно-исследовательской индукционной установки обработки сталей и сплавов. Основные усилия были направлены на совмещение в разрабатываемом оборудовании реализации трех технологических процессов: наплавка, термоциклическая объемная обработка и поверхностная закалка. Созданная установка ФТИ-40/10-50 успешно эксплуатируется на базе научно-исследовательской лаборатории упрочнения стальных изделий БНТУ. Технические характеристики установки позволяют выполнять широкий спектр задач. Она позволяет обеспечивать следующие технологии термической обработки: нагрев деталей по заранее заданному программой режиму; одновременную закалку деталей с возможным дозированным охлаждением и опережающего (до 1 с) включения охлаждения в процессе нагрева; непрерывно-последовательную закалку деталей с возможностью выдержки (до 3 с) в начале заковки; одновременный нагрев металла под оплавление с возможностью снижения мощности нагрева по заданной программе (после начала оплавления). Обеспечено вращение и перемещение детали относительно неподвижного индуктора в горизонтальной и вертикальной плоскости. Обеспечена возможность работы в широком диапазоне частот без дополнительной перестройке системы управления и силовой схемы. Система управления установкой обеспечивает контроль работы установки по заданным параметрам, отображение основных параметров работы установки в режиме постоянного мониторинга; управление, контроль протока и температуры охлаждающей воды; контроль мощности, контроль температуры нагрева заготовки от пирометра с цифровой индикацией. Таким образом, основными отличительными особенностями разработанной установки являются высокая степень автоматизации, наличие программной оболочки с возможностью эффективной работы с данными полученными от измерительных блоков установки и установочными данными, оригинальная конструкция привода и установки образцов позволяющая обеспечивать вертикальное и горизонтальное перемещение изделий. Существенным являются демонстрационные возможности установки для учебных задач в рамках проводимых курсов «Технология индукционного нагрева», «Теория и технология термической обработки» и др. для студентов-материаловедов и магистрантов БНТУ.

Искробезопасные термодиффузионные слои на сталях для работы в условиях трения и удара

Ситкевич М.В., Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Оценка некоторых эксплуатационных свойств термодиффузионных слоев сопряжена с большими трудностями. В частности, когда речь идет о таких специфических свойствах как искробезопасность слоев при условиях трения и удара. Отсутствие полноценных количественных и научно-обоснованных методов испытаний в этом направлении приводит к произвольному использованию качественных методов и, в конечном счете, к достаточно субъективным выводам и сложности сравнительного анализа. В научном плане при разработке эффективных составов искробезопасных материалов интересует, прежде всего, возможность количественной оценки и возможность имитации реальных условий эксплуатации (материал, форма контактирующих поверхностей, скорость взаимного перемещения, среда и прочее). Исследование искробезопасные термодиффузионных слоев для работы в условиях трения и удара различных покрытий проводились на установке модульного типа для реализации разных взаимодействий: в начале на модуле по оценке искрообразования при непрерывном трении об абразив, затем на модуле по оценке искрообразования при одинарных и чередующихся ударах о металлическую поверхность.

На установке осуществляется фото- видеофиксация процесса искрообразования, в результате устанавливается балл искрообразования по специально разработанной шкале, которая обобщенно характеризует процесс искрообразования. Отличительная особенность шкалы – привязка к расчетной величине площади искрообразования выявленной на фотоснимке в начальный момент взаимодействия, что позволяет более объективно проводить оценку процесса и характеризовать испытываемые варианты материалов с диффузионными слоями и покрытия.

По проведенным исследованиям икрообразования в различных вариантах взаимодействия установлено преимущество борсодержащих диффузионных слоев перед другими, такими как, алитированные, силицированные, цинковые слои. Из борсодержащих диффузионных слоев максимально низкое искрообразование (балл искрообразования – 0) показали бороалитированные и боросилицированные слои, полученные из комплексной среды однократной обработкой, а также борированные двухфазные слои.

Соколов Ю.В.*, Паршуту А.А.

Белорусский национальный технический университет*

Физико-технический институт НАН Беларуси

Алюминиевые сплавы используются в качестве конструкционных материалов в различных областях промышленности. Для придания требуемых функциональных свойств в большинстве случаев необходима модификация поверхностных слоёв деталей из сплавов алюминия или формирование на них защитных покрытий. Износостойкие, электроизоляционные, коррозионностойкие покрытия на изделиях из алюминиевых сплавов (корпусах часов, кольцах топливных насосов, заготовках печатных плат и др.) формируют методами анодирования или микродугового оксидирования (МДО). Однако существующие технологии анодирования и МДО имеют ряд недостатков: при анодировании необходима длительная обработка для получения пленок заданной толщины (десятки мкм) и использование специальных сплавов для достижения требуемых эксплуатационных свойств покрытий; при МДО – высока энергоёмкость процесса и в связи с повышением шероховатости поверхности необходима дополнительная механическая обработка деталей. Кроме того, эти технологии не обеспечивают достижения специальных свойств, например: придания цветовой тональности деталям из наиболее применяемых марок сплавов алюминия АМг2 и Д16.

Объединив технологии предварительной электролитно-плазменной обработки (ЭПО) и высоковольтного электрохимического оксидирования (ВВЭО) можно повысить эксплуатационные характеристики сформированных оксидных покрытий. На основе полученных закономерностей влияния режимов ВВЭО и ЭПО на функциональные свойства покрытий разработана комбинированная технология, позволившая снизить количество предварительных операций (обезжиривание, травление, осветление) перед формированием оксидных пленок. Данная технология обеспечивает формирование оксидных слоев толщиной до 70 мкм с микротвердостью до 8 ГПа, с параметром шероховатости R_a 0,15–0,24 мкм. Технологический процесс применен для формирования коррозионно- и износостойких, декоративных оксидных слоев на изделиях электронной промышленности при конструировании мощных ламп светодиодной техники, гибридных микросборок на крупногабаритных подложках, объединяющих бескорпусные кристаллы (МКМ), деталях машиностроения, аэрокосмической отрасли.

Гурченко П.С., Булойчик И.А.,
Белорусский национальный технический университет

Анализ термической обработки ряда деталей автотракторной техники показал, что перспективными для использования ТДЦ в качестве завершающей операции термической и антикоррозионной обработки являются не только упругие термоупрочняемые элементы, но так же ряд стальных деталей, изготавливаемых из конструкционных марок сталей. С учетом особенностей условий эксплуатации, наибольший интерес представляет обработка ряда крепежных элементов способом ТДЦ после предварительного термического упрочнения закалкой. На основании проведенного анализа номенклатуры крепежных элементов ОАО «МАЗ» для замены отпуска процессами термодиффузионного цинкования наиболее подходят крепежные элементы, изготовленные из нелегированных либо низколегированных марок сталей не склонных к отпускной хрупкости, отпускаемых по стандартной технологии при температурах, сопоставимых с температурами реализации стандартных режимов ТДЦ. На рисунке 1 представлено графическое представление режима окончательной термической обработки крепежных элементов из стали 40Х, включающее замену стандартной операции «отпуск» процессом ТДЦ.

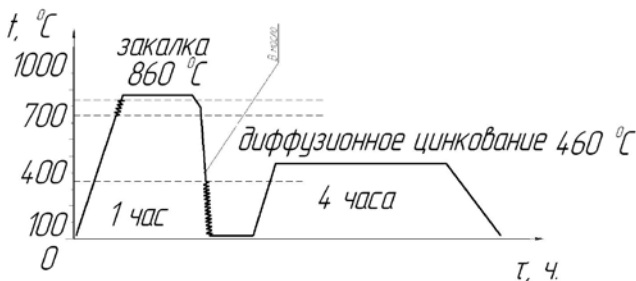


Рисунок 1 – Схема обработки крепежных элементов

Разработанная технология совместной термической и антикоррозионной обработки крепежных элементов позволяет снизить производственные затраты на обработку ряда крепежных элементов из конструкционных марок сталей за счет формирования антикоррозионного покрытия и требуемых эксплуатационных свойств изделий в одну технологическую операцию.

**Перспективы применения индукционного нагрева ТВЧ
при реализации технологий диффузионного цинкования
в порошковых насыщающих средах**

Булойчик И.А.,

Белорусский национальный технический университет

Термодиффузионное цинкование с применением индукционного нагрева (ТДЦЭ) имеет ряд преимуществ связанных как с производительностью применяемого способа нагрева, обеспечивающего меньшие энергозатраты, так и с особенностями формируемого на изделии диффузионного слоя, обладающего более высокими эксплуатационными характеристиками в сравнении с покрытиями, наносимыми традиционными методами цинкования. На основании анализа патентной документации общим недостатком оборудования, для диффузионного цинкования, обеспечивающего нагрев обрабатываемых деталей и насыщающей смеси непосредственно электронагревателями, являются значительные энергозатраты, связанные с прогревом массивных заготовок, а так же трудность в обеспечении равномерного прогрева длинномерных изделий. Технологической особенностью реализации процессов ТДЦЭ в сравнении со стандартными процессами ТДЦ является циклический нагрев обрабатываемых деталей до температур (порядка 700 - 900 °С), существенно превышающих температуры стандартных режимов реализации процессов ТДЦ. Причем сама реторта изготавливается из нержавеющей стали, а применяемая для насыщения смесь содержит значительное количество инертного наполнителя, что предотвращает ее спекание в процессе нагрева. В сравнение с традиционными способами формирования цинковых интерметаллидных диффузионных слоев ТДЦЭ позволяет формировать цинковые диффузионные слои с преимущественным формированием δ -фазы в поверхностной зоне насыщаемого изделия, обладающей наиболее выгодной совокупностью эксплуатационных характеристик (сочетание параметром микротвердости, пластичности и коррозионной стойкости).

С учетом того, что значительную часть продукции подлежащей цинкованию составляют конструкционные материалы, большая часть которых представлена длинномерными изделиями (стальные перекрытия, элементы дорожных ограждений, трубы различного сортамента), применение установок индукционного нагрева с использованием шликерных обмазок представляет актуальную альтернативу традиционным процессам цинкования в расплавах цинка.

Особенности устройств для проведения испытаний на искрообразование

Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее простой способ искрообразования – искровая проба. Она предназначена для определения марки стали (конструкционная, инструментальная или быстрорежущая), которая определяется этим способом достаточно точно. По длине искр, форме, их окраске, количеству и характеру звездочек судят о процентном содержании в сплаве углерода и присутствии в нем вольфрама, марганца и других элементов. За счет своей универсальности и простоты, отсутствия необходимости применения специального оборудования способ активно применяется, но оценку искрообразования он позволяет сделать лишь приблизительной.

Для более точного исследования необходимо использование специальных установок, которые реализуют разный вид (схему) взаимодействия и последующее искрообразование. Основные типы устройств испытания материалов на искрообразование следующие:

1) установка для испытания материалов, работающих в режиме непрерывного трения скольжения, при этом максимальная скорость фрикционного взаимодействия в зоне контакта образцов может достигать 80 м/с;

2) установка для испытания материалов, работающих в режиме быстрочередующихся ударов. Конструкция установки, как правило включает металлический диск с лысками (2...4 шт.), при вращении которого по плоскому образцу формируются удары. Этот вариант искрообразования используется для анализа фрикционного искрообразования по СТБ 11.05.04-2007;

3) установка, реализующая падение или выстрел испытуемого образца на металлическую поверхность. При свободном падении добиться активного искрообразования, как правило, не удастся, поэтому образцу придают ускорение различными способами, реализуя одиночное соударение при больших скоростях относительного движения;

4) установка в виде маятникового копра для испытания материалов, работающих в режиме одиночных скользящих соударений.

Главными преимуществами испытаний на специальных установках является возможность реализовать разнообразные схемы взаимодействия, различные материалы, формы образцов и обеспечить хорошую повторяемость эксперимента.

Режимы термоциклической обработки. Микроструктура и механические свойства алюминиевых сплавов

Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Под термоциклической обработкой (ТЦО) понимают варианты термической обработки, осуществляемые с использованием многократных циклических тепловых воздействий. Существуют виды ТЦО без фазовых и с фазовыми превращениями, а также в области переменной растворимости элементов друг в друге или в интервале температур дисперсионного твердения. Температурный интервал ТЦО сплавов, не упрочняемых термической обработкой, ограничивается верхней температурой цикла (высокотемпературное ТЦО), которая ниже начала плавления. В случае нагрева, ниже линии сольвус, ТЦО относится к низкотемпературному процессу. ТЦО для литейных и деформируемых алюминиевых сплавов направлено на повышение твердости, прочности с сохранением вязкости, пластичности, а также размерной стабильности.

Трансформация макро- и субструктуры при ТЦО сплава АЛ4, обработанного в режиме ВТЦО (535-450 °С, 15-20 циклов) и старение при 175 °С (15 ч), приводит к сфероидизации и коагуляции частиц кремня и формированию полигональной структуры твердого раствора. Указанные изменения способствуют увеличению прочности на 30% от исходного значения (σ_b 256 МПа) с сохранением пластичности сплава (δ 4,5 %).

В основе НТЦО стареющих сплавов лежит распад твердого раствора, который сопровождается многократным процессом термического возврата.

Сплав марки Д16, после стандартной закалки и старения, обладает прочностью в 450 МПа и пластичностью соответствующей 6%. Сплав марки Д16 резко изменяет механические свойства при обработке по режиму (200-20 °С, 2-20 циклов) со скоростью печного нагрева 0,4-0,8 °С/с и 30 °С/с охлаждение. Прочность сплава снижается на 20% от исходной, а пластичность увеличивается в 5 раз.

В следствие периодического образования и растворения мелких зон Г-П в матричном растворе формируется субструктура (полигональная). Это обусловлено релаксацией напряжений путем микропластической деформации, что подтверждается напряженно-деформированным состоянием сплава, определяемого по уменьшению физического уширения на рентгенограммах. ТЦО также способствует диспергированию и равномерному распределению зон Г-П в сплаве.

Особенности индукционного циклического нагрева конструкционных сталей

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.

Термоциклический нагрев основан на чередовании стадий повышения температуры и ее снижения до заданной величины, которые могут повторяться с разной интенсивностью и частотой. Изменение температуры нагрева в течение цикла закалки, отжига предоставляет дополнительные источники воздействия на структуру: термические и фазовые напряжения, микропластическая деформация, фазовая перекристаллизация.

Перечисленные факторы позволяют получить мелкозернистый материал (10 и более баллов) с минимальными структурными и термическими напряжениями. Уменьшение напряженного состояния достигается релаксацией микронапряжений путем микропластической деформации зерен аустенита. По этой причине ударная вязкость образцов стали после термоциклической обработки выше, чем у аналогичного мелкозернистого материала после индукционной закалки и отпуска.

Установленной особенностью индукционного циклического нагрева является то, что в диапазоне скоростей нагрева (30...40 °С/с) и охлаждения (5...10 °С/с) имеется ограничение по числу циклов (не более 5 циклов). В структуре низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей наблюдается формирование разнотернистой структуры в поверхностном слое, а в сердцевине образуется развитая полигональная структура.

При циклической цементации появляются дополнительные карбиды в каждом цикле охлаждения, в результате площадь карбидной фазы заметно больше, нежели в стационарном режиме насыщения. Средняя величина карбидной фазы составляет от 2 мкм, что повышает твердость закаленного диффузионного слоя до 66 HRC. 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.

Сплавы для индукционной наплавки из диффузионно-легированных металлических дискретных металлоотходов

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

В работе исследовали перспективность использования металлических дискретных металлоотходов при получении диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки износостойких покрытий работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. На предприятиях Республики Беларусь, в процессе производства продукции, образуется огромное количество металлических дискретных металлоотходов и виде дробы и стружки. Данные материалы являются готовой основой для изготовления диффузионно-легированных сплавов. Насыщение данных материалов можно проводить как в стационарных тиглях из нержавеющей стали с использованием в качестве насыщающей среды карбида бора либо алюминотермические смеси получаемые методом восстановления, так и в подвижных порошковых насыщающих смесях на оборудовании оригинальной конструкции. В качестве исходных материалов были выбраны отходы чугуна дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 фракцией 500...630 мкм. Диффузионное легирование (борирование) проводили в подвижной порошковой смеси на специальной электрической вращающейся печи. Температура обработки составила 950 °С, продолжительность – 1 ч. Разделение насыщающей смеси и насыщаемого материала после диффузионного легирования осуществлялось с помощью специального набора сит либо с помощью магнитного сепаратора. Толщина диффузионного слоя после обработки составила 70...80 и 50...60 мкм на дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2, соответственно. Диффузионное легирование в подвижной порошковой насыщающей смеси позволяет в широких температурно-временных диапазонах проводить обработку данных материалов, что обеспечивает обширный диапазон концентраций легирующего элемента в каждой отдельной обрабатываемой поршинке. Продолжительность и температура диффузионного легирования в подвижных порошковых средах не должны превышать 120 мин и 950 °С, соответственно, так как при превышении времени и температуры обработки снижается эффект интенсификации процесса диффузионного легирования в подвижных порошковых средах за счет микропластических деформаций обрабатываемого материала. Таким образом, регулируя температурно-временные параметры диффузионного легирования в подвижных порошковых средах можно получать сплавы с регламентированной концентрацией бора из дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2.

Исследование влияния режимов оксидирования на цветовую гамму оксидных пленок

Соколов Ю.В., Паршуту А.А., Марышева А.А.
Белорусский национальный технический университет
Физико-технический институт НАН Беларуси

Оксидные покрытия широко применяются для создания защитно-декоративного слоя на изделиях из алюминиевых сплавов. Для них важными факторами являются привлекательный внешний вид и способность противостоять воздействию окружающей среды. В основном, для получения оксидных пленок с различной цветной гаммой применяют красители или электрохимическое окрашивание. Однако, возможен процесс создания цветных оксидных пленок при их формировании, для этого необходим подбор электролита и режимов процесса оксидирования. При использовании электролита на основе щавелевой кислоты, оксидные пленки получатся от темного до светло жёлтого цвета на сплавах без содержания меди и кремния. В процессе анодирования в щавелевокислых электролитах, могут быть получены оксидные пленки от прозрачного до светло-желтого на технически чистых марках алюминия (А5М, АД0, АД1) и от светло-желтого до черного оттенков цвета на сплавах с содержанием магния (АМг2, АМг4, АМг6).

Изменение режимов обработки (температуры электролита и плотности тока) сплава АМг2 показало, что с увеличением плотности тока содержание кислорода в оксидной пленке возрастает. Отношение атомов алюминий/кислород достигает 0,8 при 2 А/дм², и 0,75 при 3 А/дм². Эти значения соответствуют следующему стехиометрическому составу, соответственно (Al₂O_{2.5}) и (Al₂O_{2.7}). При плотности тока обработки 2 А/дм² полученная оксидная пленка на поверхности сплава имеет желто-зеленый оттенок и становится светлее при повышении температуры. Предположительно, зеленый оттенок придают оксиды магния, которые включаются в оксидную пленку алюминия из материала основы. Оксидная плёнка, полученная при плотности тока 3 А/дм² с увеличением температуры электролита, меняет цвет от коричневого до желтого.

Таким образом, в процессе обработки алюминиевых сплавов при различных режимах формируются оксидные пленки с различным элементным составом влияющим на цветовую гамму оксидного слоя. При этом в структуре содержатся атомы металлов, входящих в состав алюминиевого сплава, а также незначительное наличие (до 1 %) компонентов из электролита.

Использование программы GetData Graph Digitizer для оцифровки бумажных графиков и данных в виде фотографий

Астрашав Е.А., Мельниченко В.В.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в связи с необходимостью использования ранее проведенных опытных данных, и на их основе, проработки и моделирование свойств сплавов металлов, остро стоит проблема качественной оцифровки бумажных носителей данных. Это данные, которые ранее были опубликованы в книгах, научных периодических журналах и даже фотоматериалах. Многие бумажные носители уже переведены в электронный вид и могут быть прочитаны на компьютере или другом гаджете. Но, имеющаяся в них графическая информация представлена в виде графического монолитного изображения.

Ряд разработчиков программного обеспечения попробовали решить задачи оцифровки бумажных графиков. После анализа ряда имеющихся программных продуктов нами выбрана GetData Graph Digitizer фирмы Gold, как наиболее удобный. Рассмотрим возможности программы Grapher версии 2.24.

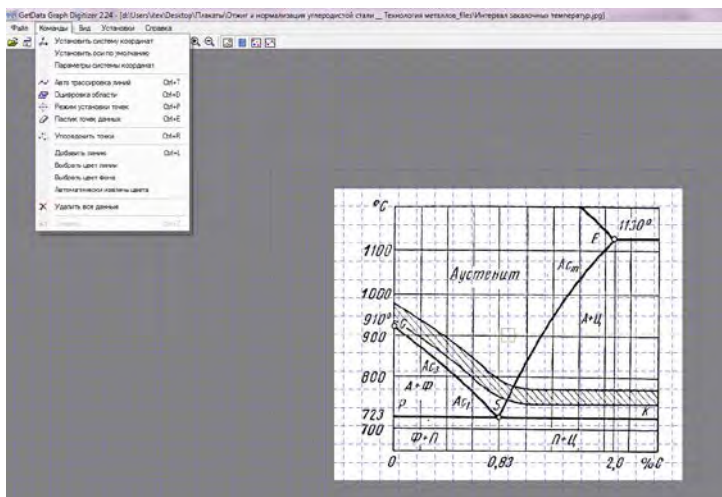
GetData Graph Digitizer - это программа для оцифровки графиков, диаграмм и карт. Основные возможности GetData Graph Digitizer:

- *поддержка графических форматов TIFF, JPEG, BMP и PCX;*
- *два алгоритма для автоматической оцифровки;*
- *удобная оцифровка вручную;*
- *возможность легко менять порядок точек в линии;*
- *возможность сохранять рабочее пространство, что позволяет сохранить текущую работу и вернуться к ней позже;*
- *экспорт полученных данных в буфер обмена;*
- *экспорт в форматы: TXT (текстовый файл), XLS (MS Excel), XML, DXF (AutoCAD) и EPS (PostScript).*

Для того, чтобы иметь возможность определять логические координаты точек, необходимо задать систему координат. Система координат задается четырьмя точками Xmin, Xmax, Ymin и Ymax и их логическими координатами ("значение Xmin" и т.д.). Такой способ задания системы координат позволяет оцифровывать графики с любым расположением осей, в том числе графики, у которых оси не ортогональны.

Чтобы установить масштаб, используйте меню **Команды=>Установить систему координат** или контекстное меню (правая кнопка мышки). Можно также установить оси по умолчанию

(Команды=>Установить оси по умолчанию), в этом случае все координаты будут измеряться в пикселях исходного изображения.



УДК 621.79

Использование метода площадей для оценки дополнительного легирования наплавленных покрытий, полученных из композиционных электродов

Стефанович А.В., Мельниченко В.В., Стефанович А.В.
Белорусский национальный технический университет

Композиционные электроды представляют собой проволоку с нанесенными покрытиями на ее поверхность. Покрытия могут наноситься различными способами:

1. Химико-термической обработкой, при которой легирующий элемент проникает во внутрь проволоки, образуя диффузионный слой. Количество легирующего элементов диффузионном слое всегда меньше 100%, и он состоит из химических соединений железа и легирующего элемента или твердого раствора легирующего элемента в железе. При этом диаметр проволоки практически не изменяется (обычно увеличение размера не превышает 10 – 20% от толщины диффузионного слоя), В результате получается композиционный электрод сечение которого представлено на рисунке 1, а.

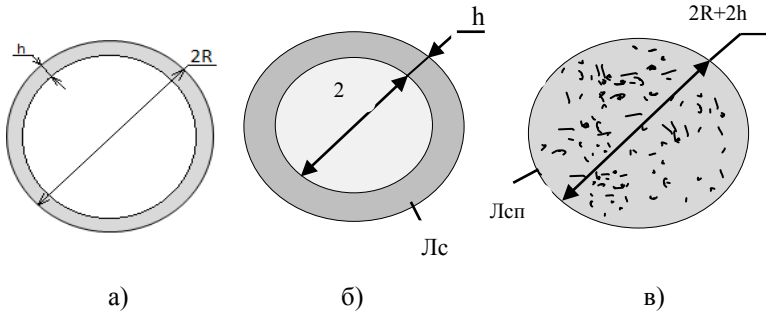


Рисунок 1 - Распределение легирующих элементов в композиционном электроде с диффузионным слоем (а), с гальваническим покрытием (б), и после расплавления (в).

2. Гальваническим осаждением металлов на поверхность проволоки. Количество элемента в гальваническом покрытии может достигать 100% (при полном отсутствии пористости покрытия). При этом диаметр композиционного электрода увеличивается на $2h$ (рис. 1б).

При наплавке композиционный электрод полностью расплавляется и легирующие элементы, находящиеся в покрытиях более или, менее равномерно распределяются по сечению расплавленного электрода (рис. 1в). Количество легирующего элемента в наплавленном покрытии () будет зависеть от толщины слоя (h), диаметра проволоки ($2R$), концентрации легирующего элемента в слое (), плотностей материала проволоки ($\gamma_{ст}$) и легирующего элемента (), а также угара элементов при наплавке.

Используя метод площадей с учетом масс проволоочной заготовки и гальванического покрытия на ней получается следующей равенство:

где m_1 – масса единицы длины проволоки диаметром R , m_2 – масса единицы длины гальванического покрытия на проволоке диаметром R . Решая уравнение (1) относительно количества легирующего элемента в наплавленном покрытии и выражая массы через плотности материала проволоки и легирующего элемента, радиус проволоки (R), толщину легирующего слоя получаем следующие зависимости для гальванического слоя

Учитывая малое значение α и пренебрегая его значением получаем более простую зависимость:

Полученные зависимости позволяют оценить количество вводимого легирующего элемента в наплавленное покрытие в зависимости от толщины легирующего слоя на наплавочном электроде определенного диаметра.

**Специальная стальная проволока с алитированным
диффузионным слоем для сетчатых материалов**

Дашкевич В.Г.¹, Капцевич В.М.², Чугаев П.С.²

Белорусский национальный технический университет¹

Белорусский государственный аграрный технический университет²

Термодиффузионная обработка, в контексте получения эффективных сетчатых материалов узкоспециального назначения, обладает рядом преимуществ и, прежде всего, это возможность повышения функциональных возможностей исходного материала за счет изменения фазового состава, структуры и морфологии образующегося поверхностного слоя под конкретные условия эксплуатации.

Основной идеей создания сетчатого материала с диффузионным слоем для искрогасителей (устройство, устанавливаемое на выхлопных коллекторах транспортных средств, силовых агрегатов, и обеспечивающее улавливание и тушение искр в продуктах горения, образующихся при работе двигателей внутреннего сгорания) является использование дешевого исходного материала из низкоуглеродистой стали типа 08пс, 10. Затем проводится насыщение этого материала легирующими элементами до уровня, который обеспечит требуемую стойкость по следующим критериям: жаростойкость до температур 600...800 °С, коррозионную стойкость в условиях атмосферной коррозии и коррозии при взаимодействии со средой выхлопных газов.

Предпочтительным с точки зрения доступности, эффективности является использование диффузионное насыщение элементами образующими барьерные свойства против окислительного воздействия.

В работе исследовались характеристики алитированных слоев на сетчатых материалах из стали 08кп. Окалиностойкость алитированных слоев определенная для условий 20 ч циклических испытаний при 800 °С в атмосфере воздуха составила не менее 45×10^{-4} г/м²·год. Проведены коррозионные испытания алитированных образцов сеток в камере соляного тумана и в 1 % водном растворе H₂SO₄ продолжительностью 20 и 25 ч соответственно. В камере соляного тумана балл коррозионной стойкости составил 6 – 7, коррозионная стойкость алитированных в серной кислоте за 25 ч установлена удовлетворительной.

Необходимо отметить, что проведенные исследования по стойкости изучаемых диффузионных слоев полностью не отражают условия реальной эксплуатации сетчатого материала, но дают основания для проведения натурных испытаний.

Изучение влияния параметров диффузионно-легированного порошка аустенитной стали на характеристики плазменно-напыленных покрытий

Пантелеенко А.Ф.

Белорусский национальный технический университет

В результате проведения исследований плазменным напылением диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9 была получена серия образцов, которая в дальнейшем подверглась лазерной обработке. Для воздействия 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.

Известно, что после лазерной обработки наблюдается существенное увеличение эксплуатационных характеристик [1,2], снижается пористость, возрастает степень гомогенности микроструктуры, что ведет к росту механических характеристик получаемых покрытий.

В нашем случае наблюдается схожая картина: рост износостойкости после лазерной обработки составляет 2,5...3,2 раза (для различных режимов лазерной обработки увеличение износостойкости различно). Следует отметить, что наибольшее среднее увеличение износостойкости отмечается для аустенитного порошка диффузионно-легированного в течение 3 часов вне зависимости от режимов лазерной обработки. Вероятнее всего это можно объяснить оптимальным сочетанием количества боридов и аустенитной сердцевины порошка, которая выступает в виде основы. Таким образом, можно говорить о реализации «принципа Шарпи», что благоприятно сказывается на износостойкости покрытий [3].

Литература

1. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. – М: Машиностроение, 1989. – 304 с.
2. Ильющенко, А.Ф. Высокоэнергетическая обработка плазменных покрытий: монография/ А.Ф. Ильющенко, В.А. Оковитый, А.И. Шевцов; под общ. ред. А.Ф. Ильющенко. – Минск: Бестпринт, 2007. – 246 с.
3. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоёв/М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.

Перспективное направление в области топокомпозиционного материаловедения

Ковальчук А.В.

Белорусский национальный технический университет

Возрастающие требования к уровню эксплуатационной стойкости деталей трения в условиях дефицита легирующих элементов и ресурсосбережения определили новое направление развития инженерии поверхности. Оно базируется на традиционных способах поверхностного упрочнения с привнесением современных технологических кластеров из области вакуумных ионно-плазменных (ВИП) технологий. Развитие упрочняющих покрытий, получаемых методами парофазного осаждения, дало появление ряда упрочняющих покрытий, которые могут быть монофазными и многофазными, однослойными и многослойными, полностью или послойно градиентными, нанокompозитными двумерными и трехмерными. Толщины получаемых покрытий охватывают не менее пяти порядков значений, а их химический состав может включать такие элементы как Ta, Hf, V, Zr, Be, Nb. Вместе с этим достоверно установлено, что эффективные свойства топокомпозитов не определяются полностью свойствами покрытия, а свойства покрытий в свою очередь не определяются полностью толщиной, химическим составом и структурными особенностями. В слоистой системе значения этих свойств не являются независимыми параметрами, а в значительной мере определяются свойствами составных материалов с учетом их вклада в формирование интегральных характеристик. В этой связи перспективными являются способы упрочнения, включающие модифицирование подложки и последующее нанесение покрытий. В качестве предварительного упрочнения подложек применение находит химико-термическая обработка. Ее преимущество заключается в исследованности процессов насыщения практически любыми элементами и многообразии диффузионных слоев и покрытий. Для использования ХТО вкупе с ВИП обработкой следует выделить ее перспективные возможности: управление химическим составом и структурообразование в заданном направлении; повышение стойкости к агрессивным средам; создание адгезионных подслоев и другие. На кафедре «Материаловедение в машиностроении» разработаны топокомпозиты «сталь – PVD покрытие» с упрочнением подложки карбонитрацией, борированием, ионно-плазменным азотированием, электроискровым легированием, дано научное обоснование повышения их свойств при последующем регламентированном термическом воздействии.

«Износостойкость газотермических покрытий из высокохромистых сталей с метастабильным остаточным аустенитом»

Григорчик А.Н., Кукареко В.А.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Исследовано структурно-фазовое состояние, микротвердость и триботехнические характеристики гиперзвуковых газотермических покрытий из высокохромистых мартенситных сталей 40X13 и 95X18. Показано, что газотермическое покрытие из стали 40X13 после механической шлифовки содержит в фазовом составе α -Fe (65 об.%), γ -Fe (11 об.%), оксиды Fe_3O_4 и FeO (24 об.%). В свою очередь покрытие из высокоуглеродистой мартенситной стали 95X18 включает в себя: α -Fe (7 об. %), γ -Fe (68 об. %), оксиды Fe_3O_4 и FeO (25 об. %). Можно видеть, что в газотермическом покрытии из стали 95X18 содержится аномально высокое количество γ – фазы. Это явление связано с термической стабилизацией аустенита за счет высокого содержания углерода в напыляемой стали 95X18, а также с замедленным охлаждением покрытия в интервале мартенситного превращения. В тоже время в покрытии из стали 40X13 за счет низкой концентрации углерода мартенситное превращение в процессе напыления покрытия протекает более полно. Вследствие этого покрытие из стали 40X13 имеет более высокую твердость по сравнению с покрытием из стали 95X18 (таблица 1).

Таблица 1 - Микротвердость и интенсивность массового изнашивания газотермических покрытий из мартенситных сталей

| Материал напыляемого покрытия | Твердость HV 10, кгс/мм ² | Интенсивность массового изнашивания $I_q \cdot 10^{-3}$, мг/м | Микротвердость покрытия после трения HV 0,025, кгс/мм ² |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|
| 40X13 | 600 | 4,5 | 700-800 |
| 95X18 | 350 | 1,1 | 800-850 |

В результате триботехнических испытаний газотермических покрытий из мартенситных сталей установлено, что покрытие из стали 95X18 имеет износостойкость в ≈ 4 раза выше, чем покрытие из стали 40X13. Высокое сопротивление изнашиванию покрытия из стали 95X18 обусловлено деформационно-активированным $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением в поверхностном слое при трении. При этом на поверхности трения газотермического

покрытия из стали 95X18 образуется тонкий слой с пониженным содержанием аустенита ($V_\gamma \approx 22$ об.%, $V_\alpha \approx 53$ об.%), характеризующийся высокой микротвердостью (≥ 800 HV 0,025) и износостойкостью (см. таблицу 1).

Таким образом, газотермические покрытия из высокохромистых мартенситных сталей являются перспективными материалами высоконагруженных пар трения.

УДК 621.78, 621.793

Отжиг композитов с покрытиями TiAlN на борированных стальных подложках

Константинов В.М., Ковальчук А.В.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что при нанесении покрытий методом физического парофазного осаждения может происходить разогрев подложки до 100...400 °С, а при конденсации с ионной бомбардировкой происходит «перемешивание» компонент покрытия и подложки и формирование тонкого переходного слоя между ними. В связи с этим справедливо отметить, что варьируя химический состав подложки можно изменять характер ее взаимодействия с покрытием, а также состав, структуру и свойства формируемой переходной зоны. Кроме того, можно предположить, что последующее регламентированное термическое воздействие на композит с покрытием в состоянии привести к структурным и фазовым изменениям, которые будут способствовать повышению его прочностных характеристик.

В данной работе исследована микротвердость (HV 0.2) поверхности композитов «борированная сталь – градиентное PVD покрытие TiAlN» после отжига 200 °С, 400 °С и 600 °С в течение 30 и 60 мин. Материалы подложек – стали У8А и 9ХС, предварительно подвергнутые однофазному и двухфазному борированию в порошковой среде «besto-bog».

Установлено, что отжиг при 200 °С не приводит к повышению микротвердости композитов. Напротив, на отдельных образцах микротвердость снижается, что может быть связано со смещением максимума остаточных сжимающих напряжений от поверхности к сердцевине. Отжиг при 400 °С практически не изменяет и незначительно повышает микротвердость композитов с подложками, подвергнутыми однофазному и двухфазному борированию соответственно.

В результате отжига при 600 °С происходит повышение микротвердости для всех композитов с покрытиями на борированных подложках из сталей У8А и 9ХС и тем сильнее, чем больше время

выдержки. Так, после выдержки 30 мин повышение микротвердости поверхности составило до 400 МПа, при выдержке 60 мин – до 1100 МПа. Обнаруженное явление может быть связано с изменением картины распределения напряжений в слоистой структуре и реализацией при отжиге процессов вторичного структурообразования с появлением упрочняющих фаз в покрытии TiAlN при спинодальном распаде твердого раствора и на границе раздела покрытия с подложкой с участием бора и кремния (для стали 9ХС) с элементами покрытия.

УДК 546.77.281

Использование многокомпонентных диффузионных защитных покрытий на сталях с целью повышения жаростойкости

Вейник В.А., Асташаб Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В машиностроении используется много деталей, работающих при высоких температурах в условиях высокотемпературной газовой коррозии и при термоциклических нагрузках: лопатки газовых турбин, газовые горелки, детали печных конвейеров, крепеж, поддоны, теплообменники и т.д. Эти детали требуют использования дорогих высоколегированных сталей для обеспечения комплекса необходимых эксплуатационных характеристик. Создание на поверхности детали диффузионных защитных покрытий позволяет заменить дорогостоящие легированные стали на более дешевые, а также увеличить срок службы детали. Целью работы являлось повышение жаростойкости, термостойкости, термостабильности, увеличение толщины покрытий и повышение их пластичности. Для обеспечения комплекса необходимых эксплуатационных характеристик в алюминидные покрытия часто вводят некоторые легирующие элементы. Иногда вводят частицы инертных окислов с целью свести к минимуму проблему отслаивания. Дефекты покрытия, такие как точечное разьединение, пузыри и трещины, часто устраняют посредством комплексного легирования. Существует большое количество промышленных защитных покрытий. Легирующие элементы могут улучшать некоторые специфические свойства основных алюминиевых покрытий, но полностью подавлять процессы взаимодействия покрытия и металла-основы они не способны, так как система в процессе длительной работы, как правило, претерпевает изменения. Поэтому целесообразно оперировать понятием “диффузионный барьер” (слой, лежащий между покрытием и сплавом, который замедляет взаимную диффузию основных элементов системы). Введение хрома, кремния, иттрия, тантала, молибдена

в алюминиевые покрытия способно замедлить диффузионные процессы. Процессы образования и работы термодиффузионных покрытий в сильной степени зависят от стабильности и массопереноса большинства интерметаллидных фаз. Выбор легирующих элементов осуществлялся на основе литературных данных по объемному и поверхностному легированию, а также по результатам патентного поиска. Анализ патентной информации позволяет расположить легирующие элементы в ряд по частоте их использования: Al, Cr, Si, V, PЗМ(Y), В, Мо, Са. Наиболее исследованными процессами являются хромоалитирование и хромоалюмосилицирование.

В работе исследовано сначала двухкомпонентное насыщение а затем трех- и четырехкомпонентное насыщение. Например, процесс диффузионного хромовольфрамоалитирования стали 08Х18Н10Т проводили при температурах 1100 °С в течение 5 часов в контейнерах с плавким затвором без использования вакуума или защитных атмосфер. Жаростойкость (статические испытания) оценивали по величине изменения массы образцов при температуре испытаний 1100С в течение 100 часов. Максимальной жаро- и термостойкостью обладают комплексные Al-Ta, Al-Ta-Mo ,Al-Cr-Y, Al-Cr-W, Al-Cr-Ta , Al-Cr-W и Al-Cr-Y –Ta покрытия. Легирование алюминидных покрытий позволяет повысить их жаростойкость в 1.1-1.9 раза, а термостойкость в 2-10 раз. Разработанные покрытия могут быть рекомендованы для защиты деталей технологической оснастки в печном оборудовании, газовых горелок, лопаток, газовых турбин и других деталей.

УДК 621.785.5

Влияние низкотемпературного комплексного порошкового диффузионного упрочнения на стойкость инструмента, эксплуатирующегося в условиях завода «Гомсельмаш»

Ситкевич М.В., Ильеня А.В.

Белорусский национальный технический университет

С целью повышения долговечности инструментальной оснастки в условиях термического цеха инструментального производства «Гомсельмаша» проведены работы по применению процессов комплексного азотирования с использованием порошковых смесей, включающих наряду с азотонасыщающими компонентами и борокарбосодержащие добавки. Диффузионное упрочнение металлорежущего инструмента (зенкер $\varnothing 20 \times 145$ мм, развертка $\varnothing 10 \times 195$ мм, метчик М12х80 мм) изготовленного из стали Р6М5 проводилось при 560 °С

1 час. Сравнительные испытания проводились в производственных условиях и оценивались по количеству обрабатываемых деталей и отверстий. Диффузионное упрочнение горячедеформирующих наладок, изготовленных из стали 5ХЗВЗМФС, проводилось при 560 °С 8 часов. Наладки применяются в кузнечно-термическом цеху для горячей штамповки заготовок ножей из стали 45. Сравнительные испытания проводились в производственных условиях и оценивались по количеству отштампованных заготовок ножей. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние диффузионного упрочнения на стойкость инструмента

| Наименование инструмента | Марка стали | Стойкость без ХТО | Стойкость после ХТО |
|--------------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| Зенкер Ø20x145мм | Р6М5 | 90 штук | 180 штук |
| Развертка Ø10x195 мм | Р6М5 | 100 штук | 300 штук |
| Метчик М12x80 мм | Р6М5 | 80 штук | 192 штук |
| Деформирующая наладка | 5ХЗВЗМФС | 2050 штук | 7175 штук |

Из таблицы 1 видно, что стойкость металлорежущего инструмента увеличилась в 2,0; 3,0 и 2,4 раза соответственно, стойкость горячедеформирующих наладок увеличилась в 3,5 раза. Основной причиной выбраковки режущего инструмента является изнашивание по задней и передней поверхности. Для выбраковки наладок принимали отклонение от геометрии отштампованных заготовок сверх допустимых значений в соответствии с технологией их изготовления.

УДК 621.79

Исследование распределения элементов в наплавленных покрытиях, полученных из нитроцементованной проволоки

Стефанович А.В., Мельниченко В.В., Стефанович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Для повышения срока службы ряда изделий, работающих в условиях износа в агрессивной среде применяют наплавленные покрытия, полученные аргонодуговой наплавкой. В качестве присадочного материала при наплавке используют проволоку из коррозионностойкой стали подвергнутой борированию или нитроцементации. При наплавке диффузионные слои взаимодействуют с материалом проволоки образую

структуру, состоящую из дендритов, по границам которых находится эвтектика. При использовании борированной проволоки эвтектика состоит из боридов и аустенита, при использовании нитроцементованной проволоки эвтектика состоит из карбидов хрома и аустенита. При образовании боридов и карбидов в наплавленном покрытии происходит перераспределение легирующих элементов в том числе и хрома, что сказывается на коррозионной стойкости покрытия.

В данной работе представлены результаты распределения элементов в наплавленном покрытии в центре дендрита (спектр 1), на краю дендрита (спектр 2,4) и в центре твердой фазы (спектр 3,5).

Таблица 1– Содержание легирующих элементов в фазах наплавленного покрытия, полученного из нитроцементованной проволоки

| Спектр | C | N | Si | Ti | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Итого |
|---------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| Спектр1 | 0,08 | -0,06 | 0,15 | 0,06 | 9,87 | 0,77 | 77,34 | 11,73 | 0,06 | 100 |
| Спектр2 | 0,07 | -0,07 | 0,21 | 0,05 | 10,74 | 0,56 | 77,04 | 11,28 | 0,12 | 100 |
| Спектр3 | 8,21 | 0,04 | 0,23 | 0,47 | 44,50 | 0,62 | 43,44 | 2,46 | 0,03 | 100 |
| Спектр4 | 0,16 | 0,01 | 0,34 | 0,02 | 10,82 | 0,64 | 75,95 | 11,98 | 0,08 | 100 |
| Спектр5 | 7,87 | 0,14 | 0,28 | 0,38 | 41,14 | 0,17 | 46,71 | 3,26 | 0,05 | 100 |

Распределение хрома между аустенитом и твердой фазой существенно различается (таблица 1): в дендритах содержание хрома почти в четыре раза меньше, чем в твердой фазе и составляет 9,87- 10,82%. Аналогичное распределение и никеля только в обратном порядке: в твердой фазе содержание никеля почти в пять раз меньше, чем в аустените.

Таблица 2 – Содержание легирующих элементов в фазах наплавленного покрытия, полученного из борированной проволоки

| Спектр | C | B | Si | Ti | Cr | Mn | Fe | Ni | Cu | Итого |
|----------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|
| Спектр 1 | 0.07 | 0.13 | 0.49 | 0.09 | 12.74 | 0.52 | 75.48 | 10.40 | 0.08 | 100 |
| Спектр 2 | 0.12 | 0.09 | 0.41 | 0.07 | 14.99 | 0.30 | 74.42 | 9.51 | 0.09 | 100 |
| Спектр 3 | 0.05 | 8.31 | 0.24 | 0.37 | 22.31 | 0.90 | 60.18 | 7.47 | 0.17 | 100 |
| Спектр 4 | 0.06 | 7.95 | 0.51 | 0.41 | 21.77 | 0.44 | 60.70 | 8.07 | 0.09 | 100 |
| Спектр 5 | 0.05 | 8.17 | 0.48 | 0.29 | 21.93 | 0.35 | 60.21 | 8.39 | 0.13 | 100 |

В наплавленном покрытии, полученном из борированной проволоки (таблица 2) содержание карбидообразующих элементов в бориде больше, чем в твердом растворе: титана в 3,2–4,6 раза, хрома в ~1,4-1,7 раза; не карбидообразующего элемента никеля в бориде меньше в 1,3–1,4 раза, чем в твердом растворе. Твердый раствор (аустенит) содержит меньшее количество хрома 12,74 - 14,99%, чем исходная сталь 06Х19Н9Т. Исходя из приведенных данных по распределению легирующих элементов, в

частности хрома, можно отметить, что коррозионная стойкость наплавленных покрытий, полученных из нитроцементованной проволоки будет низкой, так как содержание хрома по сечению дендрита менее 12% (порог перехода стали в коррозионностойкое состояние).

УДК 669.018:621.793

Выбор оптимальных сплавов для матричных составов литых композиционных материалов.

Калиниченко В.А., Зелезей А.Е.

Белорусский национальный технический университет

Для макрогетерогенных композиционных материалов, работа которых в узлах трения основывается на максимальном приближении к идеальному выполнению принципа Шарпи, важную роль играет состав матрицы и армирующего элемента.

Если в качестве армирующего элемента мы привязаны к литейной чугунной дробе марки ДЛЧ диаметром 1 мм, то в отношении состава матрицы мы имеем широкий спектр подходящих материалов которые удовлетворяют поставленной задаче (высокая прочность на сжатие, низкий коэффициент трения и износ). По результатам ранее проведенных испытаний было решено остановиться на кремнистых бронзах. Среди кремнистых бронз (содержание кремния до 3,5%) наибольшее распространение получили бронзы, дополнительно легированные никелем и марганцем, которые улучшают механические и коррозионные свойства.

В кремнемарганцевой бронзе БрКМцЗ-1 добавка 1,0...1,5% марганца практически полностью находится в α -твердом растворе, поэтому полуфабрикаты из этого сплава упрочняющей термической обработке не подвергаются.

Бронза БрКН1-3 относится к числу термически упрочняемых сплавов (см. табл. 1), в которых никель с кремнием образуют силицид Ni_2Si с растворимостью, резко уменьшающейся с понижением температуры. Силицид кремния определяет упрочнение бронзы при старении (450°C, 1 час) после закалки с 850°C.

Бронзы БрКМцЗ-1 и БрКН1-3 отличаются высокими пружинными и антифрикционными свойствами, а также хорошей коррозионной стойкостью. Бронзы технологичны: деформируются в горячем и холодном состояниях, свариваются с другими бронзами и сталью, паяются мягкими и твердыми припоями.

Продукцию из бронзы БрКМцЗ-1 в виде прутков, проволоки, полос, листов и лент различных размеров применяют в приборостроении, в

химическом и общем машиностроении, в морском судостроении для изготовления пружин и пружинящих деталей, металлических сеток, антифрикционных деталей и др.

Литература

1. ГОСТ 18175-78 Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки.

УДК 621. 745

Влияние параметров синтеза на свойства макрогетерогенных композиционных материалов

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Известно [1, 2], что механические и эксплуатационные свойства синтезируемых композиционных материалов напрямую связаны как с качеством исходных шихтовых материалов, так и с особенностями технологии их синтеза. В основу классификации по методам получения положены главные технологические приемы, обеспечивающие окончательное формирование композиционного материала [3].

Классификация дает информацию применения свойствах материала, а главное, о техническом уровне сложности, аппаратурном оформлении, энергоемкости, капиталоемкости и других характеристиках технологического процесса получения изделий из композита, что иногда играет решающую роль с точки зрения их использования для тех или иных целей.

В настоящее время неплохо себя зарекомендовали следующие виды синтеза макрогетерогенных композиционных материалов: термический, литейно-металлургический, порошково-металлургический, индукционного синтеза, методом лазерной и термической наплавки, а также гальванический и метод получения композиционных материалов ионным осаждением из водных растворов.

Данные способы получения композиционных материалов можно разбить на четыре основные группы: материалы, полученные жидко- и твердофазными методами, методами осаждения - напыления и комбинированными методами.

В заключение необходимо добавить, что выбор оптимального параметра синтеза позволяет повысить свойства композиционного материала по сравнению с конструкционным в 2-5 раз при нормальной температуре и до 8 раз при повышенной. При этом свойства напрямую зависят от равномерности распределения армирующего материала в матрице.

Как результат при выборе процесса синтеза композиционного материала необходимо избегать процессов способных нарушить упаковку армирующего вещества и стараться использовать наиболее статичные процессы.

Литература

1. Композиционные материалы. Справочник. – Под ред. В.В. Василева, Ю.М. Гарнопольского. – М.: Машиностроение, 1990. – 570 с.
2. Затуловский С.С., Кезик В.Я., Иванова Р.К. Литые композиционные материалы. Киев. Тэхніка. 1990 - 240 с.
3. Композиционные материалы: Справ. / Под. ред. Д.М. Карпиноса. – Киев, 1985. - 292 с.

УДК 621.01: 536.75

Аддитивные металлургические технологии для производства металлоизделий

Андрушевич А.А., Михович В.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Применение аддитивных технологий заключается в послойном синтезе объекта – изделия по цифровой модели без формообразующей оснастки. Создание изделия происходит путем добавления материала, в отличие от технологий, основанных на удалении его излишков, например, механообработке [1,2]. Их важнейшим преимуществом является единая технологическая цифровая среда (CAD/CAM/CAE), что существенно повышает скорость реализации продукции, снижает стоимость изделий, особенно для малых партий, позволяет создавать сложные детали высокого качества, которые невозможно изготовить по традиционной технологии. Прямое выращивание изделий послойным синтезом возможно в различных агрегатных состояниях и высокоэнергетических процессах с объемной, локализованной и фокусированной зоной поглощения в зависимости от мощности потоков энергии.

Все аддитивные металлургические технологии (AM) разделяются по методу формирования слоя на две основные группы. Первая из них -технология «Bed Deposition» (BD), подразумевающая наличие некоторой платформы, на которой послойно создается материал и изделие путем селективной лазерной обработки порошковых материалов.

Вторая технология «Direct Deposition» (DD) - прямой энергетический метод с непосредственным нанесением слоя жидкого металла. Перспективность AM основывается на ряде преимуществ и позволяет сократить на 30% затраты, связанные с приобретением исходных материалов, повысить

производительность на 25-30%, снизить себестоимость на 30% по сравнению с используемыми технологиями [2].

Представляется актуальным и возможным применение АМ технологий для получения металлических деталей, в частности, из пористых материалов на основе алюминия при производстве сельскохозяйственной техники (фильтры, теплоизоляторы и т.п.).

Литература

1. Чижик С.А. Перспективы развития технологических комплексов аддитивного синтеза композиционных материалов и формообразования изделий / С.А.Чижик, М.Л.Хейфец, С.А.Филатов // Механика машин, механизмов и материалов, 2014, №4(29). С. 68 - 74.

2. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении /М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутьлина. – СПб, 2013.

УДК 669. 714

Модифицирование алюминиевого сплава АК12 наноструктурными материалами

Андрушевич А.А.¹, Дьячкова Л.Н.², Лецко А.И.²

Белорусский государственный аграрный технический университет¹

Институт порошковой металлургии НАН Беларуси²

Литые изделия с мелкокристаллической однородной структурой обладают более высоким уровнем механических характеристик по сравнению с изделиями с крупнозернистой структурой. С целью измельчения структуры и повышения свойств, в процессе приготовления сплавов формирование мелкокристаллического строения обеспечивают в основном введением в расплав специальных добавок – модификаторов. В последнее время для модифицирования все большее применение находят наноструктурные материалы (НМ) в виде активных химических соединений с размерами образований, не превышающими 100 нм.

Успешно опробовано модифицирование НМ промышленного литейного сплава АК12 при литье в песчано-глинистую форму.

В качестве модификаторов использованы ультрадисперсные композиции, полученные методом механически активированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МАСВС) состава: 1. 50% интерметаллид (Ni 30ат%Al)+50%АК12; 2. 50% металл/оксид (Si-Al₂O₃) + 45%АК12 + 5%W; 3. 50% интерметаллид (Fe 35ат%Al)+ 45%АК12 + 5%ZrO₂.

Сплав АК12 готовили в электрической камерной печи сопротивления с графитовым тиглем. Заливку производили при 760⁰С после 10 минут выдержки. НМ вводили в прессованных брикетах из расчета 0,1 % от массы жидкого расплава. Во всех случаях применения НМ отмечалось измельчение микроструктуры и как результат повышение механических свойств. Однако оказалось, что существующий метод ввода модификатора неэффективен, из-за трудности их погружения в расплав без утяжелителя. Анализ полученных результатов показал, что при всех видах обработки расплава наномодификаторами механические свойства превышают требуемые по ГОСТ 1583 - 89.

При этом введение модификаторов несколько повышает значение предела прочности сплава АК12, полученного при обычной заливке. Значения относительного удлинения и твердости оказались существенно более высокими, на 30-35% и 20-25% соответственно, только в случае применения НМ по второму варианту ($\delta = 9,3\%$, 118НВ МПа).

Очевидно, механическое активирование и разрушение оксидной пленки при МАСВС определяет эффективность применения для модифицирования наноструктурных материалов.

УДК 621.762

Методика подготовки образцов на основе титана и нержавеющей стали для испытаний на сдвиг.

Калиниченко М.Л., Александров В.М., Зелезей А.Е
Белорусский национальный технический университет.

Для проведения динамических испытаний на сдвиг клеевых соединений существует методика по ГОСТу 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге, который предусматривает определение статической прочности при сдвиге клеевых соединений листовых металлов при нормальной, пониженной и повышенной температурах [1].

Сущность метода заключается в определении величины разрушающей силы при растяжении стандартного образца, склеенного внахлестку, усилиями, стремящимися сдвинуть одну половину образца относительно другой [1]. Однако если встает необходимость испытать клеевое соединение с двумя и более клеевыми составляющими, то оказывается, что отсутствует качественная методика исследования данных испытаний.

Было предложено производить данный тип испытаний на стандартной разрывной машине при помощи заранее подготовленных приспособлений Рис 1., чтобы приготовленный для испытаний образец был установлен в

зажимы испытательной машины таким образом, чтобы продольная ось совпадала с осью приложения нагрузки и осью зажимных губок.

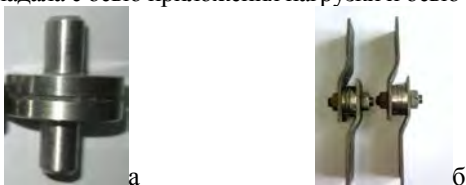


Рис.1 Образцы для испытаний на сдвиг (а -исходный, б –в приспособлении для испытания)

Результаты испытаний на сдвиг представлены на рис.2 При этом на образце 2 были сделаны бороздки, а на 1 нет. Применяемый клей 3М 8805.

Было установлено, что вышеуказанным способом возможно проводить испытания на сдвиг, а так же гладкие образцы имеют прочность на сдвиг на 30% выше чем образцы с нанесенными бороздками.

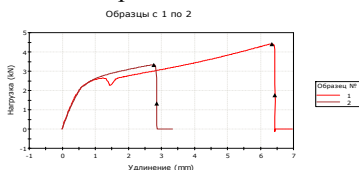


Рис. 2 Данные по испытаниям

Литература

1. ГОСТ 14759-69. Клеи. Метод определения прочности при сдвиге.

УДК 621.762

Замена сварного соединения на клевое при изготовлении щелевого фильтра

Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет.

Щелевой фильтр – это фильтр с щелевыми фильтрующим элементом. [1]. Основой любого щелевого фильтра выступает труба из нержавеющей стали с прорезкой щелей лазерной обработкой.

В результате проведенной работы были подготовлены конструкторские чертежи щелевого фильтра, а так же его 3Д модель, рис.1.



а



б



в

а – щелевой фильтр ЗАО «Факел», б – сборочная схема фильтра,
в – фильтр на клеевой основе

Рис. 1 Щелевые фильтры

Известно, что фильтр после проведения аргоновой сварки имеет ряд недостатков: коробление изделия, размер щелей в некоторых местах уменьшился или вовсе закупорились, при этом для аргоновой сварки нужен сварщик с соответствующей аппаратной базой. Было принято решение заменить сварную конструкцию склейкой. С целью удешевления и упрощения технологического процесса изготовления щелевого фильтра данной конструкции. Для реализации задачи были использованы клеи фирмы ЗМ, уже успешно испытанные ранее [2]. В результате были получены клеевые фильтрующие элементы для проведения промышленных испытаний на базе отдела водоподготовки при ОАО «БелЭнергоРемНаладка».

Литература

1. ГОСТ 26070-83 Фильтры и сепараторы для жидкостей. (Термины и определения). Действует с 01.01.85.
2. М.Л. Калиниченко, В.А. Калиниченко. Сборник научных трудов Х МНТК. Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Минск: ФТИ. 16-18.09.2015. Кн. 2. С. 196-199.

Теория механизмов и машин

Разработка системы виброзащиты токарного станка

Кудин В.В., Дубовская Е.М., Ярош В.И.
Белорусский национальный технический университет

Виброизоляция машин – одно из наиболее действенных средств борьбы с колебаниями конструкций зданий и сооружений, вызываемыми работой машины. Была поставлена цель спроектировать виброизоляцию пятитонного металлорежущего токарного станка ($4\text{ м} \times 1,7\text{ м} \times 1,5\text{ м}$) для уменьшения колебаний, вызванных действием периодической возмущающей силы, поскольку при рабочем режиме в месте его установки возникают вертикальные колебания несущей конструкции с амплитудой 0,14 мм при допустимом значении 0,01 мм.

Проектирование виброизоляции состояло из следующих этапов: подбор основных параметров виброизоляции; определение характерных размеров упругих элементов; выбор расположения виброизоляторов; проверка выполнения условий, наложенных на частоты собственных колебаний изолируемой установки; проверка выполнения требований, которым должны удовлетворять амплитуды вынужденных колебаний изолируемой установки; определение амплитуд возмущающих сил, передающихся на поддерживающую конструкцию.

Для решения поставленных задач была выбрана одномассовая динамическая модель в виде груза массой m , связанного с основанием упругим элементом, жесткость которого c . Трение в модели определялось диссипативным элементом с коэффициентом демпфирования b . На массу действовала сила, изменяющаяся по синусоидальному закону. Были рассчитаны динамические нагрузки на опоры рабочей машины в направлении осей x и y для 13-и положений механизма. Расчет проводился по полученным ранее результатам реактивных нагрузок. После определения значений амплитуд возмущающих сил в направлениях осей x и y , был сделан вывод о гармоническом характере изменения нагрузок, большей амплитуде нагрузки в горизонтальном направлении и было получено уравнение возмущающей силы.

Расчет резинометаллических виброизоляторов показал невозможность их использования для виброзащиты установки. Эффективную виброизоляцию можно было обеспечить, используя одиночные цилиндрические пружины. Был выполнен расчет требуемой жесткости пружин, их количества, материала, среднего диаметра, числа витков, диаметра прутка, степени осадки пружин, высоты ненагруженной пружины и пружины под нагрузкой и других параметров виброизоляторов, спроектировано их расположение, а также осуществлена проверка качества виброизоляции.

Создание портативного виброметра VMAxOne

Анципорович П.П., Авсиевич А.М., Массальский М.И.
Белорусский национальный технический университет

Исследование вибраций и их характеристик является важным аспектом при проектировании машин и механизмов. Вибрации сильно влияют и на долговечность агрегата.

Для изучения вибраций и получения их характеристик используются виброметры. Если вибрирующий объект считать простым осциллятором, то виброметр позволяет получить сведения как о базовых параметрах его колебаний (частота и амплитуда), так и, в некоторых случаях, получить спектральную характеристику колебательного процесса. Виброметр может измерять: виброскорости, виброускорения и виброперемещения. Такие приборы в промышленном исполнении очень дороги для образовательных целей и поэтому их использование целесообразно на крупных производствах. Однако, для студенческих исследовательских работ не всегда нужна дорогая техника, ведь студенту важно получить не качественные и точные данные, а понять суть и принцип происходящего процесса. В данной работе был создан компактный и бюджетный виброметр, который измеряет виброускорения для установок по балансировке валов.

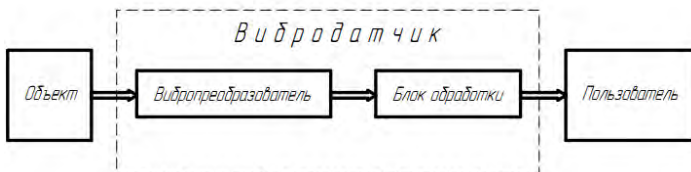


Рис.1

Принцип действия нашего виброметра (см. рис.1) основывается на показаниях точного акселерометра (вибропреобразователь), который крепится к измеряемому элементу (объект). После, данные с вибропреобразователя идут в блок обработки, которым выступает микроконтроллер ATmega328PU. В микроконтроллер загружена специальная программа, которая обрабатывает поступающие с вибропреобразователя значения и применяет к ним математические фильтры по удалению шумов и созданию добротных выходных данных в формате значения ускорения с размерностью $[m/c^2]$. После обработки данных микроконтроллером, информация поступает на компьютер по протоколу передачи данных Wi-Fi. Также реализована возможность хранения информации с устройства в облачных хранилищах для доступа к ней из любой части мира и ее совместного анализа. Устройство в таком случае становится частью Интернета вещей.

Луцко Н.Я., Кавальчук О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Решению актуальной задачи минимизации издержек управления служит организация, использование и оптимизация электронного документооборота, основу которого на машиностроительных предприятиях составляет электронный технический документ. Студенты машиностроительного факультета БНТУ в дисциплине «Информатика» изучают применение ТП Word для эффективного построения, редактирования и форматирования электронного технического документа с использованием технологий структуры документа.

Концептуальные основы излагаются студентам в лекционном курсе. Здесь дается юридическая основа электронного документооборота и электронной подписи, раскрываются принципы существования систем электронного документооборота, разбираются особенности технического документа и технических ГОСТов, требованиям которых он должен отвечать.

Выполнение трех лабораторных работ, инструкции которых представлены в виде алгоритмов, позволяет студенту приобрести навыки загрузки ТП Word; настройки Панелей инструментов; установки режимов отображения непечатаемых знаков, границ рабочей области листа, проверки правописания, автоматической расстановки переносов, задания Параметров страницы и вставки Номеров страниц. Большое внимание уделено построению структуры документа, путем изменения параметров заданных в ТП Word стилей и создания пользовательских стилей. Рассмотрены технологии построения заглавий разделов и подразделов, простого технического текста и вставки в него специальных технических символов. Построены алгоритмы создания и редактирования иллюстраций, таблиц, алгоритмов и их схем. Особое внимание уделено вставке и редактированию различных формул. Проработаны технологии автоматического построения оглавления.

Четвертая лабораторная работа предназначена для закрепления приобретенных навыков в процессе самостоятельной работы студентов. В нее включены разнообразные технические документы из изучаемых студентами предметов «Математика», «Физика», «Теоретическая механика».

В настоящее время к размещению в репозитории готовится учебно-методическое пособие «Электронный технический документ в ТП Word», который, мы считаем, будет полезен не только студентом, магистрантам, аспирантам, но и научным работникам и преподавателям.

Методика физического моделирования привода с предохранительными устройствами повышенной точности срабатывания

Николаев В.А., Олейников Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Для выяснения динамических процессов при срабатывании муфты составлена структурная схема привода с расчлененным предохранительным устройством с упругой обратной связью, расчетная схема этой связи, зависимость деформации нажимных элементов от относительного углового перемещения ведущего звена. На основании вышеизложенного составлена динамическая модель, имитирующая привод машинного агрегата, работающего в наиболее тяжелом режиме – резкого стопорения ведомого вала при номинальных оборотах без нагрузки.

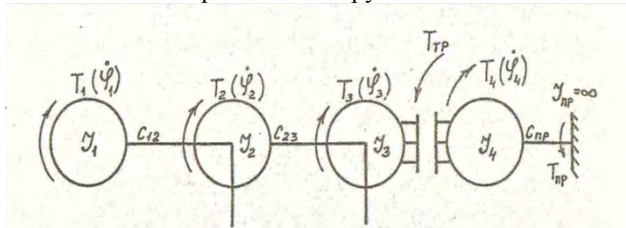


Рис. 1. Динамическая модель привода

На основании динамической модели момент трения в пакете фрикционных дисков определяется начальным его сжатием Q , коэффициентом трения f , числом пар поверхностей трения Z , радиусом трения R_t , установочным радиусом нажимных пружин R_p , углом их наклона α . Существенным в данной методике является наличие динамического момента механизма обратной связи – $I_3\ddot{\phi}_3$. Его влияние зависит от знака углового ускорения $\ddot{\phi}_3$: при разгоне привода $\ddot{\phi}_3 > 0$ динамический момент механизма обратной связи уменьшает усилие сжатия дисков, а при замедлении $\ddot{\phi}_3 < 0$ динамический момент данного механизма действует совместно с силой сжатия дисков Q , догружая их и увеличивая момент трения. Этот фактор следует учитывать при расчете предохранительных устройств. В предлагаемой методике расчета, в отличие от существующих, где в основе геометрических параметров муфты лежит момент трения, определяемый в статике, учитывается скорость нарастания крутящего момента. При стопорении ведомого вала она зависит от угловой скорости вращения и податливости привода от муфты до места возможного заклинивания.

Луцко Н.Я., Кавальчук О.Н., Алейникова О.И.
Белорусский национальный технический университет

Информационные технологии – это процессы, использующие совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления. Информационная технология является процессом, состоящим из четко регламентированных правил выполнения операций, действий, этапов разной степени сложности над данными, хранящимися в компьютерах.

С целью внедрения информационных технологий в учебный процесс и для организации эффективной работы студентов заочной формы получения образования на кафедре «Теория механизмов и машин» в рамках курсов «Информатика» и «Информационные технологии» создана электронная почта: tmm_inform@tut.by.

На почту загружены необходимые студенту-заочнику документы:

- Методические указания и варианты контрольной работы №1 для специальности 1-36 01 03;
- Требования к оформлению контрольной работы;
- Список экзаменационных вопросов 1 курс 1 семестр;
- Образец оформления контрольной работы №1.

Загруженные файлы сохранены с расширением .pdf и защищены от копирования. Студентам предоставлен свободный доступ к материалам, загруженным на электронную почту, с возможностью просмотра и скачивания, путем выдачи пароля к почте.

Студенты могут получить on-line-консультацию, задав вопрос посредством отправки сообщения на электронную почту. При этом сообщение может быть отправлено непосредственно с вышеуказанной почты (для этого достаточно зайти на почту tmm_inform@tut.by, нажать кнопку **Написать** и в поле **Кому** ввести адрес tmm_inform@tut.by) или с личной электронной почты студента. В теме сообщения студент обязан указать номер группы и фамилию с инициалами. Таким образом, сообщение будет просмотрено тем преподавателем, за которым закреплена указанная в сообщении группа. В противном случае сообщение удаляется.

Если у студента-заочника нет возможности посещать назначенные консультации (первая и третья субботы каждого месяца), то он имеет возможность договориться с преподавателем о дополнительных консультациях в удобное для обоих время.

Почта проверяется еженедельно в определенное время.

**Влияние коэффициента трения в фрикционных парах
предохранительных устройств с обратной связью на максимальный
момент срабатывания**

Николаев В.А., Олейников Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Максимальный момент срабатывания предохранительной муфты зависит от режимов работы привода и множества конструктивных факторов. В частности должна быть учтена фактическая скорость нарастания крутящего момента в месте установки предохранительной муфты. Установка муфты на валу с большим крутящим моментом приводит к увеличению габаритов и металлоемкости муфты. В случае, если перенос муфты на вал с меньшим крутящим моментом не возможен, следует изыскать конструктивные решения, направленные на уменьшение габаритов.

Начиная с некоторой, определенной скорости нарастания крутящего момента, значительно превышает момент настройки муфты.

Силовой расчет предохранительных устройств с обратной связью показывает, что усилие предварительного сжатия дисков является главным фактором, определяющим момент срабатывания. Его максимальная величина ограничивается допусковым удельным давлением на материал фрикционных дисков. Основной характерной особенностью устройств с обычной обратной связью является низкая чувствительность к изменению коэффициента трения рабочих поверхностей.

При увеличении коэффициента трения в 3 раза (с 0,1 до 0,3) передаваемый крутящий момент увеличивается только на 11%. Характерной особенностью устройств с обычной обратной связью является то, что начальное усилие сжатия фрикционных дисков значительно превышает усилие при срабатывании. Этот фактор не позволяет эффективно применять фрикционные материалы с большими допусковыми удельными давлениями, но основной их недостаток – невозможность использования в полной мере современных фрикционных материалов, обладающих большим коэффициентом трения. Это объясняется тем, что обычная обратная связь приводит к уменьшению давления на трущиеся поверхности.

Исследования показали, что применение более 14 пар поверхностей трения не эффективно, так как увеличение их с 14 до 20 дает прирост крутящего момента менее 4%. При применении устройств с безынерционной обратной связью происходит раздвоение потока мощности. Тогда на механизм обратной связи действует незначительная часть крутящего момента, что позволяет эффективно использовать фрикционные материалы с большим коэффициентом трения.

Принципы повышения энергоэффективности мобильных машин

Шашко А.Е., Авсиевич А.М., Массальский М.И.
Белорусский национальный технический университет

В данный момент в машиностроении существует проблема повышения экономичности и экологичности мобильных машин. Для этого могут применяться различные технические решения. Одним из них является установка рекуперативных систем на мобильных машинах. В настоящее время существует несколько вариантов рекуперации. Они подразумевают как накопление кинетической энергии в рекуператоре-маховике, так и преобразование энергии торможения в электроэнергию с последующим ее использованием на работу дополнительного оборудования или обратным преобразованием в механическую. Отдельным направлением является разработка мобильных машин с маховичным двигателем, в которых источник электрической или тепловой энергии отсутствует вообще.

В сообществе ученых и инженеров эффективность рекуперации вызывает сомнения в связи с тем, что неизбежное при этом увеличение массы и стоимости машины, появление дополнительных узлов трения приведет к большему расходу энергии, чем будет сохранено. Остаются нерешенными вопросы о применимости той или иной системы на автомобилях различной массы, эффективности ее функционирования при движениях по разного характера маршрутам, в разных дорожных условиях и с разным весом груза. Поэтому актуальной является задача определения критерии эффективности рекуперации кинетической энергии в мобильных машинах в различных условиях.

Вторым направлением разработок, обеспечивающим повышение энергоэффективности машин, является снижение потерь на трение в сопряжениях, что также приводит к уменьшению интенсивности изнашивания. Величины износа сопряжений и общий КПД во многом обусловлены механическими характеристиками и структурно-конструктивными особенностями машин. Поэтому разработка программного продукта для расчета нагруженности локальных участков поверхностей пар трения является актуальной задачей, которая позволит прогнозировать ресурс и энергопотребление проектируемой машины, проводить оптимизацию конструкции. Разработанная компьютерная программа динамического анализа позволяет рассчитать распределение показателей нагруженности (контактных давлений и относительных скоростей) по поверхностям элементов вращательных кинематических пар, спрогнозировать интенсивность изнашивания и определить конструктивные параметры и режимы работы машины, обеспечивающие минимальные потери на трение.

Принципы создания многофункционального беспилотного летательного аппарата типа «квадрокоптер-самолет»

Трифанков Д.В., Ширвель П.И., Муровойко А.В.
Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день, квадрокоптеры вошли в нашу жизнь повсеместно. Они применяются для аэрофотосъемки, в военных целях, для доставки небольших грузов и даже в медицинских целях. Но данные дроны имеют ряд недостатков.

В первую очередь, это ресурс батареи. Современные квадрокоптеры могут продержаться в воздухе в среднем около одного часа. Проблема заключается в том, что аккумуляторные батареи имеют большую массу от чего и приходится жертвовать либо грузоподъемностью, либо временем полета.

Вторая проблема – это грузоподъемность. Ведь данная характеристика зависит от мощности двигателя, и чем мощнее мы ставим двигатель, тем больше возникает проблема с питанием.

Третья проблема – это дистанция между квадрокоптером и пилотом. На сегодняшний день радиус связи, в среднем, составляет около полутора километров, что резко ограничивает область применения данных летательных аппаратов.

Все эти характеристики можно улучшить синтезировав конструкцию квадрокоптера с самолетом. Крылья нового гибридного летательного аппарата, позволят повысить подъемную силу, а так же время полета, поскольку в данном случае тяга винта будет применяться минимально. Следующим шагом будет создание изменяемой геометрии крыла и изменяемых векторов тяги винтов. Это необходимо для того, что бы взлет и посадка были вертикальными, а при полете он мог использовать лишь минимум ресурса батарей. И последним шагом будет – обратная связь. Данную проблему можно решить, если мы заменим традиционные радиоволны (2.4 GHz) на связь посредством сети Интернет. В таком случае дистанция между дроном и оператором будет неограниченной.

При такой конструкции, беспилотной летательный аппарат может использоваться во многих сферах деятельности человека. Это могут быть: поисково-спасательные работы, доставка медицинского оборудования и препаратов (скорая помощь), аэрофотосъемка, коммерческая деятельность.

В век стремительного развития информационных технологий, беспилотные машины должны максимально заменить труд человека в тяжелых и экстремальных условиях, а возможно и решать те задачи, которые непосильны человеку.

Информационные технологии в разделе «Динамика машинного агрегата» курса «Теория механизмов и машин»

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М.
Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Теория механизмов и машин» выполнена плановая НИР «Принципы обучения общетехническим дисциплинам с использованием информационных технологий». Большое внимание в работе уделено курсу «Теория механизмов и машин», который является начальным источником знаний обучающихся в области основ проектирования механизмов и машин и способствует формированию самостоятельного мышления будущего инженера при решении конкретных производственных задач.

В курсе «Теория механизмов и машин», который читается в 4-м семестре, значительное место занимает раздел «Динамика машинного агрегата». Многие задачи этого раздела рассматриваются на практических занятиях и решаются в курсовом проекте, который студенты выполняют в 5-м семестре. Для качественной работы над проектом и облегчения написания пояснительной записки и оформления графической части изданы и размещены в репозитории библиотеки БНТУ учебно-методические пособия, в соответствии с которыми разработаны компьютерные интерактивные программы.

Эти программы используются студентами в компьютерном классе кафедры при работе над курсовым проектом, причем непосредственно на экране пользователь получает подробные инструкции по выполнению всех этапов расчетов и корректировке ранее принятых решений. Динамическое исследование включает в себя определение кинематических характеристик исполнительного механизма, определение динамических характеристик динамической модели машины, динамический синтез машинного агрегата по коэффициенту неравномерности вращения звена приведения, определение закона движения звена приведения. При этом первая часть работы состоит в разработке алгоритмов динамического исследования и выполнении предварительных контрольных расчетов и графических построений. Вторая часть включает в себя компьютерное исследование в диалоговом режиме с выводом на экран дисплея промежуточных и конечных результатов в виде наглядной графической информации. Такой подход дает возможность исследователю творчески осмыслить выбор технических вариантов решения конкретной задачи.

Разработанные компьютерные программы могут быть использованы и при решении конструкторских задач по совершенствованию схем механизмов.

**Методика вибродиагностики объекта виброзащиты
с использованием прибора СД-21**

Кудин В.В., Авсиевич А.М., Карабанюк И.А., Прузан М.А.
Белорусский национальный технический университет

При диагностировании механизмов наибольшее затруднение вызывает определение мест установки датчиков вибрации. Необходимо, чтобы они устанавливались как можно ближе к диагностируемому узлу. Необходимо учитывать способ крепления датчика вибрации и резонансные режимы, наблюдаемые в зоне исследования. Направления оси датчика необходимо ориентировать по линии действия силы, вызывающей вибрационный сигнал (виброперемещение, виброскорость или виброускорение). С целью получения более достоверной информации о динамике изменения вибросигнала рекомендуется датчики устанавливать в двух направлениях: вертикальном и горизонтальном.

Комплекс параметров вибрации практически полностью характеризует техническое состояние работающего механизма привода и, в принципе, позволяет прогнозировать возникновение неисправностей и аварий оборудования.

Основным направлением обработки вибросигналов механизма привода являются совместимое исследование и анализ связей сигналов, характеризующих вибрационное состояние его узла либо деталей.

При анализе колебательные процессы рассматриваются как гармонические. Для их описания достаточно знать частоту, амплитуду и начальную фазу. Так как в реальных условиях динамические процессы в большинстве случаев носят случайный характер, то при обработке и анализе информации целесообразно применять методы теории вероятности и математической статистики. К характеристикам случайных величин относятся: дисперсия, которая характеризует отклонение значения случайной величины от ее математического ожидания; корреляционная функция, показывающая степень статистической зависимости между последовательными значениями случайного процесса; спектральная плотность, описывающая распределение дисперсии колебательного процесса по частотам.

При анализе процессов, близких к полигармоническим, график спектральной плотности представляет собой сумму пиков. Площадь под каждым пиком численно равна дисперсии характеристики колебательного процесса на данном диапазоне частот. В производственных условиях колебательный процесс можно достаточно полно оценить амплитудой, частотой и начальной фазой на данной гармонике внешнего возмущения.

Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент

Современные подходы при цветовой композиции промышленного оборудования

Бабак Т.Н., Яцкевич О.К.

Белорусский национальный технический университет

Цветовая композиция промышленного оборудования влияет на эргономические качества и, опосредовано, на его конкурентоспособность. Считается, что оценка продукта человеком на 90% основана на влиянии цвета. Поэтому цвет широко используется в маркетинге брендов, многие фирмы используют фирменный цвет, это увеличивает узнаваемость торговой марки до уровня 80% (www.colormatters.com). В станкостроении выбор цвета во многом определяется эргономическими требованиями.

Большинство ведущих станкостроительных фирм используют в окрашивании своей продукции оттенки серого, от белого до черного, комбинируя их с одним из ярких цветов. Например, MAZAK, KAAST – с оранжевым, DMG – с бирюзовым, FPS – с желтым, KNUTH, EMAG – с синим, OKUMA, SPINNER – с темно-синим и HAAS – с брусничным. Фирма DOOSAN использовала в цветовой композиции с ахроматическими цветами синий цвет корпуса, добавив ярко-красный цвет надписей. Различные оттенки синего цвета при окраске станков использует OKUMA.

Увеличение спроса на уникальность и персонализацию привело к тому, что более 50% компаний-производителей машиностроительной продукции инвестируют в дизайн. На сегодняшний день крупнейшие рынки промышленного дизайна сосредоточены в США, Китае, ЕС и Японии (см. рисунок). Эти регионы наращивают инвестиции в промышленный дизайн, что составляет около 0,3% ВВП. Согласно корпоративным планам, инвестиции в промышленный дизайн будут повышаться: Европа и США поставили цель до 2020 года увеличить долю инвестиций в ВВП с 2.8 до 3%.



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 |

Анализ методов управления топологией некруглых поверхностей при обработке с совмещенными движениями профилирования и резания

Данилов А.А.

Белорусский национальный технический университет

К компонентам топологии некруглой (многогранной) поверхности, обработанной при совмещении движений профилирования и резания, т.е. движением типа $\Phi_{vs}(B_1B_2)$, относятся ее отклонения δ от номинальной поверхности в виде выступов (не срезанной части припуска). Они образуются при профилировании поверхности методами прерывистого обката и касания из-за точечного контакта формируемых режущими кромками поверхностей резания с номинальной поверхностью детали.

Высота отклонений δ определяется по известной зависимости $\delta = 0,125 b^2(1/\rho_1 + 1/\rho_2)$, где ρ_1 – радиус кривизны профиля некруглой поверхности; ρ_2 – радиус кривизны траектории точки режущей кромки в зоне контакта с образуемым профилем; b – расстояние между соседними точками контакта формирующих кривых с теоретическим профилем поверхности, анализ которой показывает возможность управления топологией поверхности с заданной геометрией (значением ρ_1) за счет уменьшения величины b и увеличения значения ρ_2 .

Расстояние b зависит от числа режущих зубьев инструмента, поэтому при окончательной лезвийной обработке некруглой поверхности следует применять мелкозубые инструменты. Однако возможность увеличения количества режущих зубьев ограничена диаметром инструмента, углом между режущими зубьями и др. В этой связи заслуживает внимания метод повышения точности за счет многократного профилирования поверхности в одном цикле обработки, который может осуществляться кинематическим (за счет кинематики станка) или геометрическим (за счет геометрии режущей части инструмента) методами. Наиболее просто многократное профилирование за один ход обеспечивается при обработке некруглых поверхностей дисковой фрезой с винтовыми режущими зубьями.

Максимальное значение ρ_2 ($\rho_2 = \infty$) имеет место при профилировании некруглой поверхности методом обката некруглым или круглым эксцентрично установленным цилиндрическим инструментом. Профиль поверхности в этом случае не зависит от его диаметра, что позволяет для повышения точности профилирования применять двухпроходную обработку различными инструментами, например, вначале фрезой, а затем на этом же или другом станке шевром или иглофрезой.

Общие принципы синтеза рациональных схем обработки сложных поверхностей резанием

Данилов В.А.

Белорусский национальный технический университет

Синтез схем обработки поверхностей является важным этапом функционального проектирования станка, т.к. допущенные здесь ошибки не могут быть компенсированы при его конструировании и изготовлении. Основные задачи синтеза схем обработки:

- рациональное распределение функции формообразования между инструментальной и кинематической системами станка;
- выбор общей схемы обработки – формы характеристического образа инструмента, траектории его перемещения относительно формируемой поверхности; одноциклового или многоциклового схемы обработки;
- определение структуры и параметров исполнительных движений;
- анализ схемы профилирования поверхности и условий работы режущего инструмента исходя из ее геометрии, точности формообразования и требований к стабильности геометрии резания;
- оптимизация структуры исполнительных движений, например, путем исключения реверсивных и введения дополнительных движений, совмещения движений различного функционального назначения, задания рационального сочетания скоростей и направлений движений и т.п.

Общими принципами синтеза рациональной кинематики формообразования сложных поверхностей резанием являются:

- перенесение функции кинематики формообразования на инструмент, что обеспечивает упрощение кинематики станка и повышение его точности;
- синтез структуры исполнительных движений, обеспечивающей благоприятные условия процесса обработки и работы механизмов станка;
- совмещение исполнительных движений для упрощения кинематической схемы обработки и повышения производительности;
- задание рационального сочетания скоростей и направлений элементарных движений или регулирование их скорости для управления формообразованием, схемой и условиями резания;
- рациональное распределение элементарных движений между исполнительными органами станка исходя из условий обработки, требований к его универсальности и других факторов.

Эффективность процессов глубокого сверления спиральными сверлами

Дечко Э.М., Ивашин Э.Я.

Белорусский национальный технический университет

Ведущими зарубежными фирмами производителями спиральных сверл, SANDVIK, MISUBISHI, GUHRING и др., предлагаются специальные конструкции спиральных сверл из быстрорежущих сталей и твердых сплавов с покрытиями для глубокого сверления, с оригинальными формами режущих лезвий, поперечных сечений, ленточек; с переменными углами винтовых канавок; с двойными-тройными заточками задних поверхностей; подводом СОЖ под высоким давлением с выходом нескольких отверстий различного профиля на задние поверхности и др.

Утверждается, что специальные конструкции спиральных сверл для отверстий глубиной до $40d$ обладают виброустойчивостью, повышенной жесткостью и обеспечивают стабильный отвод стружки из зоны резания. Фирмы SANDVIK и MITSUBISHI, например, предлагают таблицы с рекомендуемыми формами и размерами, типами стружек при сверлении. Однако визуальная оценка типов стружек по таблицам, на наш взгляд, субъективна и во многом зависит от «человеческого» фактора. На кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» БНТУ разработаны принципы интенсификации сверления глубоких отверстий в сталях шнековыми сверлами. Для оценки степени дробления стружек, образующихся при сверлении глубоких отверстий и исключающих периодические выводы инструментов, использовался ситовой анализ. Это позволяет построить гистограммы, кумулятивные кривые, кривые распределения размеров частиц, учесть диапазоны размеров частиц стружек при различных режимах резания и оценить стабильность стружкодробления.

Кроме того, был выполнен анализ уравнений движения стружек в винтовых канавках сверл и установлено, что на условия устойчивого отвода стружки влияют размеры и масса частиц, трение между частицами стружек и сверлом, между частицами и стенками отверстия, угол подъема винтовых канавок; частота вращения сверла; заполнение канавок стружкой. Коэффициенты заполнения стружкой винтовых канавок с различными углами при увеличении скорости резания от 10 до 40 м/мин и $\omega = 35 \dots 60^0$ составляют 1,5...4,0. При толщинах сердцевины сверл $0,5d$ стружка спрессовывалась, изменяла форму и сверло заклинивалось в отверстиях.

Оценка эффективности испытания СОЖ при сверлении

Дечко Э.М., Маркова Е.А., Кучинская А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из резервов повышения производительности обработки металлов резанием является рациональное применение смазочно-охлаждающих средств. Для выявления наиболее эффективной марки СОЖ при глубоком сверлении спиральными сверлами были проведены сравнительные технологические испытания. В качестве основного показателя эффективности СОЖ был использован период стойкости сверла, определяемый временем работы сверла по достижении им максимального износа по задней поверхности $h_3=0,1$ мм. Исследование проводилось при следующих условиях: диаметр сверла из Р6М5– 6 мм ($2\varphi=125^\circ$, $\lambda=12^\circ$), глубина отверстия – 18 мм; обрабатываемый материал – ст45, 12ХН3А, 14Х17Н2; марки СОЖ – МР-2У, Аквол-11, Укринол-1, Эмульсия Т; режимы резания – $V=25$ м/мин, $S_0=0,06$ мм/об. Количество обработанных деталей до достижения износа по задней поверхности сверла $h_3=0,1$ мм представлены на рисунке 1.

В результате анализа результатов испытаний выявлены марки СОЖ, сходные по своим смазочно-охлаждающим свойствам, что позволяет уменьшить их номенклатуру на предприятии за счет группировка свойств по обрабатываемым материалам и режимам резания.

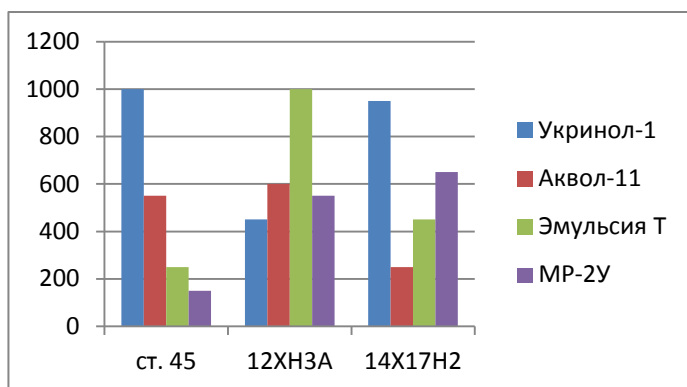


Рисунок 1 – Влияние типа СОЖ и обрабатываемого материала на стойкость инструмента

МКЭ-анализ инерционного демпфирования осевых колебаний крупногабаритного ползуна СФР-станка

Довнар С.С.

Белорусский национальный технический университет

Для белорусского тяжелого сверлильно-фрезерно-расточного (СФР) станка (рисунок 1, а) рассмотрена задача осевого (вдоль Z) демпфирования резонансов крупногабаритного ползуна R. Предложено создать комплект из трех одномассовых колебательных систем (ОКС, рисунок 1, б). Грузы для двух ОКС уже существуют в конструкции станка. ОКС проявляют антирезонансные эффекты и гасят осевую раскачку ползуна.

Виртуальное исследование конструкции проведено с помощью МКЭ. Найдены три осевых резонанса: MS1 (~14 Гц, изгиб стойки), MS3 (~26 Гц, осцилляция ползуна на винте) и M-Ax (~190 Гц, колебания шпинделя на подшипниках). АЧХ показали, что демпфировать нужно MS1 и MS3.

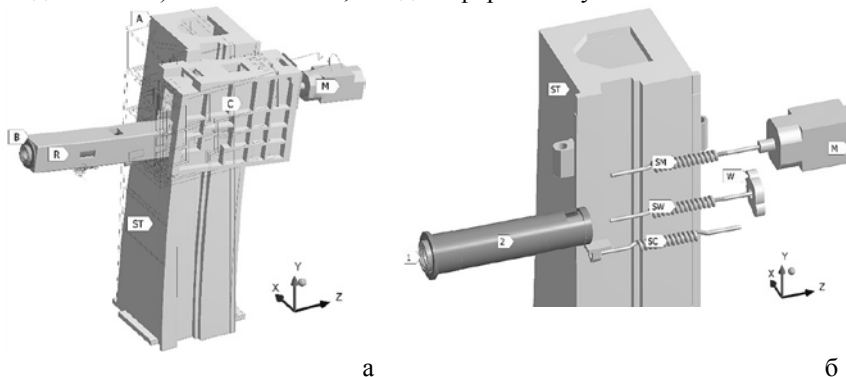


Рисунок 1 – СФР-станок типа «Подвижная стойка» (а; А или ST – стойка; В – шпиндельный узел, со шпинделем 1 и гильзой 2; С – суппорт; R – ползун; М – главный двигатель) и комплект ОКС (б; пружина SM и двигатель М, пружина SW и груз W, пружина SC (осевая ШВП) и вес ползуна R)

Подобраны параметры ОКС «SW – W». Найдены коэффициенты вязкого трения, обеспечивающие оптимальное гашение. Это в пять раз ослабляет пик резонанса MS3. Вдвое уменьшается амплитуда осцилляций по моде MS1. Окончательное блокирование MS1 должна совершать ОКС «SM – M» на базе главного двигателя станка.

Исследование резонансной картины вертикального инверторного станка с помощью МКЭ-анализа

Довнар С.С., Сметанко А.А., Якимович А.М.

Белорусский национальный технический университет, ОАО «МЗЛ»

Для нового белорусского станка проведены виртуальные испытания в статике и динамике с помощью МКЭ. Проведены статический, модальный и гармонический анализы. В диапазоне 30...250 Гц выявлено 12 разнообразных резонансных мод (рисунок 1), способных возбуждать колебания по всем осям станка. АЧХ некоторых представлены на рисунке 2.

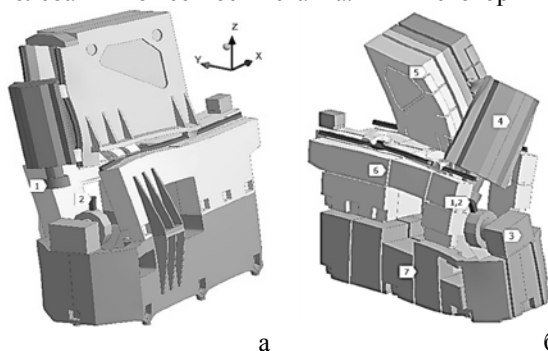


Рисунок 1 – Резонансы станка на частотах 48,7 Гц (а) и 232 Гц (б): 1 – деталь, 2 – инструмент, 3 – револьверная головка, 4 – шпиндельная бабка, 5 – суппорт, 6 – стойка, 7 – станина.

Наибольшие возбуждения наблюдаются по X (рисунок 2), которая критична для точности обработки. На низких частотах (30...70 Гц) возбуждается станок с деталью (линия *X Part E*). На высоких частотах (130...200 Гц) наблюдается серия опасных резонансов для резца и револьверной головки (*X Tool E*). Для гашения раскачек обосновано применение полимербетонного заполнения полостей несущей системы (*X Part C* и *X Tool C*). Одновременно нужно активизировать антирезонансные модули управления в системе ЧПУ.

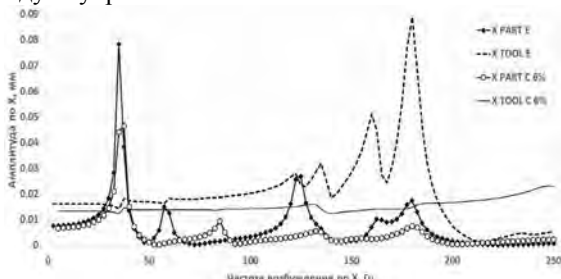


Рисунок 2 – АЧХ станка в радиальном направлении X для детали (part) и резца (tool) в пустотелом (E) и бетонированном (C) исполнениях

Об устойчивости сверла в процессе резания

Ивашин Э.Я., Дечко Э.М.

Белорусский национальный технический университет

Прочность сверла определяет максимально возможные подачи, а значит, и производительность обработки. В процессе резания на рабочую часть сверла действует осевое усилие, вызывающее нормальные напряжения, и крутящий момент, создающий касательные напряжения. Для сверл глубокого сверления необходимо проверка на прочность рабочей части, исходя из определения величины максимально допустимой подачи и продольного изгиба. Этот расчет сводится к нахождению критической силы $P_{кр}$ и сравнении ее с осевой силой P_0 .

При определении критической силы длинное сверло можно рассматривать как предельный случай естественно завитого стержня с шарнирно-опертыми концами. В частности, для шнековых сверл диаметром d , имеющих толщину сердцевины $(0,3...0,5) \times d$ и вылет $L = (20...40) \times d$, связь между вылетом сверла L и предельной осевой силой P_0 может быть выражена формулой:

$$L = \sqrt{\frac{2EK^{1,6}\pi^2 d^4}{(25,6+27K^{1,15}) \times P_0}}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости стали, K – относительная толщина сердцевины сверла. Для шнековых сверл осевая сила P_0 связана с подачей S и диаметром сверла d следующей зависимостью:

$$P_0 = 250 * S^{0,85} d^{0,6}, \quad (2)$$

Подставляя выражение (2) в формулу (1) и преобразуя ее, получаем зависимость для максимально допустимой подачи S_{max} , мм/об, исходя из условий продольной устойчивости шнекового сверла диаметром d , мм, с вылетом L , мм:

$$S_{max} = (7,5 * 10^3) * \sqrt[0,85]{\frac{d^{1,4} K^{1,6}}{(25,6+27K^{1,15}) \times \left(\frac{L}{d}\right)^2}}. \quad (3)$$

Колесников Л.А.

Белорусский национальный технический университет

Направляющие качения для станков выбираются по статической C_0 и динамической C грузоподъемности. Эти величины должны превосходить с некоторым запасом эквивалентная нагрузка, действующую на каретку. Эквивалентная нагрузка $F_{ЭКВ}$ определяется, исходя из комбинированной нагрузки F_{comb} . Для F_{comb} Rexroth предлагает следующую зависимость: $F_{comb} = |F_Y| + |F_Z|$, где F_Y и F_Z – соответственно, боковая и вертикальная компоненты нагрузки. Если сила приложена под углом, то значение нагрузки на каретку будет превышать фактическое значение внешней силы. Наиболее опасный случай, когда сила приложена под углом 45° , тогда значение эквивалентной нагрузки в 1.414 раза превышает фактически действующую силу (рисунок 1, а). Причина такого влияния в том, что нагрузка, действующая на каретку, принимается равной не геометрической, а алгебраической сумме компонентов силы по модулю.

На рисунке 1, б показана зависимость относительного ресурса направляющих в зависимости от направления действия силы. Когда сила действует под углом 45° , ресурс кареток без натяга падает почти в три раза, а с натягом 0.08 или 0.13 – в два раза.

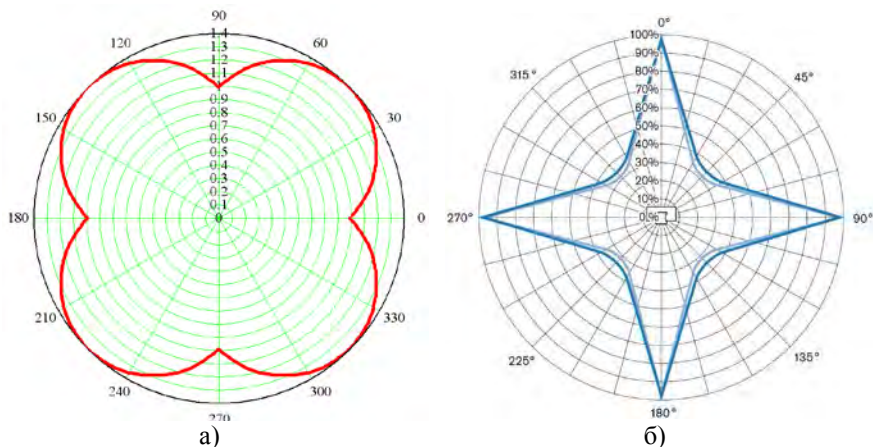


Рисунок 1 – Влияние направления действия нагрузки на эквивалентную нагрузку (а) и на ресурс направляющих (б)

**Автоматизированное проектирование технологических операций,
выполняемых на двухсуппортных токарных станках с ЧПУ**

Орукари Б.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее трудоёмким этапом технологического проектирования является разработка операции, содержание и состав которых при изготовлении одних и тех же детали может быть различным, что приводит к необходимости решения многовариантных задач. При обработке заготовок на токарных станках с ЧПУ, оснащенных двумя суппортами с функцией независимого управления, многовариантность решаемых задач существенно возрастает. Процесс проектирования при этом связан с их поэтапным решением. На первом этапе проектирования технологической операции производится оценка возможности реализации необходимого для изготовления деталей коротежа технологических переходов на данной модели станка с ЧПУ. На следующем этапе решается задача формирования инструментального комплекта для каждой детали. С целью генерации вариантов назначения обрабатывающих инструментов для формообразования отдельных видов поверхностей заготовки сформирована база данных, в которую включены все возможные варианты использования инструментов для получения каждой элементарной поверхности. Размещение кода каждого инструмента в базе данных упорядочено с учетом станкоемкости технологического перехода. Функция независимого управления координатными перемещениями, которой оснащены станки, позволяет обеспечить оптимальное сочетание рабочих и вспомогательных ходов для правого и левого суппортов при их совместной работе. В связи с этим, разработана методика синтеза структуры операции, особенность которой состоит в том, что рассматриваемая операция описывается как система, состоящая из взаимосвязанных компонент. Причем каждая из компонент содержит информацию: элементарная поверхность-обрабатываемый инструмент-технологический переход. На заключительном этапе синтеза структуры операции решается задача установления последовательности выполнения технологических переходов. Варианты реализации технологических переходов по последовательности их выполнения устанавливаются посредством ряда проверок. Дополнительно проводится анализ вариантов режимов обработки из множества допустимых. Окончательный выбор структуры технологической операции производится по критериям, отражающим экономическую эффективность выполнения обработки.

Трибологические свойства легированных покрытий на основе оксида алюминия

Яцкевич О.К., Девойно О.Г., Кардаполова М.А.
Белорусский национальный технический университет

Термодиффузионная обработка керамических материалов на основе оксида алюминия для плазменного напыления выполняется введением в исходный оксидный порошок молибдена и бора. Термодиффузионное насыщение увеличивает адгезию и повышает пластичность покрытий, снижает коэффициент трения при сохранении высокой износостойкости, твердости и коррозионной стойкости. Испытания покрытий проводились на машине трения МТ-1 при линейной скорости вращения истирающего диска 2,3 м/с, нагрузке 30–70 Н, твердости диска 40–45 HRC. Установлено, что наибольшее влияние на значение коэффициента трения и интенсивность износа керамических покрытий со стальным контртелом оказывает как соотношение фаз оксида алюминия с кубической (γ) и гексагональной (α) кристаллической решетки, так и содержание молибдена и бора. Показано, что наименьший коэффициент трения в условиях сухого и смешанного трения может быть получен для составов с содержанием молибдена 6–8% и бора 8–10% в исходном порошке.

Анализ интенсивности изнашивания при различных режимах показал, что покрытия Al_2O_3 -Мо с оптимальным содержанием молибдена 6–8% проявляют наибольшую износостойкость при низких скоростях в паре трения и высоких нагрузках 35–45 МПа. В свою очередь, при низких нагрузках в паре трения 10–30 МПа и скоростях более 10 м/с рекомендуется применять покрытия Al_2O_3 -В с содержанием бора 8–10%.

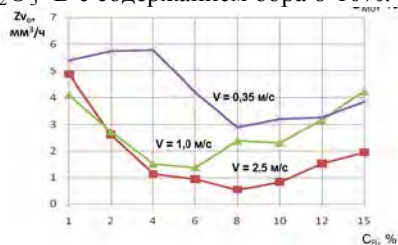
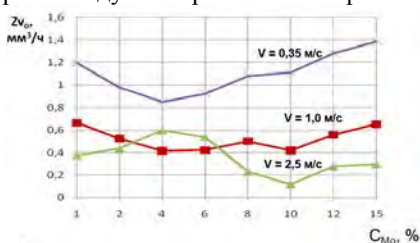
а) Al_2O_3 -Моб) Al_2O_3 -В

Рисунок 1 – Износ покрытий на основе оксида алюминия, модифицированного различными легирующими элементами

**Экономика и организация
машиностроительного
производства**

Формирование расчетных норм конструкторской подготовки производства

Адаменкова С.И., Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Значительный удельный вес в затратах на подготовку производства новой машины занимают затраты на конструкторскую подготовку производства. В структуре затрат Управления Генерального конструктора ОАО «АМКОДОР» преобладают расходы по оплате труда. Отнесение сумм ФОТ конструкторов основных конструкторских бюро (КБ) на конкретные модели новой техники обосновывает руководитель КБ, распределяя отработанное каждым конструктором время по моделям техники. Этот процесс носит формальный и субъективный характер, так как в его основе нет надлежащего учета и полностью отсутствует нормативная база трудоемкости конструкторских работ. Для проведения укрупненного нормирования трудоемкости работ КБ УГК по созданию новой техники необходимо выполнить следующее: исходя из стратегии развития предприятия, принять на уровне руководства и учредителей принципиальные решения по длительности технической подготовки производства машин разных типов; в рамках принятой длительности всей технической подготовки производства машины конкретного типа определить длительность отдельных стадий; по ходу конструкторской подготовки производства (КПП), установить усредненные соотношения (в%) трудоемкости основных этапов КПП техники; в рамках основных этапов конструкторской подготовки производства выделить комплексы конструкторских работ и установить нормативы трудоемкости их разработки, а также нормативы численности конструкторов для выполнения комплекса работ; принцип выделения комплекса работ основных КБ - на протяжении конкретного комплекса работ КБ работает автономно и не зависит от работы других конструкторских КБ УГК.

Нормативная трудоемкость комплекса конструкторских работ ($T_{ни}$) определяется как произведение нормы численности конструкторов ($Ч_i$, человек/комплекс), занятых работой над проектированием машины на конкретном комплексе КПП, на длительность (D_i , в месяцах) для УГК комплекса работ и на месячный фонд рабочего времени конструктора (F_m). Нормирование комплексов конструкторских работ КБ позволит планировать реальную загрузку конкретных конструкторов и КБ, оптимизировать календарные план-графики работы УГК над созданием новых моделей машин на протяжении планового временного периода.

Влияние состояния системы логистики промышленного предприятия на его инвестиционную привлекательность

Бутор Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Система логистики является одной из главных обеспечивающих подсистем функционирования промышленных предприятий и оказывает прямое и непосредственное влияние на эффективность производственной деятельности, на себестоимость производимой продукции, на сроки выполнения заказов.

Инвестиционная привлекательность является косвенным параметром, позволяющим с достаточной степенью достоверности определить общую эффективность деятельности промышленного предприятия. Чем выше по сравнению с аналогичными предприятиями инвестиционная привлекательность конкретного хозяйствующего субъекта, тем более эффективна его деятельность, и тем более продуктивно работают все производственные и вспомогательные системы.

Наиболее типичными показателями логистической эффективности являются: оборачиваемость запасов, рентабельность собственного капитала, рентабельность логистических затрат, рентабельность инвестиций в логистические мощности, прямая прибыльность продукции, доля логистических издержек в продажах, логистические издержки на рубль зарплаты.

В рамках анализа действующих методов и принципов управления системами логистики важно определять пространство целей управления, на основании которого составляются функциональные портфели и распределяется ответственность в процессе совершенствования системы логистики промышленного предприятия. Само пространство целей системы логистики промышленного предприятия должно строиться на основании набора параметров, отражающих специфику управления системами такого типа.

Использование такой модели позволяет обеспечить требуемый уровень инвестиционной привлекательности за счет манипулирования показателями состояния системы логистики промышленного предприятия.

Применение критерия инвестиционной привлекательности для совершенствования системы логистики является оправданным только при наличии стратегии развития, направленной на повышение эффективности бизнес-процессов.

Экономико-математическое моделирование протекания процесса транспортного обслуживания промышленных предприятий

Бутор Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших задач системы оптимизации грузоперевозок является проектирование транспортной сети, позволяющей формировать транспортные маршруты между заданными наборами пунктов доставки грузов таким образом, чтобы себестоимость их реализации была наименьшей по сравнению с другими возможными маршрутами и соблюдались заданная очередность транспортного обслуживания.

Общий алгоритм создания модели транспортных потоков: 1) моделирование спроса; 2) моделирование сети; 3) анализ параметров транспортных средств; 4) расчет нагрузки на участки сети; 5) конфигурация маршрутов и параметров транспортного потока; 6) анализ и прогноз информации.

Задача заключается в моделировании элементов системы для нахождения потребности в транспортных и погрузочно-разгрузочных средствах, обеспечивающей оптимальную надежность процесса перевозок.

В качестве критерия оптимальности принимается минимум потерь суммарной производительности транспортных средств и обслуживающих механизмов. Данный критерий, используя показатели замкнутой модели массового обслуживания, можно представить в виде

$$\Pi = \frac{\lambda_i(M_{1n} + M_{1p})}{m} + \mu_1 N_{n1} + \mu_2 N_{n2} \rightarrow \min$$

где λ_i – параметр потока требований, создаваемый i -ым транспортным средством в единицу времени; M_{1n} , M_{1p} – среднее число автомобилей, простаивающих в ожидании соответственно на пунктах погрузки и разгрузки в единицу времени; μ_1 , μ_2 – интенсивность обслуживания соответственно погрузочными и разгрузочными механизмами; N_{n1} , N_{n2} – среднее число соответственно простаивающих погрузочных и разгрузочных средств.

Экономико-математическая модель с программной реализацией позволяет в каждом конкретном случае обосновать потребность в транспортных и погрузочно-разгрузочных средствах, рассчитать и предложить кратчайший путь для маршрута следования автомобиля, а также рассчитать временные параметры возможного процесса перевозки грузов.

Аутсорсинг во вспомогательном производстве

Василевич В.И.

Белорусский национальный технический университет

Главным источником экономии затрат с помощью аутсорсинга является повышение эффективности предприятия в целом и появление возможности освободить соответствующие организационные, финансовые и человеческие ресурсы, чтобы сконцентрировать усилия на выполнение основных функций предприятия.

Повышение эффективности работы машиностроительных предприятий возможно при широком развитии аутсорсинга во вспомогательном производстве. Важнейшим резервом экономии расходов на обслуживание основного производства является сосредоточение вспомогательных процессов на крупных специализированных предприятиях, изготавливающих инструменты, тару, запасные части, выполняющих строительно-монтажные и ремонтные работы. Здесь является перспективным создание не только внутриотраслевых, но и крупных межотраслевых специализированных вспомогательных производств, особенно инструментальных, ремонтных и тарных.

Централизация и специализация инструментального, ремонтного и других вспомогательных производств развита слабо на данном этапе, что сдерживает развитие конкурентоспособности основного производства.

Основными путями снижения стоимости и повышения качества ремонтов являются: обеспечение на основе аутсорсинга потребности предприятий запасными частями для ремонта, централизации выполнения ремонтных работ, оказание услуг по техническому обслуживанию оборудования. Например, высокая эффективность специализированного производства запасных частей обеспечивается тем, что изготовление их в условиях завода обходится в 3-5 раз дороже отпускной цены специализированного предприятия.

Развитие аутсорсинга в инструментальном производстве также является необходимым объективным условием повышения эффективности производства на предприятиях промышленности.

Только для самых крупных предприятий рационально иметь инструментальные цехи, а остальные, более мелкие предприятия не должны иметь инструментальных производств и их потребности должны удовлетворять специализированные инструментальные заводы на основе аутсорсинга.

Применение таргетинга на рынках продукции промышленного назначения

Глубокий С.В., Бузук В.В.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня маркетологи все больше переходят от методов массового и дифференцированного маркетинга к технологии целевого маркетинга (таргетинга), который помогает им полнее выявлять имеющиеся маркетинговые возможности.

Для каждого целевого сегмента или даже узкой рыночной ниши предприятие может разработать адекватный вариант товара или услуги. Для обеспечения эффективного охвата сегмента маркетологи могут варьировать цены, каналы сбыта, рекламные усилия.

Таргетинг требует проведения трех основных мероприятий:

- 1) сегментации рынка;
- 2) выбора целевых сегментов и узких рыночных ниш;
- 3) позиционирования товара на сегментах рынка или рыночных нишах.

С сегментацией тесно связана такая маркетинговая процедура как позиционирование – установление и объявление позиции продукта на рынке, то есть его положения в ряду конкурирующих торговых марок в данной товарной категории. Реализация стратегии позиционирования тесно связана с процессом создания положительного имиджа марки в целом и демонстрации потенциальному потребителю конкретных преимуществ товара или услуги по сравнению с конкурентными аналогами. Последнее действие иногда рассматривают как отдельную методику таргетинга, предполагающего целенаправленную работу в небольших сегментах рынка.

В ходе дифференциации маркетолог инициирует создание отличительных признаков продукта, которые будут востребованы рынком. Маркетер доводит до потребителя соответствующую информацию, акцентируя внимание не на всех характеристиках продукта, а именно на этих существенных отличиях (при таргетинге – на признаках, привлекательных для узкого целевого сегмента).

Основным инструментом таргетинга становится морфологический ящик в виде сетки сегментации – многомерной таблицы, где каждому сочетанию характеристик продукции промышленного назначения соответствует тот или отраслевой сегмент рынка.

**Взаимосвязь оплаты труда с интенсивностью работы
конструкторского бюро**

Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из существенных проблем отечественного машиностроения является наличие определенного отставания от мировых тенденций развития отрасли за счет более длительных сроков технической подготовки производства новых моделей техники. Так, например, на смену базовой модели ковшового погрузчика у ведущих европейских и американских производителей уходит 3-4 года, а у ОАО «Амкодор» - 5–7 лет.

Ускорить конструкторскую подготовку производства новой техники на машиностроительных предприятиях республики возможно за счет прямой увязки материального стимулирования конструкторов с интенсивностью их труда (с учетом опережения роста производительности труда по отношению к его оплате).

Для объективной оценки уровня интенсивности работы конструкторов необходимо прежде всего разработать и внедрить плановые нормы трудоемкости конкретных видов конструкторских работ (Тпл), что позволит планировать как трудоемкость, так и загрузку конструкторских бюро (КБ) на период (месяц, квартал, год).

Оценка фактической загрузки работников основных конструкторских бюро может быть произведена путем расчета коэффициента интенсивности работы КБ в периоде (Ки, в %) по формуле

$$Ки = (Тф/Тпл) * 100,$$

где Тф – нормативная трудоемкость работ, фактически выполненных сотрудниками КБ в периоде, в нормо-чел.-часах; Тпл – нормативная трудоемкость плановых работ сотрудников КБ в периоде, в нормо-чел.-часах. (Тф и Тпл рассчитываются исходя из установленных на предприятии дифференцированных норм).

Если расчетный коэффициент (Ки) интенсивности работы в периоде: больше 100%, то основное КБ работало с повышенной интенсивностью; равен 100%, то основное КБ работало с плановой интенсивностью; меньше 100%, следовательно, сотрудники КБ были недозагружены.

Увязка размера премии конструктора с ростом интенсивности его труда явится существенной мотивацией для ускорения конструкторских разработок и роста объемов выполняемых конструкторским бюро в отчетном периоде работ по созданию новой машиностроительной техники.

**Оптимизация структуры капитала как инструмент санации
промышленного предприятия**

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Современный экономический анализ является существенным инструментом санации промышленных предприятий. Оптимизация структуры капитала невозможна без использования методов экономического анализа, которые позволяют выбрать решения, в наибольшей степени связанных с эффективной работой. Решать такие задачи необходимо с помощью математических методов оптимизации. Одним из этих методов является математическое программирование, включающее в себя как частный случай нелинейное программирование.

Рассмотрим более подробно модель по оптимизации структуры капитала предприятия. В данной модели при постановке задачи будут не рассматриваются макроэкономическая ситуация в республике, которая отражается на функционировании предприятия, отраслевая принадлежность, конкретная область деятельности, специфика и размер предприятия.

Управляемые параметры модели – данные из форм статистической отчетности, на основании которых делается вывод о финансовом состоянии предприятия: оборотные активы, краткосрочные обязательства, резервы предстоящих расходов, капитал и резервы, внеоборотные активы, валюта баланса, долгосрочные обязательства, краткосрочная просроченная кредиторская задолженность, долгосрочная просроченная кредиторская задолженность. Ограничение модели - отсутствие неположительных значений. В целевой функции отражены коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами и коэффициент обеспеченности финансовых обязательств предприятия активами. Величина, обратная произведению этих коэффициентов, должна быть минимальной, так как характеризует степень платежеспособности предприятия. Применяв разработанную математическую модель для оценки платежеспособности КУП «Чериковская ПМК № 280», получены оптимальные значения управляемых переменных, которые сделают структуру бухгалтерского баланса удовлетворительной, а предприятие платежеспособным.

Таким образом, оптимизация структуры капитала, позволяет установить приемлемые пропорции использования собственного и заемного капитала, а так же обосновать необходимость привлечения дополнительного внутреннего и внешнего капитала.

Прогнозирование несостоятельности (банкротства) промышленного предприятия Республики Беларусь

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Банкротство промышленного предприятия является результатом финансовой неустойчивости, к которому приводит отсутствие платежеспособности предприятия.

За период с 2004 г. по 2013 г. в Республике Беларусь общее количество дел о банкротстве, находящихся в производстве хозяйственных судов Республики Беларусь увеличилось с 744 до 1629 дел. Такая тенденция вызывает необходимость систематического прогнозирования несостоятельности (банкротства) промышленных предприятий Республики Беларусь.

Для того чтобы оценить влияние результативных показателей финансово-хозяйственной деятельности на уровень убыточности предприятий Республики Беларусь необходимо установить зависимости между показателями функционирования предприятий, то есть разработать механизм управления экономической состоятельностью.

Для выявления формы и вида такой зависимости используется корреляционно-регрессионный анализ, который позволяет не только оценить влияние факторов, но и вывести уравнение зависимости от изучаемых факторов, которое можно использовать и для анализа, и для прогнозирования.

Проведенная статистическая оценка промышленных предприятий Республики Беларусь за период с 2004 по 2014 гг. показала, что вероятность наступления банкротства зависит от: агрессивности внешней и гибкости внутренней среды предприятия; структуры собственного и заемного капитала; соотношения дебиторской и кредиторской задолженности; скорости оборачиваемости оборотных средств; уровня эффективности производственного процесса, которая связана с вложением средств в каждый производственный цикл.

Если предприятие в состоянии профинансировать все последующие производственные циклы, то его с некоторой степенью условности можно считать экономически состоятельным по факту хозяйствования.

Учет и непрерывное наблюдение за тенденциями развития данных показателей в целях отслеживания их увеличения или спада обеспечит высокую гарантированную достоверность выявления экономической несостоятельности и банкротства предприятия на ранней стадии.

Ивашутин А.Л., Хрусталёв С.Б.

Белорусский национальный технический университет

Риски, связанные с использованием иностранных инвестиций на предприятиях, зарегистрированных на территории Беларуси, многообразны. Но существует специфический риск, величина которого зависит от величины мультипликационного эффекта, который создают иностранные инвестиции в национальной экономике. Вопросам оценки и прогнозирования этого эффекта посвящено несколько авторских работ. Для оценки же влияния мультипликационного эффекта на риски необходимы дополнительные исследования.

Как и в любом инвестиционном процессе при использовании иностранных инвестиций существует классическая дилемма соотношения между эффективностью и риском. Она проявляется применительно к трем основным субъектам: национальному правительству, иностранному инвестору, предприятию-реципиенту на территории страны.

Более высокая общая мультипликация, с одной стороны, выгодна национальному правительству. Но выход иностранного инвестора из бизнеса может привести к большим потерям в национальной экономике из-за высокого мультипликационного эффекта. Мультипликация на первом шаге выгодна и иностранному инвестору. Однако он не имеет доступа к общему уровню мультипликации с точки зрения получения дополнительных доходов. При высоком уровне мультипликации существует высокая зависимость данного предприятия или данной отрасли от предприятий или отраслей-поставщиков материальных ресурсов, и любые проблемы в их деятельности в конечном итоге при большой мультипликации существенным образом отразятся и на рассматриваемом предприятии-реципиенте.

Все это свидетельствует о повышенных рисках при использовании иностранных инвестиций. Поэтому данные об общей мультипликации на самом деле должны учитываться иностранным инвестором с точки зрения рисков и объемов инвестиционных вложений в белорусскую экономику. Количественные значения этой мультипликации, по нашему мнению, позволяют принимать более качественные инвестиционные решения.

Логика оценки рисков предприятиями-реципиентами схожа с оценкой иностранных инвестиций национальным правительством: чем выше уровень мультипликации, тем выше риски и возможные потери для предприятия при выходе иностранного инвестора из бизнеса.

Длительность производственного цикла как инструмент повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий

Карпенко Е.М.

Белорусский государственный университет

Рынок машиностроительной продукции является высоко конкурентным. Общеизвестный факт, что основными параметрами, определяющими способность товара побеждать в конкурентной борьбе, являются наилучшее качество при фиксированной цене или минимальная цена при фиксированном качестве продукции.

Вместе с тем, в настоящее время, потребитель становится все более разборчивым, а продукция все более сложной. Потребитель желает получать гарантийные обязательства не только продавцов товаров, но и гарантии предприятий-товаропроизводителей.

Возникает необходимость максимального сокращения времени от момента получения индивидуального заказа от потребителя до получения им уже готового товара. Таким образом, третьим важнейшим источником конкурентного преимущества наряду с ценой и качеством становится время изготовления (длительность производственного цикла).

Сокращение необходимо осуществлять одновременно по двум направлениям: уменьшить рабочий период цикла и полностью ликвидировать или свести к минимуму различные перерывы. Все практические мероприятия по сокращению длительности производственного цикла вытекают из принципов построения производственного процесса, в первую очередь из принципов пропорциональности, параллельности и непрерывности.

Сложный производственный процесс обычно состоит из большого числа сборочных, монтажных, регулировочно-настроечных операций, операций простых процессов, поэтому определение и оптимизация производственного цикла требуют не только больших затрат времени, но и нередко применения ЭММ для выполнения расчетов.

Построение сложного производственного процесса во времени осуществляется для того, чтобы скоординировать выполнение отдельных простых процессов, получить необходимую информацию для оперативного-календарного планирования и расчета опережений запуска-выпуска предметов труда.

Целью координации производственных процессов является обеспечение комплектности и бесперебойности хода производства при полной загрузке оборудования, рабочих мест и рабочих.

Использование «домов качества» при оценке качества продукции предприятий

Карпенко В.М., Петрович Н.Д.

Белорусский государственный аграрный технический университет

В практике машиностроительных предприятий широко используются традиционные методы контроля и оценки качества продукции: гистограмма (применяется для анализа значений измеренных параметров, но может использоваться и для расчетных значений); диаграмма Парето; диаграмма рассеяния; контрольные карты; причинно-следственные диаграммы (диаграммы Исикавы); метод расслоения (стратификации) данных; функция потерь Тагучи. Расслоение позволяет получить представление о скрытых причинах дефектов, а также помогает выявить причину появления дефекта, если обнаруживается разница в данных между «слоями».

Основным недостатком всех указанных инструментов является то, что они рассматривают причинно-следственные взаимосвязи только в пределах двух смежных иерархических уровнях, что не позволяет управлять потерями в реальном масштабе времени.

Одной из наиболее эффективных методик в области планирования качества является структурирование (развертывание).

Основным инструментом СФК является таблица, получившая название «Дом качества». В ней отображается связь между фактическими показателями качества (потребительскими свойствами) и вспомогательными показателями (техническими требованиями).

Этот метод позволяет устанавливать логические причинно-следственные взаимосвязи между неограниченным количеством иерархических уровней. Возникают предпосылки формирования управленческого воздействия задолго до того как нежелательные последствия станут очевидными. Важно точно определить момент начала управленческих действий, чтобы с одной стороны нежелательные процессы не стали бы еще необратимыми, с другой стороны, чтобы организацию не штормило, от слишком частых управленческих изменений. Такой метод позволяет принимать обоснованные решения по управлению качеством процессов. При этом удается избежать корректировки параметров продукта после его появления на рынке, а следовательно, обеспечить одновременно относительно низкую стоимость (за счет сведения к минимуму непроизводственных издержек) и высокую ценность продукта.

Проектирование кластера: причины ошибок в выявлении кластерных структур

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс проектирования кластера начинается с выявления наиболее перспективного направления экономической деятельности. Для этого различные отрасли проверяются на соответствие рыночному объединяющему фактору. Затем предприятия выбранного направления проверяются на наличие объединяющих факторов, потому что, несмотря на перспективность всего направления, отдельные компании могут не соответствовать условиям включения в кластер. В этом случае, анализируются причины, которые могли бы изменить ситуацию и усилить действие объединяющих факторов на данном предприятии, которое включается резерв проектируемого кластера.

После первоначального отбора субъектов хозяйствования, проектируются связи между ними и оценивается экономическая эффективность кластера.

Принципиальное отличие предлагаемого алгоритма от существующих, состоит в том, что первоначально отбираются предприятия, которые способны использовать преимущества кластера для повышения эффективности своей деятельности, а лишь затем проектируются связи между ними и оценивается экономическая эффективность. Большинство существующих подходов к проектированию агломератов сводятся к попытке моделирования хозяйственных связей между предприятиями, не учитывая наличие или отсутствие объединяющих факторов, без которых кластер не может быть эффективным и устойчивым .

То есть существующие подходы к проектированию кластеров, практически, игнорируют, необходимость наличия высокой организационной культуры на предприятии и мотивации к поиску новых средств повышения эффективности производства. Предприятия рассматриваются как совокупности оборудования, технологии, транспорта и площадей. Предполагается, что достаточно объявить выбранные предприятия кластером и они будут вести себя как кластер. Но этого не происходит. В предлагаемом алгоритме выбираются предприятия и компании, которые готовы к кластерным отношениям и которых изменение рыночной ситуации стимулирует к созданию кластеров. Для этого отбираются предприятия соответствующие объединяющему фактору синергии и рыночному фактору.

Оценка экономической эффективности кластера

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

При традиционном подходе к оценке эффективности кластера рассчитывается максимальная экономия, получаемая вследствие агломерации.

Однако на практике не все предприятия могут использовать преимущества кластера. Поэтому часто расчеты оказываются неверными, и объединение предприятий в кластер не дает рассчитанного экономического эффекта.

При предлагаемом подходе к проектированию структуры кластера, выбираются предприятия, которые смогут использовать преимущества этого агломерата, поэтому расчетные показатели экономии близки к реальным, хотя и носят оценочный характер.

Оценка эффективности кластера необходима для сравнения предлагаемых кластерных структур и выбора оптимального варианта.

Расчет эффективности осуществляется по трем направлениям, соответствующим трем объединяющим факторам. Фактору синергии соответствует снижение издержек, экономия ресурсов, ускорение внедрения инноваций.

Определение синергетического эффекта от снижения текущих издержек, экономии затрат является практически наиболее важным, сокращение расходов представляет собой надежный источник синергетического эффекта; этот показатель наиболее вероятен в достижении и его значительно легче измерить.

Суммарный показатель экономии операционных издержек определяется по формуле:

$$СЭОП = СЭзак + СЭиннов + СЭобор$$

где СЭзак – показатель экономии затрат при закупке сырья, материалов, продукции, услуг за счет скидок к закупочным ценам в связи с увеличением объемов; СЭиннов – показатель экономии при внедрении инноваций за счет централизации разработок, ликвидации дублирующих участков, оптимизации использования информации; СЭобор – показатель синергетического эффекта от оптимизации загрузки производственного оборудования и увеличения выпуска продукции:

Данный показатель экономии рассчитывается для всех предприятий, входящих в кластер.

Анализ структуры затратного механизма обновления технических систем

Королько А.А., Королько А.С.

Белорусский национальный технический университет

Материальной основой изменения затрат и результатов производства является кругооборот основных средств, основным элементом которого является кругооборот орудий труда, характеризующий степень обновления оборудования и во многом обуславливающий 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 антитратного механизма процессов обновления и развития технических систем.

В условиях высокоцентрализованной системы управления использование амортизационного фонда для накопления и расширенного воспроизводства средств труда послужило одной из основных причин замедления их кругооборота и увеличения доли изношенного оборудования. В результате нецелевого использования амортизационного фонда заметно вырос износ оборудования. При этом средний срок службы оборудования составил 25 и более лет, что привело к существенному росту издержек⁴ производства продукции. Как показали исследования, расходы на содержание и эксплуатацию одного устаревшего станка на 30-40% в год больше, чем на содержание аналогичного нового. Причем затраты на ремонт физически и морально устаревшего оборудования в 3 раза превышают капитальные вложения в новую технику.

Проведенный анализ позволяет сформулировать основные атрибуты затратной направленности хозяйствования в целом и процессов обновления технических систем в частности. К основным факторам роста затрат общественного труда можно выделить следующие: замедление кругооборота средств производства; преимущественное использование амортизационного фонда для нужд расширенного воспроизводства; затратная методология ценообразования; механизм развития технического потенциала безразличной к эффективности производственно-хозяйственной деятельности; рост запасов и дефицит материальных ресурсов и др.

Основные направления формирования эффективности технических систем в условиях рыночных отношений

Королько А.А., Королько А.С.

Белорусский национальный технический университет

Общей закономерностью развития технических систем является их дальнейшее усложнение, в связи с этим усложняется проблема обеспечения их надежности и долговечности. При этом требования, предъявляемые к уровню надежности, также возрастают, поскольку потери вследствие отказа технической системы адекватны степени ее сложности. Усложняются также процессы создания и освоения производства новой техники, увеличивается их трудоемкость и материалоемкость, фондовооженность и сложность управления. Эти и другие явления, характерные для периода ускоренного развития научно-технического прогресса, обостряют проблему качества продукции.

Так, нередко случаи, когда создаются и осваиваются в производстве новые модели, а рост цен на них опережает увеличение их производительности, что приводит к увеличению фондоемкости и снижению фондоотдачи. В отраслях, применяющих такую продукцию с высоким техническим уровнем, ее параметры во многих случаях недоиспользуются.

Причиной этих и других явлений в большинстве случаев следует считать превалирование технического подхода к определению качества технических систем производственного назначения. Мероприятия по улучшению качества нередко сводятся лишь к повышению технического уровня новой техники, забывая про другие показатели, определяющие качество продукции. Такая трактовка качества технических систем недостаточно ориентирует создателей новой техники на улучшение конечных результатов и применения и слабо увязана с задачами повышения конкурентоспособности продукции.

Технические системы, являясь элементом производительных сил, находятся в диалектическом единстве с системой производственных отношений. Влияние производственных отношений на уровень экономической эффективности технических систем требует более детального исследования. При этом важно определить основные причины хозяйственного механизма, обуславливающего низкую эффективность обновления орудий труда. Это особенно важно в переходный период развития экономики при формировании новых форм производственных отношений, основанных на рыночных принципах.

**Проблемы расчета реальной добавленной стоимости
на машиностроительных предприятиях как критерия эффективности
производственного процесса**

Короткевич Л.М., Барсуков А.А.

Белорусский национальный технический университет

Для любого государства мира важным моментом осознания своей независимости и индивидуальности в мировой экономике является понимание своей специализации. При этом актуальным стал вопрос о том, как много собственного вклада данной страны в произведённых ею товарах и оказанных услугах, так как зачастую большинство необходимых ресурсов предоставляются извне. В итоге в стране останется небольшая доля от выручки, наибольшая же уходит как оплата. Упомянутым выше собственным вкладом является

Подтверждением актуальности расчёта добавленной стоимости является отражение её в стандартной международной методологии, разработанной ООН и др. в рамках построения системы национальных счетов (СНС), которая принята и в Республике Беларусь и Российской Федерации. В Республике Беларусь методика расчёта добавленной стоимости на уровне организации и производительности по добавленной стоимости отражена в специальном постановлении, согласно которому экономический эффект максимизации добавленной стоимости организации выражается в реализации интересов: собственников, инвесторов, работников, государства.

Однако с целью анализа необходимо добавленную стоимость привести в сопоставимый вид. Это обусловлено тем, что добавленная стоимость может вырасти не только за счет повышения эффективности деятельности предприятия, а за счёт факторов внешней среды: превышение темпов роста цен на экспорт над темпами роста импорта.

Существуют следующие основные методы расчёта реальной добавленной стоимости: экстраполяция, простое дефлирование, двойное дефлирование. Для расчёта «реальной добавленной стоимости» с помощью метода двойного дефлирования используются индексы Ласпейреса, Пааше, Фишера. На сегодняшний день был осуществлён указанный расчёт на примере данных холдинга «АМКОДОР» для фронтальных погрузчиков с учётом следующих индексов: индексы Ласпейреса (1,26), Пааше (1,41), Фишера (1,33). Таким образом, номинальный рост добавленной стоимости по документам составил 180 %, а рост «реальной добавленной стоимости» составил 133 %.

Разработка стратегии устойчивого развития машиностроительного предприятия

Короткевич Л.М., Згирская О.А.

Белорусский национальный технический университет

По итогам проведенного анализа технико-экономических показателей работы ОАО «КБТЭМ-ОМО», а также SWOT-анализа, SNW-анализа, STEP-анализа, матриц МакКинзи, Портера и Ансофа можно говорить о том, что предприятие «держится на плаву». Однако при этом в предприятия существует ряд проблем: нуждается в дальнейшем развитии и выходе на новые рынки (рынок дальнего зарубежья); усовершенствование системы маркетинга; расширение номенклатуры товаров поставляемых на экспорт. На наш взгляд, наиболее существенной проблемой является проблема экспорта. Данная проблема существует на большинстве белорусских предприятий. Это обусловлено целым рядом причин: финансовое положение предприятия, отсутствие средств на модернизацию и обновление производственных мощностей; усиление конкуренции на рынках не только дальнего, но и ближнего зарубежья; вопросы валютной неурегулированности; недостаток специальных знаний и опыта работы в сфере экспорта у предприятия. Для решения данной проблемы на предприятии, целесообразно создать и в дальнейшем развивать стратегию диверсификации экспорта выпускаемой продукции за счет использования электронных площадок.

Использование электронных – это современный и зарекомендовавший себя инструмент как в Республике Беларусь, так и далеко за ее пределами. Невзирая на затраты по уплате биржевого сбора, предприятие сможет сократить свои издержки по реструктуризации и, возможно, набору нового персонала. Также исключительно все сделки на биржевых торгах совершаются в соответствии с законодательством Республики Беларусь под надзором опытных сотрудников биржи. Следует отметить факт использования биржей электронных договоров и накладных, что также экономит время заключения сделок и повысит имидж предприятия.

Исходя из тенденций развития площадки ППТ можно утверждать, что данный вид электронной торговли и дальше будет развиваться и прогрессировать, представляя продукцию отечественного производства на мировом уровне. Таким образом, использование площадки промышленно-потребительских товаров целесообразно в современных условиях и будет служить действенным инструментом для наращивания экспорта ОАО «КБТЭМ-ОМО».

Анализ влияния операционных и инновационных процессов на параметры устойчивого развития инновационно-ориентированных предприятий

Костюкевич Е.Н., Богданович Д.Н.
Белорусский национальный технический университет

Инновационная деятельность, в рамках которой реализуются все инновационные процессы на предприятии, играет ведущую роль в развитии экономической системы, обеспечивая ее конкурентоспособность. Кроме того, доказано, что инновационная сфера формирует основу устойчивого экономического роста, является необходимым условием полноправного участия страны в мировом разделении труда. По данным Белстата за период с 2012 по 2015 г.г., удельный вес организаций, осуществлявших затраты на технологические инновации опустился с 22,7 до 18,9%, а удельный вес отгруженной инновационной продукции, в общем объеме отгруженной продукции организаций промышленности за этот же период упал с 17,8% до 13,1%, производство транспортных средств и оборудования сократилось на 21,3%, машин и оборудования – на 19,8%, электрооборудования, электронного и оптического оборудования – на 9,0%. Все эти тенденции не способствует устойчивому развитию предприятий и росту экономики. Под *инновационно-ориентированным* будем понимать предприятие, которое обладает высоким инновационным потенциалом, на постоянной основе производит и продает изделия с известными жизненными циклами и осуществляет НИОКР для разработки новых перспективных изделий и технологий. Инновационные процессы требуют больших объемов финансирования, что естественно снижает текущую (операционную) эффективность функционирования, однако более раннее начало продаж новых изделий гарантирует дополнительные доходы в форме шуппетерианской ренты. Операционно-инновационная программа (ОИП) должна решить задачу оптимизации объема, скорости и отдачи от инвестиций. При тактическом планирования важно определить структуру и источники инвестирования ОИП. Общий размер привлекаемых заемных средств не должен нарушать требование финансовой устойчивости и структуры капитала организации.

Производственные и инновационные процессы должны способствовать долгосрочному развитию и финансовой устойчивости в краткосрочной перспективе, равновесию между рентабельностью и ликвидностью, оптимальному сроку начала продаж новых изделий, с целью максимизации ренты от обладания уникальными компетенциями.

Сущность и условия формирования системы инвестиционного обеспечения инновационных процессов

Костюкевич Е.Н., Богданович Д.Н.

Белорусский национальный технический университет

Целевое бюджетное финансирование инновационных проектов Государственных программ остается достаточно низким и характеризуется отсутствием единого механизма координации и контроля за данным процессом. При объеме ВВП Республики Беларусь, составляющем около 76млрд.дол. США, изыскать средства одновременно на создание новых наукоемких производств и на техническое перевооружение традиционных секторов экономики внутри страны является проблематичным. Наша экономика требует гораздо больше инвестиций под инновационные проекты, чем сегодня ей предлагается. В современной экономике инновации и инвестиции становятся важнейшим условием перспективного роста и развития предприятий. Новые технологии и виды продукции во многом определяют лидерство, обеспечивают эффективное долгосрочное функционирование и конкурентоспособность предприятий.

Инвестиционное обеспечение инновационных процессов представляет собой совокупность методов, моделей инвестирования, комплекса инвестиционных ресурсов для реализации стратегических целей и задач внутреннего и внешнего инновационного развития предприятий, заключающихся в получении доходов, приращении активов в будущем или достижении иного положительного эффекта. Оценить эффективность функционирования сформированной системы инвестиционного обеспечения в работе предлагается на основе частных оценок эффективности развития инновационных процессов, в числителе которых – величина относительного эффекта, а в знаменателе – величина относительного приращения инвестиционных затрат к величине капитала предприятия. В итоге комплексная оценка эффективности инвестиционного обеспечения инновационных процессов ($\mathcal{E}_{\text{иоб}}$) может быть представлена в виде экстремума функции:

$$\mathcal{E}_{\text{иоб}} = X_1 \cdot \mathcal{E}_{\text{ип}} + X_2 \cdot \mathcal{E}_{\text{ит}} + X_3 \cdot \mathcal{E}_{\text{ио}} + X_4 \cdot \mathcal{E}_{\text{ин}} + X_5 \cdot \mathcal{E}_{\text{ир}} \rightarrow \max,$$

где X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 - весовые коэффициенты оценок эффективности инвестиций, соответственно, в создание новой продукции и расширение ассортимента выпускаемой продукции ($\mathcal{E}_{\text{ип}}$), в технологическое переоснащение и освоение высоких технологий ($\mathcal{E}_{\text{ит}}$), в совершенствование организационных структур ($\mathcal{E}_{\text{ио}}$), в создание и развитие инновационной инфраструктуры ($\mathcal{E}_{\text{ин}}$), в освоение новых рынков ($\mathcal{E}_{\text{ир}}$).

Куневич О.В.

Белорусский национальный технический университет

В современный период развития экономики становится очевидным, что для большинства отечественных предприятий выход из кризиса связан с производством новой продукции, не только технически совершенной и качественной, а такой, что соответствует лучшим зарубежным аналогам и необходима отечественным и зарубежным потребителям, которая бы удовлетворяла их запросы. В связи с этим инновационная деятельность промышленных предприятий, использующих различные типы инноваций, является определяющим инструментом в конкурентной борьбе.

Для промышленных предприятий актуально использование следующих стратегий инноваций (методов генерации новых идей):

1. Метод проб и ошибок (метод научного тыка). Является врождённым эмпирическим методом мышления человека. Также этот метод называют методом перебора вариантов.

2. Метод контрольных вопросов. Суть метода заключается в том что, изобретатель отвечает на вопросы, содержащиеся в списке, рассматривая свою задачу в связи с этими вопросами.

3. Метод аналогий. На основе выявлений аналогии с техническими объектами в другой области, с биологическими объектами, с объектами и явлениями неживой природы с помощью группы эвристических приемов осуществляется поиск новых идей и решений.

4. Метод фокальных объектов. Целью данного метода можно считать совершенствование объекта за счет получения большого количества оригинальных модификаций объекта с неожиданными свойствами.

5. Метод гирлянд ассоциаций и метафор. От метода фокальных объектов он отличается тем, что дает большое число сочетаний фокального объекта со случайными.

6. Морфологический анализ (морфологический ящик). Позволяет представить различные комбинации возможных реализаций параметров объекта, например цвета, формы и текстуры.

7. ТРИЗ - теория решения изобретательских задач. ТРИЗ представляет собой набор методов, объединенных общей теорией.

8. Метод «обратный мозговой штурм». Цель метода – составление наиболее полного списка недостатков (дефектов) совершенствуемого объекта и противоречий его развития, на которые направляется максимальная критика.

Организационные модели B2B торговых интернет-площадок

Лавренова О. А., Дударчик А.С.

Белорусский национальный технический университет

B2B торговые интернет-площадки представляют собой веб-сайты, формирующие торговое пространство для контрагентов сектора B2B, и являются инструментами для осуществления торгово-закупочной деятельности в сети интернет. Торговая интернет-площадка объединяет решения для продавцов и покупателей: от делового взаимодействия до интеграции с бизнес-процессами участников, обеспечивает условия для заключения и сопровождения сделок, минимизируя временные и материальные издержки. Анализ показывает, что в настоящее время существуют различные подходы к классификации B2B-торговых Интернет-площадок: по признаку специфики деятельности и специализации, отраслевой принадлежности, по признаку создания и управления. С позиции модели организации взаимодействия контрагентов все B2B-торговые Интернет-площадки делятся на три группы: каталоги, аукционы и биржи. Все они расширяют торговое пространство и повышают эффективность доступа к нему для предприятий – продавцов и покупателей. Сайты-каталоги предназначены для консолидации спроса покупателей и предложений продавцов. Покупатели получают возможность сравнивать продукцию по нескольким параметрам, выбирая наиболее значимые для конкретной закупки. Сайты-аукционы для сектора B2B в основном предназначены для ликвидации предприятиями излишков продукции. Цена на продукцию устанавливается покупателями непосредственно во время торгов. Предприятия-покупатели имеют возможность осуществлять оптовые закупки по ценам ниже среднерыночных. Сайты-биржи позволяют предприятиям участвовать в электронных торгах, обеспечивая открытость процесса биржевых торгов при полной анонимности их участников. Цены на товар формируются на основе фактических спроса и предложения, в прямой зависимости от рыночной конъюнктуры. Предприятия-продавцы получают возможности реализовать излишки продукции по рыночным ценам и снижать издержки на реализацию. С точки зрения создания и управления «независимые» интернет-площадки, создаваемые не продавцами или покупателями, а третьей стороной – посредником, являются наиболее безопасными при совершении и сопровождении сделок, снижают риски недобросовестного взаимодействия продавцов и покупателей, несоответствия качества поставляемой продукции, несвоевременной оплаты или поставки.

Показатели эффективности веб-сайта и особенности их измерения

Лавренова О.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях повсеместного проникновения интернет-технологий обязательным инструментом ведения бизнеса независимо от масштаба деятельности компании становится ее веб-сайт, который обеспечивает поддержку бизнеса практически без временных и географических ограничений, расширяет круг потенциальных клиентов компании. Для компании веб-сайт является современным инструментом маркетинговой службы, позволяет проводить рекламные мероприятия в сети Интернет, обеспечивает деловые коммуникации с клиентами и партнерами.

В зависимости от концепции присутствия компании в сети Интернет веб-сайт технически может быть реализован как в виде одностраничной визитки, так и в виде полнофункционального веб-портала, являющегося частью инфраструктуры компании. Независимо от технического исполнения любой сайт требует затрат на свою разработку, поддержку и продвижение. Поэтому, принимая решение о создании нового сайта или модернизации уже действующего, руководство компании ожидает получить отдачу от вложенных средств, чаще всего в виде прибыли.

Для объективного анализа текущего состояния и определения перспективных направлений развития веб-сайта необходимы измеримые показатели, например, KPI (англ. Key Performance Indicators). Ключевые показатели эффективности, представляют собой систему оценки, которая позволяет определить достижение стратегических и тактических (операционных) целей.

Основным показателем на стратегическом уровне для сайтов компаний, как правило, является прибыль, а на тактических уровнях выделяется несколько показателей, зависящих от конкретных задач сайта (например, количество продаж, конверсия или глубина просмотра). Показатели связаны между собой, и, как правило, достижение тактических KPI обеспечивает достижение стратегических KPI.

Измерение KPI оперативного уровня обеспечивают стандартные бесплатные системы веб-аналитики Google Analytics и Яндекс Метрика. На тактическом уровне для измерения KPI требуются данные о конкретных действиях, например, продажах, регистрациях или повторных посещениях и, следовательно, необходима связь CRM-системы с данными Google Analytics или Яндекс Метрики. Непосредственно на уровне владельца сайта оцениваются показатели стратегического уровня.

Насонова И.В.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Согласно Указу Президента Республики Беларусь от 04.11.2015 № 450 «О проведении деноминации официальной денежной единицы Республики Беларусь» с 1 июля 2016 г. будет проведена деноминация официальной денежной единицы Республики Беларусь.

Деноминация, как правило, производится, когда в обращении оказывается слишком много денег. Государству приходится выпускать все более крупные купюры, деньги мелкого номинала становятся невостребованными, но при этом убирать их из обращения нельзя. В результате процесс оборота денег становится сложным из-за слишком больших чисел.

Когда Национальный банк и правительство инициируют проведение деноминации, они традиционно преследуют следующие цели: сокращение расходов на выпуск новых купюр; упрощение расчетов; выявление скрытых доходов; укрепление национальной валюты.

Проведение деноминации осуществляется в следующих условиях: в стране произошла гиперинфляция; кризис миновал, т. е. экономическая ситуация стабилизировалась, инфляция не превышает 12%, банки начали выдавать кредиты в условиях более мягкой денежно-кредитной политики. Положительным моментом деноминации 2016 г. является то, что о ней специально объявили заранее, чтобы все субъекты хозяйствования могли учесть это при разработке бюджетов. В 2015 г. по настоящее время в Республике Беларусь сложились положительные условия для проведения деноминации (сокращение денежной эмиссии, уменьшение объемов кредитования банками недостаточно эффективных государственных программ, тенденция к снижению потребительских цен). В этой связи проведение деноминации может стать дополнительным фактором снижения инфляционных ожиданий всех субъектов экономических отношений и повышения доверия к национальной денежной единице. Однако, если не будет реформ, направленных на переход от чрезмерной централизации управления и использования административно-командных методов управления к рыночным факторам роста, экономический эффект от нее будет недолгим, активизируются факторы, обуславливающие значительную инфляцию и формирующие предпосылки для роста курса доллара.

Плясунков А.В., Демяшкевич В.А.

Белорусский национальный технический университет

Современные условия ведения бизнеса, к которым относится стремительно меняющаяся конъюнктура рынка, жесткие условия конкуренции, стремительное развитие технологий, глобализация рынков, значительные колебания цен на ресурсы, их истощение и другие факторы подталкивают предприятия к более активному поиску путей повышения конкурентоспособности как продукции, так и предприятия в целом.

Все большее число бизнес-процессов, которые еще десятилетие назад, казалось, не потребуют кардинальных изменений, сейчас могут быть полностью исключены.

Например, целый ряд технологических процессов, начиная от получения заготовок и заканчивая чистовой обработкой детали, уже сейчас может быть заменен всего двумя основными процессами: созданием виртуальной модели и ее 3D печатью.

Так как же оценить конкурентоспособность предприятия?

Что должно быть фундаментом повышения конкурентоспособности?

Существует шесть подходов оценки конкурентоспособности организаций, которые широко используются, но все более явно начинают не соответствовать экономическим реалиям:

- 1) с позиций сравнительных преимуществ;
- 2) оценка по теории равновесия организации и отрасли;
- 3) оценка по рыночным позициям организации;
- 4) определение соотношений издержки - цены, загрузки производственных мощностей, объемов выпуска продукции, нормы прибыли и т.д.
- 5) оценка производителя по качеству продукции;
- 6) матричная методика оценки конкурентоспособности «Бостонской консалтинговой группы».

Все более очевидным становится смещение использования показателей от таких как материалоемкость, рентабельность основных средств и т.п. к показателям и подходам, в основе которых лежит скорость внедрения новых технологий, скорость изменения бизнес-процессов, эффективность изменений, способность формирования интеллектуальной собственности и ее использование эффективнее по отношению к конкурентам. Это позволит выявить позицию предприятия на рынке, а соответственно и уровень конкурентоспособности.

Подходы к оценке и повышению конкурентоспособности продукции

Плясунков А.В., Демяшкевич В.А.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день существует множество методик оценки конкурентоспособности продукции.

Конкурентоспособность продукции – это характеристика товара (услуги), отражающая его отличие от товара-конкурента как по степени соответствия конкретной потребности, так и по затратам на ее удовлетворение.

Два элемента – потребительские свойства и цена – являются главными составляющими конкурентоспособности товара (услуги).

Однако, рыночные перспективы товаров связаны не только с качеством и издержками производства.

Причиной успеха или неудачи товара могут быть и другие (нетоварные) факторы, такие, как рекламная деятельность, престиж фирмы, предлагаемый уровень обслуживания.

Одним из методов для комплексной оценки конкурентоспособности товаров (услуг) является смешанный метод, который позволяет выразить способность товара конкурировать в определенных условиях рынка через комплексный количественный показатель – коэффициент конкурентоспособности:

$$K_j = \sum_{ij=1}^n L_i \times \left(\frac{P_{ij}}{P_{in}} \right)^{\beta_i}$$

где $i = 1 \dots n$ — число параметров продукции, участвующих в оценке; $j = 1 \dots n$ – виды продукции; L_i – коэффициент важности (значимости) по сравнению с остальными существенными параметрами продукции; P_{ij} – конкурентоспособное значение i -го параметра для j -ой продукции; P_{in} – желаемое значение i -го параметра, которое позволяет полностью удовлетворить потребность показателя; $\beta_i = +1$, если увеличение значения параметра P_{ij} способствует росту конкурентоспособности продукции (например, надежность, производительность изделия и так далее); $\beta_i = -1$, если увеличение значения параметра P_{ij} приводит к снижению конкурентоспособности продукции (например, вес, габарит, цена и другое).

Комплексный анализ конкурентоспособности товара позволяет выявить основные направления повышения конкурентоспособности.

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Наращивание капитала, получение текущего дохода или решение определенных социальных задач – вот основные цели инвестиционной деятельности, которая представляет собой вложение средств (инвестирование). По объектам вложения капитала инвестиции предприятия принято делить на реальные и финансовые. Вложение средств в материальное производство, в материально-вещественные виды деятельности это и есть реальное инвестирование. Оно связано либо с осуществлением операционной деятельности предприятия, либо улучшением условий труда и быта персонала. Можно выделить 8 основных форм реального инвестирования: 1) приобретение целостных имущественных комплексов; 2) новое строительство; 3) перепрофилирование; 4) реконструкция; 5) модернизация; 6) обновление отдельных видов оборудования; 7) инновационное инвестирование в нематериальные активы; 8) инвестирование прироста запасов материальных оборотных активов.

Все перечисленные формы реального инвестирования могут быть сведены к трем основным его направлениям: капитальному инвестированию или капитальным вложениям (первые шесть форм); инновационному инвестированию (седьмая форма) и инвестированию прироста оборотных активов (восьмая форма).

Выбор конкретных форм реального инвестирования предприятия определяется задачами отраслевой, товарной и региональной диверсификации его деятельности (направленными на расширение объема операционного дохода), возможностями внедрения новых ресурсо- и трудосберегающих технологий (направленными на снижение уровня операционных затрат), а также потенциалом формирования инвестиционных ресурсов (капитала в денежной и иных формах, привлекаемого для осуществления вложений в объекты реального инвестирования).

Управление реальными инвестициями предприятия в современных условиях базируется на научном направлении «Управление проектами». В основе которого лежит современная системная методология осуществления всех процессов разработки и реализации инвестиционного проекта любого вида на протяжении всего его жизненного цикла, обеспечивающая эффективное достижение его целей.

Методика оценки производственного потенциала промышленного предприятия

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Производственный потенциал – совокупность долгосрочных, краткосрочных активов и трудовых ресурсов промышленного предприятия, определяющая производственную программу и производственную мощность предприятия в целом. Величину производственного потенциала можно рассчитать:

$$ПП = C_{OC} + C_{HMA} + C_{OB} + C_{ППП},$$

где C_{OC} – стоимость основных производственных средств, C_{HMA} – стоимость нематериальных активов, C_{OB} – стоимость оборотных средств, формирующих сферу производства, сферу обращения, а так же расходы будущих периодов, $C_{ППП}$ – стоимость промышленно-производственного персонала (ППП) предприятия.

$$C_{OC} = OC_{CP} + Z_M,$$

где OC_{CP} – среднегодовая балансовая стоимость основных производственных средств предприятия, Z_M – затраты на модернизацию основных производственных средств.

$$C_{HMA} = HMA_{CP} + Z_D,$$

где HMA_{CP} – среднегодовая балансовая стоимость нематериальных активов предприятия, Z_D – затраты на их доработку, усовершенствование.

$$C_{ППП} = \Phi_{ЗП} + \Phi_{МП} + Z_O + Z_{ПП} + Z_{ПК},$$

где $\Phi_{ЗП}$ – фонд заработной платы ППП предприятия, $\Phi_{МП}$ – фонд материального поощрения, Z_O – затраты на обучение кадров, $Z_{ПП}$ – затраты на переподготовку, $Z_{ПК}$ – затраты на повышение квалификации.

Все элементы производственного потенциала взаимосвязаны и взаимозависимы.

Они образуют сложную динамическую со смешанными связями систему ресурсов производства, которая должна чутко реагировать на изменение внешних объективных условий, быть гибкой по отношению к изменяющимся параметрам сырьевых ресурсов и требованиям рынка: ускорением обновления продукции, индивидуализацией и усложнения ее характеристик, а так же усилением конкуренции производителей. Таким образом, закономерности развития потенциала могут быть раскрыты не как отдельно взятые закономерности развития его составляющих, а только как их сочетание.

Горные машины

**Модернизация комплекса технологических машин
для горной отрасли**

Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Научная работа представляет собой инновационный проект по модернизации комплекса технологических машин для горной отрасли от белорусских производителей, выполненный коллективом студентов научно-творческого бюро «Горняк».

За последние 50 лет белорусские геологи открыли важные для страны полезные ископаемые и подготовили базу для создания и развития строительной индустрии, производства калийных и карбонатных удобрений, добычи нефти, каменной соли, облицовочного и строительного камня, строительства оздоровительных учреждений на основе разнообразных минеральных вод. На территории нашей республики установлены значительные ресурсы и запасы бурых углей, горючих сланцев, сапропелей, железных руд, давсонита, редких металлов и высокоминерализованных рассолов, на основе которых могут быть организованы добыча и комплексная переработка минерального сырья. В настоящее время разработкой месторождений ПИ на территории республики занимаются крупные предприятия: Беларуськалий, Белоруснефть, Нерудпром, Белтопгаз. Годовые объемы производства минерального сырья и продукции для различных отраслей промышленности, строительства и сельского хозяйства, а также поставки на экспорт определяются миллионами тонн.

В зависимости от горногеологических условий залегания ПИ, а также физико-механических свойств горных пород при разработке месторождений применяются пять основных технологических способов: открытый поверхностно-послойный, карьерный, подземный (шахтный), скважинный и подводный. Дальнейшая переработка и обогащение полезных ископаемых проводится на горных предприятиях (обогачительных фабриках), а также на передвижных дробильно-сортировочных линиях.

Значительный объем горных работ, а также необходимость больших энергозатрат на добычу и переработку горных пород требуют применения в технологических процессах современных высокопроизводительных и эффективных машин и оборудования.

Несмотря на значительный процент импортной техники и оборудования, эксплуатирующихся на горных предприятиях, белорусские

машиностроители совместно с научными, проектными организациями и конструкторскими бюро интенсивно развивают как по объему, так и по ассортименту производство отечественных технологических машин. Среди них к числу мировых лидеров по производству карьерной техники находится БелАЗ. Рудники и солеобогатительные фабрики ОАО «Беларуськалия» обеспечиваются технологическим оборудованием, произведенным в ЗАО СИПР «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», а также ЗАО «Нива» и Литейно-механический завод «Универсал». Комплекс технологических машин для торфяной отрасли освоен на заводе «Амкодор-Пинск».

В связи с выше изложенным коллектив НТСБ «Горняк» в своей творческой деятельности реализует следующую цель – разработка и организация производства комплекса отечественных технологических машин для интенсификации добычи и переработки полезных ископаемых.

Для ее достижения решаются следующие задачи:

- исследование перспективных способов разработки месторождений полезных ископаемых и рациональное использование земных недр Республики Беларусь;

- анализ режимов работы исполнительных органов технологических машин при взаимодействии с горной породой;

- разработка конструкторской документации и организация производства высокоэффективного технологического оборудования для добычи и переработки полезных ископаемых;

- импортозамещение в горной отрасли и возможность экспорта горной техники.

В результате теоретических исследований и анализа работы технологического оборудования в производственных условиях предлагаются к дальнейшей реализации ряд принципиально новых технических решений по модернизации горных машин и оборудования, защищенных патентами Республики Беларусь. Они обеспечивают:

- повышение эксплуатационных показателей горных машин и разработка экологических мероприятий по инженерной защите окружающей среды при разработке месторождений полезных ископаемых на территории Республики Беларусь;

- импортозамещение горного оборудования; – повышение производительности труда; – снижение удельных затрат энергии на единицу выпускаемой продукции или выполняемых технологических операций;

- повышение надежности конструкций исполнительных органов горных машин.

УДК 621.928

**Научные разработки кафедры «Горные машины» в области
промышленной экологии**

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Горные машины» выполнены разработки эффективного оборудования и систем снижения вредных пылевых выбросов и утилизации отходов на промышленных предприятиях Республики Беларусь. Для тонкой очистки пылевых выбросов торфобрикетного производства разработан улиточный циклон, отличающийся от аналогов тем, что внутри корпуса установлена спиральная лента под определенным углом α , что позволяет уменьшить радиальный сток мелкой фракции пыли в отводящий патрубок. Это позволило при уменьшении габаритных размеров циклона увеличить эффективность пылеулавливания до 99 %.

Для управления пылей в системах обеспыливания разработан осадитель камерного типа, для первой ступени сухой пылеочистки. Особенность конструкции состоит в том, что внутри прямоугольной камеры с подводным и отводящим диффузором установлены отражательные под определенным углом элементы, предотвращающие поступление крупных фракций в отводящий трубопровод. Применение камерного осадителя позволило снизить энергозатраты на 10 – 15 % за счет сокращения гидравлического сопротивления, уменьшить габаритные размеры по сравнению с циклонами и повысить эффективность пылеулавливания до 95 %. Разработана технология утилизации отходов кокса литейного производства путем получения на торфобрикетном заводе торфококсовых топливных брикетов, которые по теплотворной способности превосходят чисто торфяные.

УДК 622.363

**Оценка энергоемкости прессования хлористого калия
в вальцевых прессах**

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Определение энергетических затрат прессования материалов в вальцевых прессах является важным фактором в проектных расчетах. Гранулирование КСІ на обогатительных фабриках осуществляется на вальцевых прессах, процесс которого требует больших затрат мощности.

Поэтому задачей исследований являлось разработки методики ее определения. Установлено, что процесс прессования КСІ между прессующими валками происходит в две стадии. Сначала происходит частичное разрушение частиц, их переупаковка и сближение на расстояние, достаточное для межатомного взаимодействия. На второй стадии с увеличением давления происходит упругочастичное сжатие материала, резко возникает число контактов, что приводит к объемному упрочнению прессата. При высоких давлениях до 100 МПа происходит частичное образование расплава в месте контакта частиц. Процесс уплотнения между валками происходит в области угла захвата α , который должен быть меньше чем 2φ (угол внутреннего трения материала). Для определения мощности на прессование материала с заданным давлением p , Па предварительно на лабораторном прессе путем прессования строим диаграмму $P = f(h)$, где h – ход штампея, м и определяем значения угла α_i каждой стадии уплотнения. Затем находим усилия

$$F_i = \frac{P_i \pi D \alpha_i L}{360}, \text{ Н}, \quad (1)$$

где D – диаметр валка м,

L – длина валка, м; и их направления действия на поверхности валков.

Путем векторного сложения находят общую равнодействующую силу F_p и ее тангенциальную составляющую T .

Необходимая мощность определяется по формуле

$$N = T \frac{D}{2} U_v, \quad (2)$$

где U_v – окружная скорость.

УДК 622.277

Оптимизация параметров при обогащении МВТ

Березовский Н.И., Лесун Б.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время стоимость составляющих компонентов сырьевых смесей для производства пористых строительных материалов в несколько раз превышают стоимость фрезерного торфа и переработанных топливных брикетов, поэтому их замена носит актуальный характер и позволит в будущем использовать результаты исследования при импортозамещении различных видов угля.

Основным параметром оптимизации получаемой готовой продукции является ее плотность и прочность, которые зависят от эффективности

смешивания или усреднения параметров сырьевой смеси. Смешивание малых объемов с весьма большими требует значительного времени усреднения в больших емкостях. Для того чтобы снизить расход времени, применяют последовательное смешивание увеличивающихся объемов

В производственных условиях наиболее удачными способами усреднения являются слоевой, реализуемый в штабелях, и конвейерный варианты продольного сдвига. На их основе можно создавать эффективные усреднительные системы. Однако оба эти способа требуют изучения с помощью моделей, которые отличаются наибольшей глубиной исследования процессов перемешивания. При этом основную информацию дает анализ связи спектров функции качества сырья до и после его усреднения или амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) способа, которые показывают, как меняются колебания функции качества на разных частотах. Функцией качества является, как правило, важные характеристики торфа – зольность и теплотворная способность.

В качестве управляемых параметров при планировании эксперимента можно принять:

- длину усреднительного штабеля;
- режим поступления сырья в штабель;
- направления перемещения фронта разгрузки сырья.

Эффективность усреднения на карьерных складах может определяться общей дисперсией качества сырьевой смеси в отгружаемых со склада порциях смеси или критерием оптимальности при постановке эксперимента, который имеет вид: $\sigma^2 \rightarrow \min$.

УДК 622.112(082)

Качество смазки как диагностический параметр

Тарасов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

При оценке фактического технического состояния проходческого комбайна избирательного действия перспективным направлением следует считать возможность согласования параметров вибрации и количественной и качественной оценки механических включений в рабочей жидкости.

Комбинация этих двух методов базируется на использовании средств неразрушающего контроля, что дает возможность устанавливать сроки проведения технического обслуживания, ремонта и определять остаточный ресурс по формуле

$$T = \begin{cases} \sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_i + 1}{h}, & \text{если } t_i + 1 < t_z \\ \sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_i |U_n - U_{i=1}|}{|U_n - U_{i-1}|}, & \text{если } U_i > U_n \end{cases},$$

где h – коэффициент, учитывающий неравномерность изменения исследуемого параметра;

t_k – время проведения диагностических измерений;

U_i – измененное значение контролируемого параметра на момент времени T_i ;

U_n – предотказное значение контролируемого параметра.

Рассмотренные методы в комплексе позволяют повысить достоверность прогноза технического состояния деталей и агрегатов.

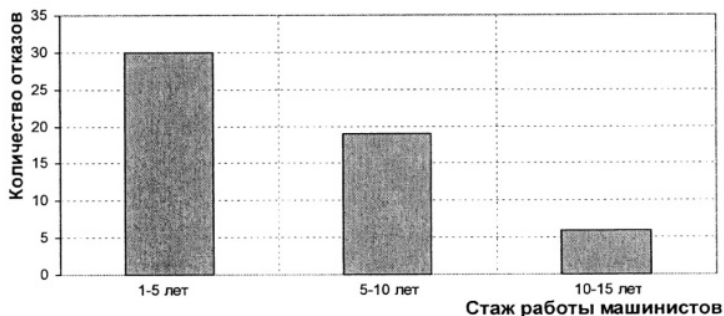
УДК 622.331

Мониторинг металлоконструкций горных машин

Тарасов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Анализ надежности карьерных гусеничных экскаваторов с зубчато-реечным напором типа ЭКГ показывает, что из общей структуры потока отказов 40% приходится на металлоконструкции экскаваторов. Чаще всего дефекты металлоконструкций проявляются в виде усталостных микротрещин металла и трещин сварных соединений.



Распределение количества отказов рукояти по стажу работы машинистов экскаваторов типа ЭКГ-5А

Вместе с тем изменение максимальной скорости подъема ковша от 0,6 м/с (стаж работы машинистов 10-15 лет) до 0,87 м/с (стаж 1-5 лет) при копании горной массы приводит к возникновению дополнительных нагрузок в подъемных канатах, которые вызывают отказы оборудования.

Имеющаяся информация позволяет сделать вывод, что максимальная скорость подъема ковша в период черпания горной массы не должна превышать 0,55 м/с.

УДК 621.867.8:622.331

Зависимость коэффициента относительного скольжения фаз от массовой производительности при вертикальном пневмотранспорте измельченного торфа

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Действительные скорости \mathcal{G}_m торфяных частиц и $\mathcal{G}_в$ воздуха определялись по методике [1] обработкой экспериментальных зависимостей перепада давления на участке вертикального пневмотранспортного трубопровода от приведенной скорости воздуха при различных массовых производительностях Q_m по измельченному торфу.

Коэффициенты относительного скольжения $\varepsilon = \mathcal{G}_m / \mathcal{G}_в$ при одних и тех же значениях скорости несущей воздушной фазы возрастают с увеличением массовой производительности. Характерный вид зависимостей $\varepsilon = f(Q_m)$ представлен на рисунке.



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.МНТК., Минск, 20 -23 февраля 2009 г. / Часть 1. –Минск, 2009. – С. 106 – 109.

Математическая модель установившегося процесса горизонтального шнекового бурения

Казаченко Г.В., Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Практическая актуальность данной модели обусловлена необходимостью разработки методов и алгоритмов теоретического расчета оптимальных режимных параметров буровых станков в процессах установившегося шнекового бурения горизонтальных скважин для конкретных горно-геологических условий. Например, при подготовке к очистной выемке “выемочных столбов” и отработке геологически осложненных “мульдами погружения” участков калийного пласта. Инициирование релаксации горного давления в “мульде погружения” направленным буровзрывным воздействием предотвращает внезапные выбросы газа и жидкости при ведении очистных работ в длинных забоях.

При шнековом бурении горизонтальных взрывных шпуров в глинисто-соляных и глинисто-доломитовых породах, обладающих высокой вязкостью и пластичностью, происходит “заштыбовка” буровой мелочью винтовой буровой штанги и ее заклинивание в залежи. Извлечение бурового инструмента без его разрушения, в таких случаях не представляется возможным. В качестве критерия оптимизации при математическом моделировании установившегося процесса бурения принята максимально механическая скорость проходки заданного интервала бурения. Для теоретического исследования создана замкнутая математическая модель установившегося рабочего процесса горизонтального шнекового бурения, в основу которой положено условие соблюдения в установившемся процессе бурения одновременно двух балансовых соотношений. Материального баланса по объему разрушаемой долотом на забое и транспортируемой шнековым ставом из шпура породы, и энергетического баланса между установленной мощностью приводов вращательно-подающего устройства станка и суммарными затратами мощности на выполнение всех операций проходки. Оптимизируемыми режимными параметрами в математической модели являются осевая скорость подачи и число оборотов бурильной колонны. Численное решение замкнутой системы уравнений с варьируемыми параметрами рабочего процесса представляется перспективным для создания табличных номограмм режимов в практическом бурении и при разработке систем автоматического управления приводами в горном машиностроении.

**Влияние фракционного состава транспортируемого груза
на величину динамической нагрузки**

Прушак В.Я., Миранович О.Л.

ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством»

Влияние крупности кусков на величину динамической нагрузки подтверждено многочисленными экспериментами. Во всех существующих методиках выбора роликов кусковатость является одним из определяющих факторов. Поэтому многие исследователи ставили своей задачей изучение фракционного состава транспортируемого материала.

Большинство ленточных конвейеров транспортируют породу, размеры кусков которой превышают 200 мм, а иногда и 500 мм. Даются сведения о распределении по кусковатости транспортируемого материала для подземных разработок, которые показывают, что преобладающими являются куски породы с размерами от 200 до 500 мм, составляющие, соответственно 60 и 72 % от общей транспортируемой массы.

Важными факторами, влияющими на характер действующей нагрузки, являются неравномерность размещения груза на ленте, которая, в свою очередь, определяется неравномерностью потока груза, поступающего от забойного оборудования, и гранулометрический состав грузов.

Как показывают исследования, современные средства и методы регистрации грузопотоков не позволяют найти статистические характеристики мгновенных значений грузопотока $Q(t)$, а дают возможность статистически описать только усредненный на некотором мерном интервале времени T_m уровень грузопотока. Мерный интервал принят равным одной минуте. Проведенные исследования позволили установить, что характеристики случайного минутного грузопотока стационарны во времени, и основными из них являются математическое ожидание m_Q , дисперсия D_Q или, среднеквадратическое отклонение $\sigma_Q = \sqrt{D_Q}$, корреляционная функция $R_Q(\tau)$, закон распределения $P(Q)$.

В результате проведенных работ на ряде горнорудных предприятий получены характеристики m_Q , D_Q , α (характеристика грузопотока) минутных забойных грузопотоков, а также установлено, что в спектре частот преобладают низкие частоты порядка 1-3 колебания в минуту, а также установлено, что в определенных режимах работы конвейеров реализуемые грузопотоки можно рассматривать как стационарные случайные процессы, обладающие свойством эргодичности. Основная энергия процессов сосредоточена в низкочастотной области 0 – 10 Гц.

Конструктивные особенности соединений конвейерных лент

Прушак В.Я., Миранович О.Л.

ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством»

Все многообразие конструкций соединений конвейерных лент можно разделить на три большие группы: механические соединения резинотканевых лент, вулканизированные соединения резинотканевых лент и соединения резинотросовых лент. Механические соединения резинотросовых лент по расположению соединительных элементов делятся на однорядные и многорядные. К однорядным относятся соединения крючкообразными скобами и шарнирные соединения. Принцип действия у шарнирных соединений и соединений крючкообразными скобами один и тот же. Шарнирное соединение состоит из двух половин, каждая из которых крепится на конце ленты пробитыми сквозь ленту зубцами или П-образной скобой. Прочность соединений П-образными и крючкообразными скобами достигает 77 % и 51 % прочности ленты, а долговечность 35 % и 19% срока службы ленты соответственно. Шарнирные соединения не плотны и могут допускать просыпание транспортируемого материала. При неточном обрезании кромок концов лента после стыковки получает неравномерное натяжение по ширине, что вызывает боковые смещения ленты. Многорядные соединения имеют большую прочность, чем однорядные, однако она ограничена неравномерностью распределения нагрузки. Кроме того, изготовление многорядных соединений более трудоемко, требует разделки концов лент. Горячевулканизируемые соединения резинотканевых лент отличаются значительно большей прочностью по сравнению с холодновулканизируемыми. Прочность ступенчатых соединений достигает 60 – 90 % прочности ленты, а долговечность – до 80 % срока службы ленты. Бесступенчатые клиновые соединения имеют прочность на 5 – 8 % выше, чем ступенчатые, такой же длины. Прочность соединений при горячей вулканизации на 10 % выше, чем при холодной.

В настоящее время повсеместно используются только горячевулканизируемые соединения резинотросовых лент. При этом достигаются максимальная прочность связи резины с тросом.

Таким образом, вулканизированные соединения обладают большей прочностью и долговечностью по сравнению с механическими. Однако прочность и долговечность вулканизированных соединений значительно зависит от качества выполнения работ и качества расходных материалов.

**Бурение высокооборотным турбобуром
с импрегнированным долотом на глубине более 5500 метров**

Березовский Н.И., Матвеев Д.С.
Белорусский национальный технический университет

Скважина №1 Предречицкого месторождения – самая глубокая скважина Беларуси с глубиной 6755 м. При ее строительстве перед специалистами РУП «ПО «Белоруснефть» стояло множество проблем, одной из таких была высокая температура на забое скважины, достигавшая + 130°C, не позволяющая использовать обычные гидравлические забойные двигатели, по причине присутствия в конструкции резиновых и резинометаллических деталей.

Подбор энергетических характеристик турбобуров для бурения скважины в интервале 5781 – 6340 м был осуществлен специалистами двух предприятий РУП «ПО «Белоруснефть» и ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент». Энергетические характеристики турбобуров для работы выбирались из учета работы импрегнированным долотом фирмы *Hughes Christensen 7 7/8" NH354G8* (код по IADC M841), возможного повышения плотности буровой жидкости (до 2000 кг/м³) в связи с возможным осложнением ствола скважины, а также из условия ограничения гидравлической мощности бурового насоса (23 МПа).

За период эксплуатации двухсекционного 2Т-6^{3/4} и односекционного турбобура Т-6^{3/4} на скважине №1 Предречицкой площади были достигнуты следующие показатели:

- снижены затраты времени механического бурения данного интервала более чем в 2 раза в сравнении с плановыми;
- пробурено в общей сложности 559 метров, общее время механического бурения составило 249 часов, время общей циркуляции 536 часов;
- оба турбобура при эксплуатации показали стабильную работу и подтвердили межремонтный период в 300 часов в достаточно сложных условиях работы.

Выполненные работы турбобурами Т-6^{3/4} при строительстве сверхглубокой скважины №1 Предречицкой площади в Беларуси показывают успешность направление развития турбинного бурения с импрегнированными долотами (алмазными долотами) при бурении твердых пород, требующих в основном истирающий тип разрушения при строительстве нефтяных и газовых скважин.

Пути модернизации исполнительного органа щеленарезной машины

Ельницкий С.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе проведена оценка энергозатрат на работу цепного бара щеленарезной машины. Применяемый на современных щеленарезных машинах типа «Урал-50», МВБ-140 или «Payls» цепной бар представляет собой тягово-приводную звенчатую цепь, оснащенную резцами. Схема крепления резцов на звеньях цепи при общей ширине прорезаемой щели 140 мм обеспечивает девять линий резания. Количество резцов типа РПЗ в каждой из четырех боковых (левых и правых) линий составляет: в первой и третьей – по 7 штук, во второй и четвертой – по 8, а в центральной – 13 штук, т. к. на пяти шагах из восьми применяется дублирование зубков. Скорость резания породы определяется линейной скоростью движения цепи по шине и равна 5,2 м/с. Техническая производительность машин при сопротивляемости пород резанию $A_p = 450$ Н/мм и глубине щели 1,2 м составляет около 1,5 п.м/мин.

Затраты энергии на работу цепного бара в значительной степени зависят от физико-механических свойств слагаемых пород, положения прорезаемой щели по сечению горной выработки, режимов фрезерования, а также от конструктивных параметров исполнительного органа и типа резцов. Производительность машины зависит от эффективности транспортирования сфрезерованной массы из прорезаемой щели. В применяемой конструкции цепного бара транспортирование обеспечивается в основном за счет сообщения породной мелочи кинетической энергии в момент отделения ее от массива и последующих многократных контактах с передними плоскостями резцов.

Предлагается снизить энергозатраты на фрезерование в породы и повысить производительность цепного бара по транспортированию породной мелочи, особенно при нарезании щели в почву выработки, за счет модернизации схемы расстановки фрезерующих резцов на тягово-приводной цепи, а также установкой транспортирующих элементов.

Увеличение ресурса цепи бара можно достичь улучшением динамической балансировки его движущихся частей от сил сопротивления резанию, т. к. применяемая схема расстановки резцов вызывает поперечные колебания режущей цепи.

* – Работа выполнена под руководством ст. преп. Г.А. Басалая.

**Оценка эффективности аппаратов типа П-30
для сгущения шламовых и галитовых отходов**

Ильюкевич П.П.

Белорусский национальный технический университет

В калийной промышленности для сгущения шламового и солевого продукта с получением осветленного маточного раствора нашли широкое применение высокопроизводительные компактные сгустители «НПО «Пассат». Серийно изготавливаются сгустители 10 м и 18 м. Основные заказчики сгустителей П-30 – сильвинито-обогащительные фабрики ОАО "Беларуськалий" по выпуску калийных минеральных удобрений.

Для сгустителей, работающих на флотационных пульпах, предусматривается система съема пены пеноъемниками в пеноприемник. Сгуститель комплектуется деаэрационной емкостью, которая выполняет функцию деаэрации пульпы и аппарата перемешивания и контактирования пульпы с флокулянт. Сгуститель снабжен гребковым механизмом для эффективного удаления жидкой фазы и воздуха из зоны уплотненного осадка. В сгустителях П-30 проводится операция сгущения шламовых и галитовых отходов производства. В процессе сгущения шламовых отходов получается оборотный маточник, который возвращается в технологический процесс, и разгрузка, направляемая на складирование в шламохранилище. Сгущение галитовых отходов выполняется для обеспечения оптимальной плотности питания операции фильтрования. Направленная на сгущение нейтральная или кислая пульпа поступает в приемник-распределитель с решеткой, погруженный в раствор. При движении пульпы от центра к периферии ее твердые частицы оседают на дно сгустителя, а жидкая часть переливается через борт кольцевого желоба и направляется на дальнейшую переработку. Осевшие на дно чана твердые частицы с помощью перегребного механизма перемещаются к центральному выпускному отверстию и через периодически в виде сгущенной пульпы откачиваются.

Производительность сгустителя рассчитывают по съему верхнего слива с 1 м^3 площади сгущения. На нейтральной пульпе сгустители способны выдавать $3\text{-}5 \text{ м}^3$ осветленного раствора на $1 \text{ м}^2/\text{сут}$, а кислые сгустители (для которых требования к верхнему сливу по содержанию твердого менее строгие) – до 7 м^3 на $1 \text{ м}^2/\text{сут}$. В зависимости от режима работы сгустителя содержание твердого в сгущенной пульпе составляет от 40 до 50 % твердого, в верхнем нейтральном слое оно не превышает 1-2 г/л, в кислом достигает 80-100 г/л.

Требования к мобильным тягово-энергетическим средствам торфяных машин

Антанович Д.А., Гутич В.М.*

Белорусский национальный технический университет

Технологический процесс производства фрезерного торфа базируется на выполнении основных операций мобильными машинами и машинно-тракторными агрегатами (МТА). Большая часть машин и МТА, производящих первичную переработку торфа и обеспечивающих его добычу, представляют собой прицепное оборудование к тракторам, как тягово-энергетическим средствам (МЭС).

Значительная энергоемкость операций технологического процесса производства фрезерного торфа и слабая несущая способность разрабатываемых торфяных месторождений предъявляют жесткие требования к тягачам торфяных машин. Широкий шлейф машин и орудий, разнообразие и специфичность условий их эксплуатации в сочетании с явно выраженной сезонностью работ и региональными особенностями расположения торфодобывающих участков выдвигают в числе важнейших следующие показатели, которыми должны обладать современные МЭС торфяных машин и их перспективные модели. Они в целом вытекают из общих требований, предъявляемых к тракторам общего и сельскохозяйственного назначения, объединенных в три основные группы: технологические, технико-экономические и общетехнические.

Следует также учитывать и специальные эксплуатационные качества, определяющие приспособленность МЭС к технологическим требованиям торфяного производства:

- допустимость полной и остаточной деформации залежи под движителем, определяемая соответствием действительного давления в пятне контакта упруго-пластичным свойствам опорного основания;
- допустимость буксования активного движителя;
- вероятность потери проходимости и потери рабочего времени;
- результаты многократного воздействия движителя на профиль поверхности технологических площадок.

Отличительной особенностью фрезерного способа добычи торфа является необходимость в обработке машинно-тракторными агрегатами большого объема площадей. Это выдвигает в число главных требований технико-экономические качества, т. е. производительность и экономичность. Производительность торфяных машин зависит от ширины захвата и скорости движения машинно-тракторного агрегата (МТА),

т. е. от тяговых и скоростных качеств, а также от конструктивных и эксплуатационных факторов. Экономичность трактора определяется себестоимостью выполняемых работ и зависит от расхода топлива, смазочных материалов и их стоимости, расходов на техническое обслуживание и ремонт, срока службы деталей и других факторов. Топливная экономичность зависит, в основном, от удельного расхода топлива двигателей при различных режимах работы, от потерь, возникающих при движении МТА, а также от подбора передач.

* – Работа выполнена под руководством ст. преп. Г.А. Басалая.

УДК 629.331

Требования к колесным движителям тягачей торфяных машин

Гутич В.М.

Белорусский национальный технический университет

Наряду с требованиями, предъявляемыми к тракторам в целом, разработаны также отдельные требования к ходовым системам сельскохозяйственных машин, которые в полной мере можно отнести и к движителям тягачей торфяных машин: тягово-сцепные; проходимость; экологическая совместимость с внешней средой; плавность хода и снижение динамических нагрузок; надежность; устойчивость; управляемость. Установлено, что существенное влияние на вышеперечисленные качества в колесных движителях оказывают как конструктивные особенности шин, так и схемы компоновки колес на ведущих мостах; в гусеничных – резинометаллические обводные ленты в сочетании с катками в виде пневматических колес высокого давления в сравнении с традиционной схемой конструкции гусеничного хода (звенчатая цепь с металлическими траками и жесткие опорные катки); а также пневмогусеницы – в полугусеничных и гусеничных движителях, каждая из которых, являясь основными элементами имеют значительные резервы для улучшения.

Повышение проходимости и тягово-сцепных свойств современных колесных тракторов серийного исполнения на слабонесущих торфяно-болотных грунтах достигается комбинированным применением известных способов. Например, в тракторе со всеми ведущими колесами с принудительной и автоматической блокировкой устанавливают широкопрофильные шины с пониженным давлением воздуха в них, рациональное сочетание которых для определенных условий эксплуатации дает значительный эффект.

* – Работа выполнена под руководством ст. преп. Г.А. Басалая.

**Об инструментарии исследования процессов горных машин
в курсовом и дипломном проектировании**

Таяновский Г.А., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Решение важнейших задач учебного проектирования горной техники направлено на приобретение студентами навыков практического обоснования структуры и параметров новых горных машин.

Структура проектов включает информационный обзор по теме, его анализ, формулирование содержания решаемых инженерных задач, отыскание усовершенствованных технических решений, их сравнение по выбранным критериям и выбор наилучшего, на основе исследования рабочих процессов. Выполняется конструкторская проработка общего устройства выбранного варианта, инженерный расчет и разработка на уровне рабочей документации одной-двух сборочных единиц машины.

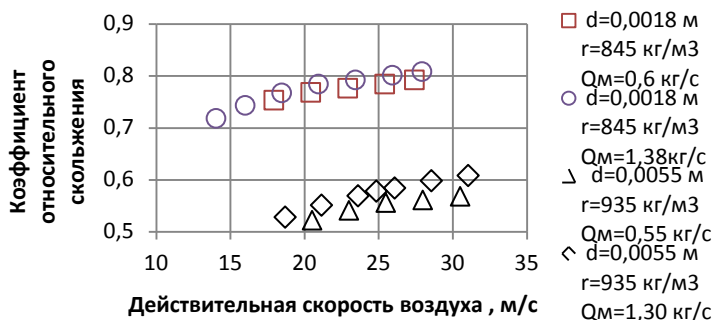
Выбор наилучшего для заданных назначения и условий эксплуатации варианта машины требует конструкторско-изобретательской проработки вариантов структуры будущей машины и исследования статики и динамики их рабочих процессов. Для этого разрабатывают алгоритмы расчетов и программируют задачи исследования. Навыки алгоритмизации инженерных задач студенты приобретают в дисциплинах: информатика, моделирование и численный анализ в горном деле. При этом важно наличие у будущих инженеров навыков программирования задач динамики машин на используемых в КБ производителей горных машин удобных для практической работы алгоритмических языков. Расчеты по конечным формулам из теории горных машин студенты с успехом реализуют обычно в технологии электронных таблиц Excell. Решение же систем дифференциальных уравнений, описывающих неустановившиеся режимы движения приводов исполнительных органов и горной машины в целом, на изучаемом языке Turbo-PASCAL вызывают у них значительные затруднения и при отладке, и при выводе графиков исследуемых процессов, и из-за неудобства использования результатов расчетов. Это связано с большими неприемлемыми на практике затратами времени на программирование. Проще осваиваемые языки получивших сегодня наибольшее распространение для целей исследования и моделирования машин, при решении инженерных задач, программных приложений символьной математики – MathCAD и MatLAB дают студентам мощнейший современный инструмент для исследования процессов горных машин.

Влияние размера и плотности торфяных частиц на коэффициент относительного скольжения

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Значения коэффициентов относительного скольжения воздушной и твердой фаз определялись по методике [1] обработкой экспериментальных зависимостей перепада давления на участке вертикального пневмотранспортного трубопровода от приведенной скорости воздуха. Результаты обработки показали, что торфяные частицы с меньшими значениями среднего диаметра и плотности при пневмотранспорте в трубопроводах одинакового диаметра с близкими значениями массовых производительностей разгоняются до больших скоростей при одной и той же скорости несущей воздушной фазы. Вид зависимостей для двух образцов со средними диаметрами 1,8 мм и 5,5 мм (со скоростями витания 4,8 м/с и 10,8 м/с соответственно) – на рисунке.



Зависимости относительного коэффициента скольжения частиц
от действительных скоростей воздуха

Литература

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.МНТК., Минск, 20 -23 февраля 2009 г. / Часть 1. –Минск, 2009. – С. 106 – 109.

Содержание

Технические и прикладные науки

| | |
|--|-----|
| Электроэнергетика | 3 |
| Теплоэнергетика | 84 |
| Экономика и организация энергетики | 125 |
| Энергетическое строительство | 142 |
| Энергоэффективные технологии | 195 |
| Информационные системы и технологии | 210 |
| Информационные технологии и автоматизация | 248 |
| Металлургические технологии | 307 |
| Литейное производство чёрных и цветных металлов | 313 |
| Порошковая металлургия, сварка и технология материалов | 350 |
| Обработка материалов давлением | 381 |
| Материаловедение в машиностроении | 397 |
| Теория механизмов и машин | 428 |
| Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент | 439 |
| Экономика и организация машиностроительного производства | 452 |
| Горные машины | 480 |

Научное издание

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

Материалы 14-й Международной
научно-технической конференции
(69-й научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава,
научных работников, докторантов
и аспирантов БНТУ)

В 4 томах

Том 1

Ответственный за выпуск *В.В. Ляшенко*

Подписано в печать 08.11.2016. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 29,00. Уч.-изд. л. 22,68. Тираж 100. Заказ 895.

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.

