

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ

Материалы Одиннадцатой Международной
научно-технической конференции

В 4 томах

Том 1

Минск
БНТУ
2013

УДК 001:[37+658+338](063)

ББК 72я431

НЗ4

Редакционная коллегия:

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

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

А. С. Калиниченко – д-р техн. наук

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

ISBN 978-985-550-368-3 (Т. 1)

ISBN 978-985-550-372-0

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

Расчет и анализ аварийных режимов электрической сети при возникновении однофазных повреждений ее элементов

Аскальдович Р.С., Калентионок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Для выполнения расчетов аварийных режимов принята среднестатистическая распределительная электрическая сеть номинальным напряжением 10 кВ отходящая от подстанции 35 кВ “Долмачево”. Для данной схемы сети составлена математическая модель с помощью библиотеки SimPowerSystems в приложении Simulink программного комплекса Matlab. Выполнены расчеты аварийных режимов для следующих видов однофазных повреждений:

- однофазное замыкание на землю без обрыва провода, с обоих концов оборванного провода, с обрывом провода и касанием земли со стороны питания, с обрывом провода и касанием земли со стороны потребителя;
- обрыв провода без замыкания на землю.

Расчеты аварийных режимов выполнены при значениях переходного сопротивления в месте однофазного повреждения от 1 Ом до 1000 Ом.

На рисунке 1 приведен пример изменения параметров режима при однофазном замыкании без обрыва провода при переходном сопротивлении $R_{\text{п}} = 30 \text{ Ом}$.

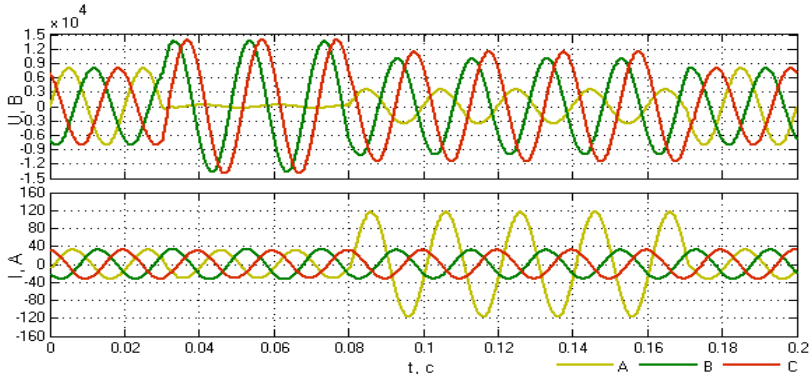


Рисунок 1 - Изменение фазных токов и напряжений при однофазном повреждении

На основе расчетов установлено, что кратковременный перевод однофазного замыкания в режим КЗ позволяет использовать дистанционные методы определения мест повреждения.

**О возможностях моделирования систем возбуждения
синхронных машин средствами библиотеки
Power System Blockset пакета MATLAB**

Золотой А.А., Кунцевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Система автоматического регулирования возбуждения (далее – АРВ) синхронной машины (рисунок 1) состоит из следующих основных элементов: возбудителя; регулятора возбуждения; фильтра низких частот; корректора; ограничителя выходного сигнала регулятора возбуждения; блока обратной связи.

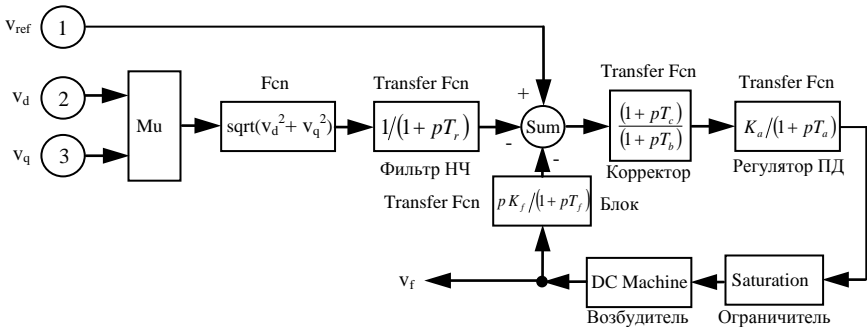


Рисунок 1 - Структурная схема АРВ

Для моделирования системы АРВ были использованы следующие блоки пакета Simulink: блок *Transfer Fcn* библиотеки *Continuous*; блок *Mux* библиотеки *Signal&Systems*; блок *Sum* библиотеки *Math*; блок *Saturation* библиотеки *Nonlinear*; блок *Fcn* библиотеки *Functions&Tables*.

Возбудитель АРВ был представлен машиной постоянного тока с независимым возбуждением (блок *DC Machine* библиотеки *Power System Blockset*). В качестве упрощенной модели возбудителя использовался блок *Transfer Fcn* с передаточной функцией $W_e(p) = K_e / (1 + pT_e)$, где K_e – коэффициент усиления возбудителя, T_e – постоянная времени возбудителя.

Основными входными параметрами блока *DC Machine* являются: сопротивление R_a и собственная индуктивность L_a обмотки якоря; сопротивление R_f и собственная индуктивность L_f обмотки возбуждения; взаимная индуктивность L_{af} между обмоткой якоря и обмоткой возбуждения; момент инерции J (кг·м²) якоря и приводных агрегатов, связанные одним валом.

Классификация методов поиска мест однофазных повреждений в распределительных электрических сетях

Калентионок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Однофазные повреждения в распределительных электрических сетях 6...35 кВ являются довольно частым явлением и составляют, по данным анализа повреждений около (60...70%) общего числа повреждений. Замыкание на землю одной фазы в сети с изолированной нейтралью само по себе не является аварией; продолжительность существования такого режима нормативно-техническими материалами не нормируется и на практике может длиться до нескольких часов. Однако эксплуатировать сеть с таким видом повреждения крайне нежелательно, так как оно приводит к перенапряжениям, способным вызвать двухфазное короткое замыкание неповрежденных фаз или перейти в двойное замыкание на землю, а также создать электро- и пожароопасную обстановку в зоне замыкания. На рисунке приведена классификация методов определения мест однофазных повреждений в распределительных электрических сетях.



Учет показателей надежности и электробезопасности при выборережима заземления нейтрали сети 6-35 кВ

Кустов С.И., Короткевич М. А.

Белорусский национальный технический университет

Анализ отключений в распределительных сетях энергосистемы Республики Беларусь показал, что первоочередной причиной (с долей в 20%) отключений кабельных линий является их непосредственное повреждение, отчасти объясняемое неоптимальным режимом заземления нейтрали сети.

Наиболее часто встречающиеся режимы заземления нейтрали (изолированная и компенсированная нейтраль) обладают рядом недостатков, основными из них являются:

- снижение срока службы изоляции из-за высокого уровня перенапряжений и возможности перехода повреждений в многоместные;
- сложность обнаружения места повреждения и невозможность создания простой и селективной защиты;
- опасность поражения электрическим током персонала и посторонних лиц, животных, оказавшихся вблизи места однофазного замыкания на землю.

Большинство из этих недостатков устраняются при использовании резистора в нейтрали сети. Степень электробезопасности сети с резистивно-заземленной нейтралью увеличивается благодаря меньшему времени существования короткого замыкания (КЗ) (до 3 с) в отличие от сети с компенсированной (изолированной) нейтралью (до 6 часов). Здесь наиболее удобно учитывать увеличение электробезопасности сети в виде диапазона от 1,25 до 5 раз (если принять степень электробезопасности для сети с изолированной и компенсированной нейтралью за 1), что следует из вероятностной методики определения попадания человека или животного под напряжение.

Для учета надежности энергоснабжения воспользуемся таким показателем, как среднее время восстановления:

$$T_{в.ср.} = t_{п} + t_{у}.$$

Здесь $t_{п}$ – время поиска поврежденного участка (для сетей с компенсированной нейтралью может составлять до нескольких часов, а для сети с резистивно-заземленной нейтралью определяется временем работы автоматики и составляет 0,2-3 с), $t_{у}$ – время устранения повреждения – одинаково для различных систем заземления нейтрали.

Вывод: резистивное заземление нейтрали является наиболее перспективным, но учет некоторых показателей требует разработки определенной методики и должен производиться, принимая во внимание индивидуаль-

ность каждой проектируемой электрической сети.

УДК 621.311

Риски потери управляемости при либерализации электроэнергетической отрасли

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Электроэнергетическая система (ЭЭС) в силу своих технологических особенностей (сложность, географическая протяженность, быстрота протекающих процессов, риск потери синхронизма, физическая связь со всеми объектами экономики и социального обеспечения) требует особых подходов при выборе стратегии и идеологии организационно-технической реализации управления.

Составляющим элементом построения устойчивой и адекватной системы управления является контроль управляемости процесса, объекта или среды.

Управляемость, как характеристика управления, также является предметом управления, с соответствующими критериями и методологией.

Формирование всех характеристик объекта управления отражает стоящие задачи по его управлению, и свойственную им (задачам) структуру управляемости объекта.

В самом общем виде управляемость можно определить:

- восприимчивостью среды (объекта) к управляющим воздействиям;
- допустимым диапазоном (наличие ограничений) технологических и организационных изменений режимов и структуры;
- адекватностью, устойчивостью и надежностью системы управления;
- координацией физико-технических и организационно-экономических приемов управления.

При либерализации отрасли происходит замена главного критерия «обеспечение надежного функционирования», на «получение прибыли». Рассуждения об эффективности рыночных методов управления не вскрывают принципиального различия этих критериев оценки и исторических различий стран с плановой и либеральной экономикой. Фактическая смена цели приводит к замене системы управления, которая приходит в противоречие с существующим обеспечением управляемости и требует устранения государственной монополии и дезинтеграции процессов производства, передачи и распределения электроэнергии. При этом допускается появление некомпетентных и недобросовестных посредников, немотивированных на улучшение условий электроснабжения потребителей, вплоть до неконтролируемой реинтеграции собственников и появлению виртуальных монополистов.

Электромагнитная совместимость системы собственных нужд подстанции

Криксин П.В.

Белорусский национальный технический университет

Потребители собственных нужд высоковольтных электрических подстанций выполняют ряд ответственных функций, в связи с чем, возникает актуальная задача обеспечения их надежной работы. Одним из факторов обеспечения надежности работы потребителей является их электромагнитная совместимость с окружающей электромагнитной обстановкой.

Для решения такой задачи авторами был проведен ряд исследований, который включал решение следующих задач: анализ состава потребителей и их ранжирование по требованиям к критериям качества функционирования и выполняемым функциям; анализ электромагнитных воздействий и построение цепочки причинно-следственных связей: помеха – механизм распространения – подвергаемый воздействию порт. Решения этих задач позволили выявить наиболее чувствительные к воздействиям приемники и помехи, которые на эти приемники влияют.

Изучение и анализ требований технических нормативных правовых актов позволил выявить наличие и полноту требований, предъявляемых к помехозащищенности потребителей системы собственных нужд на разных этапах её жизни.

В результате анализа было установлено, что требования, действующие в Беларуси, определяют требования к помехозащищенности системы собственных нужд отрывочно и неполно.

Проведенные на практике исследования системы собственных нужд на высоковольтных электрических подстанциях позволили установить типовые несоответствия с точки зрения требований электромагнитной совместимости.

По результатам проведенных исследований был предложен ряд мероприятий по устранению имеющихся проблем, среди которых можно отметить:

- разработку нормативных документов, регламентирующих в полном объеме требования к электромагнитной совместимости потребителей собственных нужд подстанций высокого напряжения;
- разработку процедурных документов, позволяющих устанавливать и контролировать соблюдение требований технических нормативных правовых актов (типовое техническое задание; чек-листы, позволяющие отслеживать выполнение требований при проектировании, экспертизе документов, проверке электромагнитной обстановки, эксплуатации).

Криксин П.В.

Белорусский национальный технический университет

Молния является одним из наиболее частых и мощных источников помех, воздействующих на электронное оборудование высоковольтных электрических подстанций. Мероприятия по защите от молниевых влияний должны предусматриваться уже на этапе проектирования, реализовываться при монтаже и соблюдаться в течение всего периода эксплуатации объекта.

В течение последних 25 лет в Беларуси действовал стандарт РД 34.21.122-87, который в 2011 году был заменен на ТКП 336-2011. Положения документов имеют существенные отличия между собой, анализ которых был представлен в рамках настоящего доклада.

Среди принципиальных отличий нового ТКП 336 можно отметить:

- введение выбора мероприятий по молниезащите на основании расчета рисков;
- расчет зон защиты от прямых ударов молнии по электрогеометрической модели;
- учет экономических параметров при выборе мероприятий;
- возможность владельцу проектируемого сооружения самостоятельно управлять своими рисками;
- возможность анализа структуры рисков и уменьшение отдельных негативных воздействий молнии;
- наличие широкой базы мероприятий по защите объекта от молниевых воздействий.

Среди сложностей, связанных с введением ТКП 336, можно отметить:

- неоднозначность и сложность выбора коэффициентов, необходимых для расчета рисков;
- необходимость применения специального программного обеспечения для расчета зон молниезащиты;
- сложность получения данных, необходимых для расчета экономических составляющих рисков;
- плохое качество перевода и путаница в применении отдельных терминов;
- новизна методологического подхода, создающая сложности в работе специалистов, широко применявших директивный порядок выбора мероприятий по молниезащите.

По результатам проведенного анализа отмечена актуальность нового подхода и его соответствие современным экономическим условиям.

Опыт расчётов режимов и потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,38-10 кВ РУП "Гомельэнерго"

Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в энергосистемах активно проводится работа по установке в электрических сетях цифровых приборов учёта электроэнергии. Уже практически закончена установка цифровых учётов электроэнергии на всех низковольтных вводах 6–10 кВ питающих трансформаторов и линиях связи с соседними энергоподразделениями, и в ближайшие годы предусматривается их установка на головных участках распределительных линий 6–10 кВ, т.е. ожидается практическая обвязка цифровыми учётами всех точек поступления электрической энергии в сети 0,38-10 кВ.

Важнейшим преимуществом цифровых приборов является то, что они, кроме привычных интегральных показателей, таких как суммарное количество электроэнергии, способны регистрировать и накапливать различные режимные показатели, в том числе и графики потребления электроэнергии с получасовыми или часовыми срезами. Это позволит выполнять оперативные расчёты потерь электроэнергии методами, ранее не применявшимися из-за отсутствия необходимой режимной информации.

Анализ потерь электроэнергии за декабрь 2012 года показал, что львиную долю – 61% от общих потерь в сетях 0,38-10 кВ составляют потери в сетях 0,38 кВ, в то время как нагрузочные потери в сетях 10 кВ составляют 12% и условно постоянные потери 27%.

Структура потерь электроэнергии в сетях 0,38-10 кВ
РУП "Гомельэнерго"



Большая доля потерь в этих сетях обуславливается тем, что практически вся энергия, поступившая в сети 10 кВ за минусом небольшого числа крупных потребителей, питающихся от сети 10 кВ, и потерь в этих сетях

проходит до конечных потребителей по сетям 0,38 кВ, которые в десятки раз более объёмные, чем сети 10 кВ.

УДК 621.316

Использование суперконденсаторов в установках испытания кабелей токами короткого замыкания

Олексюк И.В.

Белорусский национальный технический университет

Токопроводящие жилы силовых электрических кабелей должны быть стойкими к воздействию токов короткого замыкания (КЗ). Значение тока короткого замыкания зависит от материала жилы, площади ее поперечного сечения, свойств изоляции силового электрического кабеля, окружающей среды, а также времени протекания тока КЗ (для токов динамической стойкости – 1 с, для токов термической стойкости – 3...4 с).

Установки для испытания токами короткого замыкания кабелей напряжением 10 кВ с алюминиевыми жилами должны обеспечивать ток динамической стойкости 56,82 кА, ток термической стойкости – 11,16 кА. В качестве источника питания таких установок целесообразно использовать конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы) – известные под названием «суперконденсаторы». График напряжения суперконденсатора (зависимость напряжения от времени) состоит из двух участков: емкостного (изменение напряжения вследствие изменения энергии в суперконденсаторе) и резистивного (изменение напряжения из-за наличия активного сопротивления). При проведении испытаний токами КЗ напряжение на изоляции не стандартизировано, т.е. испытание силовых электрических кабелей с изоляцией на 10 кВ токами термической и динамической стойкости не запрещено испытывать при напряжении менее 10кВ. Процесс выбора суперконденсатора для испытательной установки разделяется на 2 этапа: 1 – определение исходных данных, 2 – расчет параметров и проверка по граничным условиям.

Преимущества суперконденсаторов:

- 1)меньшие габаритные размеры;
- 2)повышенная удельная энергия;
- 3)большое количество циклов «зарядка-разрядка»;
- 4)более высокие рабочие токи;
- 5)широкий интервал рабочих температур;
- б)надежность и долговечность.

В ходе сравнения в качестве источника питания конденсаторов и ионисторов выяснилось, что при использовании конденсаторных установок требуется помещение размером ШхДхВ = 6х20х2,5 м, в то время как при использовании суперконденсаторов – помещение в 13 раз меньше.

Влияние параметров нагрузки на эффективность замены трансформаторов распределительных сетей

Фурсанов М.И., Петрашевич Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Оптимальная или близкая к ней загрузка трансформаторов распределительных электрических сетей 6-10 кВ может быть обеспечена двумя основными путями.

Первый состоит в расчете и подключении к эксплуатируемым трансформаторам оптимальной нагрузки.

Второй – в замене установленных в сети трансформаторов на оптимальные номинальные мощности. Наиболее практичным в эксплуатации будет замена трансформаторов.

Однако одновременная оперативная замена большого числа трансформаторов в разветвлённых распределительных сетях представляет собой трудную, а порой и невыполнимую задачу.

В таком случае оптимизацию электрической сети целесообразно проводить последовательно, трансформатор за трансформатором. На каждом таком шаге состояние сети можно определять как некий локальный оптимум.

Задача поиска локального оптимума сводится к отысканию мощности трансформатора, которая даёт наибольший экономический эффект, и, соответственно места установки данного трансформатора.

В качестве критерия оптимальности был принят показатель индекса доходности, представляющий собой степень чувствительности показателя разности суммарных приведенных затрат до и после замены трансформатора к величине капитальных затрат на замену указанного трансформатора.

Индексы доходности замены позволяют характеризовать текущее состояние трансформаторной подстанции.

Построенные зависимости индекса доходности от параметров нагрузки позволяют определить его текущее состояние с точки зрения целесообразности замены и прогнозировать её эффективность.

В ходе исследования была разработана методика поэтапной оптимизации замены трансформаторов распределительных электрических сетей 6-10 кВ на основе теории чувствительности.

Кроме того, выполнена оценка влияния параметров нагрузки на эффективность замены трансформаторов, и показано, что наиболее эффективен первый шаг оптимизации, который особенно важен в условиях ограниченности финансовых средств.

Расчет мощности компенсирующих устройств с учетом действующих средств регулирования напряжения

Прокопенко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Многочисленные расчеты, проведенные для различных схем электрических сетей энергосистем, показали, что расчет мощности и мест установки компенсирующих устройств должен проводиться во взаимосвязи с задачей оптимизации режима работы сети за счет действующих средств регулирования напряжения и реактивной мощности.

Для решения данной задачи разработана методика:

- производится оптимизационный шаг по изменению коэффициента (ов) трансформации автотрансформаторов связи, установленных в сети, и рассчитывается ожидаемый экономический эффект;

- рассчитывается суммарное изменение напряжений узлов сети;

- определяются оптимальные места установки и мощности компенсирующих устройств, приводящие к одинаковому суммарному изменению напряжений узлов сети, что и при изменении коэффициента (ов) трансформации;

- рассчитывается ожидаемый экономический эффект от установки компенсирующих устройств;

- анализируются экономические эффекты от изменения режимов работы действующих регулирующих устройств и установки дополнительных компенсирующих устройств, и выбирается более эффективное мероприятие;

- оптимизационный расчет повторяется при новом исходном режиме.

При сравнении эффективности изменения реактивной мощности действующих в сети источников реактивной мощности и планируемых к установке компенсирующих устройств сравниваются решения: изменение реактивной мощности действующих источников и установка оптимальным образом компенсирующих устройств той же мощности.

Проведенные по данной методике расчеты показывают, что в большинстве случаев компенсация реактивной мощности приводит к значительно большему экономическому эффекту, чем от изменения параметров действующих в сети средств регулирования напряжения и реактивной мощности.

Методика расчета мощности компенсирующих устройств с учетом действующих средств регулирования напряжения полностью формализована и прошла проверку практическими расчетами на разных схемах электрических сетей энергосистем.

Определение рациональной периодичности выполнения работ технического обслуживания электрических сетей

Рудницкая О.В.

Белорусский национальный технический университет

Система планово-предупредительного ремонта (ППР) оборудования – система технических и организационных мероприятий, направленных на поддержание и (или) восстановление эксплуатационных свойств технологического оборудования и устройств в целом и (или) отдельных единиц оборудования, конструктивных узлов и элементов.

Система ППР оборудования имеет следующие преимущества:

- 1) контроль продолжительности межремонтных периодов работы оборудования;
- 2) регламентирование времени простоя оборудования в ремонте;
- 3) прогнозирование затрат на ремонт оборудования, узлов и механизмов;
- 4) анализ причин поломки оборудования;
- 5) расчет численности ремонтного персонала в зависимости от ремонтосложности оборудования.

Наряду с видимыми преимуществами, существует и ряд недостатков системы ППР.

- 1) отсутствие удобных инструментов планирования ремонтных работ;
- 2) трудоемкость расчетов трудозатрат;
- 3) трудоемкость учета параметра-индикатора;
- 4) вывод в ремонт оборудования, не нуждающегося в ремонте;
- 5) сложность оперативной корректировки планируемых ремонтов.

Несмотря на то, что система ППР предполагает безаварийную модель эксплуатации и ремонта оборудования, на практике приходится учитывать и внеплановые ремонты.

Ко всему прочему необходимо отметить факт постоянного увеличения электрической сети, что ведет к увеличению объемов работ по эксплуатации и ремонту оборудования при системе ППР, что в свою очередь приводит к увеличению числа электросетевого персонала, и, как следствие, к удорожанию передачи электроэнергии.

В работе рассмотрены варианты перехода от системы ППР к системам аварийно-восстановительных ремонтов или ремонтов по техническому состоянию электросетевых объектов. По результатам проведенного анализа было определено, что оптимальным будет переход от системы планово-предупредительных ремонтов к системе аварийно-восстановительных.

Определение целесообразности сооружения подстанций с тремя силовыми трансформаторами

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

В Белорусской энергосистеме большое количество подстанций напряжением 330/110/10 кВ имеют три автотрансформатора, один из которых обычно находится в отключенном состоянии (в резерве). Трехтрансформаторные подстанции позволяют снизить не только суммарную, но и, что более существенно, единичную мощность трансформаторов. Это позволяет проще решать проблемы строительства, эксплуатации и ограничения токов короткого замыкания на шинах вторичного напряжения. Оценка эффективности сооружения трехтрансформаторных подстанций напряжением 330/110/10 кВ вместо двухтрансформаторных подстанций аналогичной мощности должна проводиться на основе сравнения капитальных вложений, потерь мощности и электроэнергии в элементах подстанции, а также исходя из достижения максимума надежности подстанции.

Оценим надежность схем электрических соединений одной подстанции Белорусской энергосистемы напряжением 330/110/10 кВ (таблично-логическим методом с помощью программы “ТОPAS”) при различном количестве автотрансформаторов и различных схемах электрических соединений распределительного устройства напряжением 330 кВ. Вероятность отказа выключателя при отключении короткого замыкания была принята равной 0,002. Время оперативных переключений в расчетах принято равным 0,5 ч. Результаты вычислений представлены в таблице 1.

Таблица 1- Показатели надёжности типовых электрических схем распределительного устройства напряжением 330 кВ при изменении количества трансформаторов на подстанции

Тип электрической схемы РУ	Количество трансформ.	$\lambda_{\text{сум}}$, 1/год	$T_{\text{вс}}$, ч	$K_{\text{нг}}$, о.е.
Трансформаторы - шины с присоединением линий через два выключателя	2	0,0115	0,5	$656,4 \cdot 10^{-9}$
Трансформаторы - шины с присоединением линий через два выключателя	3	$0,632 \cdot 10^{-3}$	0,54	$38,96 \cdot 10^{-9}$
Трансформаторы - шины с присоединением линий через два выключателя, третий трансформатор подключен через два выключателя	3	$0,644 \cdot 10^{-3}$	0,51	$37,5 \cdot 10^{-9}$
Полуторная схема	2	0,0111	0,5	$633,56 \cdot 10^{-9}$
Полуторная схема, один из трансформаторов подключен через два выключателя	3	$0,997 \cdot 10^{-4}$	0,5	$5,69 \cdot 10^{-9}$

Самооценка компетенций выпускников электроэнергетической специальности

Федин В.Т., Мышковец Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Одной из форм диагностирования компетенций студентов может служить самооценка компетенций самими студентами. На кафедре «Электрические системы» БНТУ в течение ряда лет проводится работа по самооценке компетенций студентов разных курсов.

Самооценка компетенций проводится по двум направлениям. В первом направлении используется анкета из проекта TUNING, в которую отобраны 30 универсальных компетенций. Респонденты оценили важность каждой компетенции и уровень ее достижения в результате обучения в данном вузе.

Выпускники указали на ряд компетенций, имеющих для них наибольшее значение, а поэтому и должны быть сформированы, по их мнению, на более высоком уровне. Наиболее обеспеченными в вузе компетенциями являются: «Работа в команде», «Навыки управления информацией», «Способность работать самостоятельно» и т.д. Обнадеживает то, что важность компетенций и уровень, который для студентов обеспечен вузом, имеет незначительную разницу средних значений в рейтинге значимости.

По второму направлению студентам предлагается оценить приобретенные компетенции в соответствии с образовательным стандартом специальности по 10 балльной шкале, принятой в образовательном процессе Республики Беларусь.

Наибольшее количество компетенций были оценены выпускниками от 5 до 7 баллов. Хотя этот показатель не высок, все же данную самооценку большинства компетенций следует признать положительной. Вместе с тем, можно высказать следующие предположения о таком уровне баллов: недостаточно глубокий уровень подготовки специалистов; завышение заявленных компетенций в образовательном стандарте, который можно рассматривать как опережающий стандарт; высокая самокритичность выпускников. Что касается оценки компетенций от 7 до 9 баллов, то они явно завышены у студентов заочного отделения. Это можно объяснить недостаточным осознанием требований, которые предъявляются к современному инженеру, и излишней самоуверенностью в том, что они «все знают и умеют».

Анализ результатов анкетирования показал, что на протяжении ряда лет количественная оценка компетенций (в баллах) по многим компетенциям изменяется мало.

Тенденции применения релейной защиты на электромеханической и микропроцессорной элементных базах

Бобко Н.Н., Некриш В.В.

Белорусский национальный технический университет

В энергетике Республики Беларусь наблюдается тенденция использования устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) на микропроцессорной (МП) элементной базе. Формируется мнение о том, что право на существование имеют только МП защиты, а устройства РЗА на электромеханической элементной базе полностью устарели. Наряду с улучшением технических характеристик МП защиты обрабатываются общим процессором, подключаются к единственному встроенному блоку питания. При выходе из строя этих узлов присоединение может лишиться целого комплекса защит. Тестирование может обеспечить около 80 % выявления внутренних дефектов изделия. Имеется информация об отказах МП защит при снижении температуры до -37°C . Снижает надежность работы МП защит «человеческий фактор», проявляющийся при программировании и эксплуатации сложных МП защит.

Вышеописанные факты обязывают проектировщиков задуматься о реализации комплексной многоуровневой системы релейной защиты. Первый уровень системы РЗА выполняется на МП защитах и является основным. При этом второго уровня, реализованного на электромеханической элементной базе, должно быть достаточно, чтобы подстанция несла нагрузку при полном отказе первого уровня.

Второй уровень должен быть минимизирован по количеству элементов и по стоимости.

При отказе первого уровня подстанция должна быть полностью обеспечена защитами всех присоединений и возможностью управления коммутационными аппаратами хотя бы в ручном режиме. Таким образом, основное назначение второго уровня подсистемы РЗА на электромеханической элементной базе – работа в экстремальных ситуациях.

МП защиты и электромеханические реле являются не конкурентами, а дополняют друг друга. МП защиты в экстремальных ситуациях дают сбой в функционировании или отказ. А электромеханические устройства РЗА в этих условиях функционируют почти всегда. Оба устройства вместе перекрывают всю зону работы – от нормальных до экстремальных условий.

О некоторых аспектах оптимизации самостоятельной работы студентов-заочников

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях, когда поток информации быстро растет, особое значение приобретает умение студента самостоятельно выбирать из огромного потока информации главное, применять теоретические знания к решению практических задач. Учитывая столь важную роль самостоятельной работы в процессе подготовки специалиста, необходимо со всей серьезностью относиться к ее планированию, организации и контролю. Особую остроту проблема совершенствования самостоятельного учебного процесса студентов приобретает при подготовке специалистов без отрыва от производства. В обучении студентов-заочников основной акцент переносится на межсессионную самостоятельную работу.

Планирование самостоятельной работы студентов-заочников осложняется целым рядом факторов: не все студенты работают по специальности; восприимчивость материала зависит от возраста студентов, а он у заочников неодинаков, также неодинакова их базовая подготовка; у студентов-заочников ограничен бюджет свободного времени; ряд дисциплин недостаточно обеспечен методическими пособиями.

Наличие в учебном плане определенного объема часов на самостоятельную работу требует от каждой кафедры пересмотра содержания учебного материала, согласования по каждой дисциплине, а внутри дисциплины – по каждому виду работы.

Контрольные и курсовые работы студентов-заочников, являясь одной из форм самостоятельной межсессионной работы, выполняют и функцию контроля самостоятельной работы. Выполнение контрольных и курсовых работ планируется учебным графиком студента, определяющим количество работ и сроки их выполнения, скоординированные со сроками проведения лабораторно-экзаменационных сессий.

Большую помощь в организации самостоятельной работы студентов в межсессионный период оказывают консультации. Эффективность консультаций можно существенно повысить, если их проводить по темам, наиболее сложным для усвоения. Активная беседа преподавателя со студентами во время такой консультации позволяет определить недостатки в организации самостоятельной работы студентов по конкретной дисциплине, а также дать им полезные рекомендации.

Упрощенные методы расчета самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций

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

Кафедра «Электрические станции» БНТУ имеет большой опыт разработки инженерных методов расчета и оценки поведения устройств релейной защиты и автоматики электроэнергетических объектов. Расчет режимов самозапуска проводится в ходе вычислительного эксперимента при исследовании математической модели схемы электропитания асинхронных двигателей (АД) собственных нужд (СН). Математическая модель АД СН содержит модели асинхронных электродвигателей, источников питания, трансформаторов собственных нужд и измерительных трансформаторов, соединительных линий, а также смежных элементов. Математическим аппаратом таких программ являются нелинейные алгебраические и дифференциальные уравнения.

Длительность исследуемых режимов при самозапуске может составлять единицы и десятки секунд. При таком достаточно большом расчетном интервале времени необходимо, чтобы программы вычислительного эксперимента имели качественные и количественные характеристики работоспособности, обеспечивающие устойчивость решения, быстродействие, точность и достоверность выдаваемых результатов на всем расчетном интервале. Свойства программ вычислительного эксперимента и их характеристики работоспособности определяются используемыми математическими моделями и алгоритмами их совместного решения. Компьютерные системы динамического моделирования (СДМ), такие как Simulink-MatLab, Electronics WorkBench и др., позволяют исследовать различные режимы работы электротехнических и электронных устройств, проводя вычислительный эксперимент в среде самой СДМ. При этом используются модели, имеющиеся в библиотеке моделирующей системы, а математические уравнения моделей устройств или сложных систем формируются и решаются автоматически. Таким образом, при использовании СДМ исключаются такие этапы математического моделирования, как составление математического описания объектов, разработка алгоритмов решения математических моделей и написание компьютерных программ вычислительного эксперимента. Эти этапы заменяются в СДМ этапом создания модели исследуемого объекта из стандартных модулей, имеющихся в библиотеке моделирующей системы.

Импульсные характеристики заземлителей электроустановок

Дерюгина Е. А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время исследованию импульсных характеристик заземлителей электроустановок уделяется большое внимание. Связано это, в первую очередь, с вопросами обеспечения электромагнитной совместимости и оценки электромагнитной обстановки современных электроэнергетических объектов.

В [1] предложен метод расчета электромагнитных характеристик вертикальных заземлителей при стекании импульсных токов молнии. На основе данного метода разработана программа расчета импульсных характеристик заземлителей и проведен вычислительный эксперимент. Ниже рассмотрены наиболее характерные результаты исследований.

В хорошо проводящих грунтах при стекании в заземлитель импульсного тока молнии амплитуда напряжения на заземлителе опережает по времени амплитуду тока, причем опережение более существенно проявляется с увеличением длины заземлителя. Отмеченное свидетельствует о том, что с ростом длины заземлителей существенно влияют индуктивные параметры земли, а импульсные сопротивления заземлителей больше (до 20 раз) своих значений в стационарном режиме.

В плохо проводящих грунтах заметно проявляются емкостные параметры земли. Амплитудные значения напряжений заметно отстают от амплитуд тока, а импульсные сопротивления заземлителей возрастают в переходном режиме до значений в стационарном режиме. В момент максимума тока импульсные сопротивления значительно меньше стационарных значений, а при достижении максимума напряжения они соизмеримы значениям в стационарном режиме.

Приведенные результаты показывают, что импульсные сопротивления заземлителей существенно зависят от проводящих свойств земли и формы импульса тока.

Литература:

1. Герасимович, Д. А. Метод расчета электромагнитных характеристик вертикальных стержневых заземлителей при стекании импульсных токов молнии / Д. А. Герасимович, Е. А. Дерюгина // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2011. – № 6. – С. 12–20.

УДК 621.311

Разработка методики для определения эффективных режимов работы технологического оборудования с кусочно-непрерывными расходными характеристиками

Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В.

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

В условиях, когда технологическое оборудование характеризуется кусочно-непрерывными расходными характеристиками, а предприятия расплачиваются за потребляемую электроэнергию по многоставочным тарифам, возможно несколько эффективных режимов работы технологического оборудования, где под эффективным режимом работы понимается такой режим, при котором достигается максимальное снижение электропотребления либо энергозатрат при заданной производственной программе и многоставочных тарифах на электроэнергию.

Определение эффективных режимов работы технологического оборудования осуществляется в следующем порядке:

- производится анализ структуры и эффективности электропотребления предприятия, имеющего в своём составе потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками;
- формируется информационная база данных, содержащая данные по режимам работы оборудования, его расходные характеристики и факторы, влияющие на режим потребления электроэнергии;
- разрабатываются математические модели электропотребления приемников с кусочно-непрерывными расходными характеристиками;
- производится оптимизация электрических нагрузок по различным критериям в условиях нестабильности производственной программы;
- разрабатываются рекомендации по определению и оценке наиболее эффективных режимов работы оборудования в рыночных условиях функционирования.

Предложенная методика была проверена в условиях ряда промышленных предприятий. Экономический эффект достигается за счет формирования оптимального графика электрических нагрузок и оптимального распределения времени работы технологического оборудования в течение расчетного периода.

В результате был установлен потенциал энергосбережения для ряда предприятий: снижение расхода электроэнергии может составить до 6%, снижение затрат на покупку электроэнергии может составить до 12%, что возможно без существенных денежных вложений.

Самозапуск электродвигателей собственных нужд ТЭС

Липская Е.В., Новак А.В., Баран А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Самозапуск электродвигателей (ЭД) собственных нужд (СН) тепловых электростанций является одним из важнейших режимов, обеспечивающих непрерывность технологического процесса и устойчивую бесперебойную работу теплоэнергетического оборудования при перерывах питания и повторной подаче напряжения на шины СН, соответствующую требованиям нормативно-технических документов [1].

Неуспешный самозапуск ЭД СН может привести к аварийному останову котлов и турбогенераторов, что связано с большим экономическим ущербом из-за недоотпуска электроэнергии и тепла, отключения ответственных потребителей, а также к повреждению основного оборудования.

Возможность осуществления самозапуска должна предусматриваться на стадии проектирования путем выбора соответствующих схем электропитания, силового оборудования, релейной защиты и автоматики. В ряде случаев (при замене одного типа ЭД другим, подключении дополнительных ЭД к шинам СН, при замене токоограничивающего реактора или силового трансформатора СН, при проверке возможности самозапуска ЭД нескольких секций разных энергоблоков от одного пускорезервного трансформатора СН) при эксплуатации ТЭС также возникает потребность в проверке успешности самозапуска ЭД СН, возникающего в результате кратковременных перерывов питания. Сложную схему электропитания или при необходимости более детальный расчет режимов перерыва питания и самозапуска ЭД СН рекомендуется выполнять с помощью ЭВМ.

В настоящее время наиболее эффективным методом исследования переходных и аварийных режимов электроэнергетического оборудования является метод математического моделирования с проведением вычислительного эксперимента на ЭВМ. Реализация этого метода состоит из этапов математического описания исследуемого объекта, разработки алгоритма решения полученной математической модели, написания компьютерной программы на алгоритмическом языке программирования и проведения вычислительного эксперимента.

Литература:

1. Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. МУ 34-70-026-82. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.

**Математические модели трехфазных трансформаторов
в системах динамического моделирования**

Новаш И.В., Пашковский А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из универсальных методов моделирования является математическое, которое ставит в соответствие моделируемому физическому процессу систему математических соотношений. Решение математической модели позволяет получить ответ на вопрос о поведении объекта без создания физической модели, которая часто оказывается дорогостоящей и неэффективной.

Трехфазный силовой трансформатор является одним из основных элементов энергетического оборудования, без которого невозможно моделирование любой электроустановки. Поэтому необходима достаточно точная его математическая модель.

В системе динамического моделирования SIMULINK существуют свои собственные модели трансформаторов, которые созданы на основе теории Роговского и могут быть использованы в различных задачах моделирования. Однако в переходных режимах, таких как включение или восстановление после отключения внешнего короткого замыкания, данные модели не дают точных результатов, которые соотносились бы с полученными на практике результатами.

Низкая практическая ценность теории Роговского вызвала у специалистов неудовлетворенность и потребность в более совершенной теории. С этой целью была разработана вторая теория рассеяния. Согласно этой теории магнитное поле трехфазного трехстержневого трансформатора содержит четыре области, каждая из которых занята только одним магнитным потоком, одинаковым на всем ее протяжении. Это магнитные потоки в ярме, стержне, межобмоточном канале и потоки, которые замыкаются через стенки бака трансформатора и окружающее пространство, при этом они нигде не накладываются друг на друга. Вторая теория рассеяния позволяет рассматривать мгновенные потоки и МДС с учетом изменения магнитной проницаемости стали в ходе процесса, причем раздельно в областях стержня и ярма.

На основании второй теории рассеяния была создана математическая модель трехфазного трансформатора с концентрическими обмотками, а также проведены исследования данной модели в системе динамического моделирования SIMULINK.

Это поможет получить более достоверные данные при моделировании и исследовании переходных режимов на энергетических объектах.

Исследование режимов самозапуска в системах динамического программирования

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

В данной работе разработаны структурные схемы вычислительного эксперимента для исследования режимов самозапуска асинхронных двигателей (АД) собственных нужд (СН) в системе динамического моделирования (СДМ) Simulink-MatLab и проведено сравнение полученных результатов расчетов самозапуска с расчетными данными, получаемыми с помощью программных комплексов, разработанных кафедрой «Электрические станции» БНТУ.

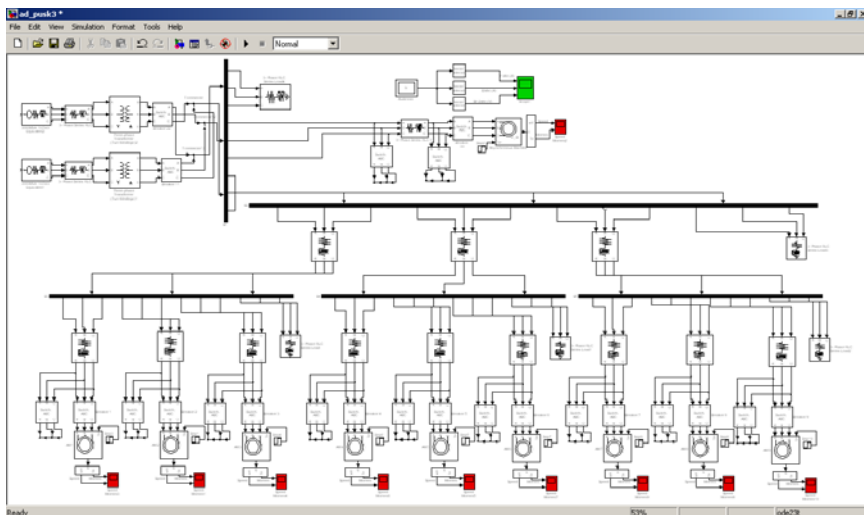


Рис. 1. Структурная модель электропитания АД СН

Структурная модель системы электропитания СН 0,4 кВ приведена на рис. 1. Все элементы схемы характеризуются физическими параметрами, количественно и качественно влияющими на процессы при самозапуске АД. При разработке структурной модели системы электропитания каждый элемент схемы представлялся или отдельным блоком или учитывался своими параметрами в обобщенных моделях структурной схемы.

Расчёт максимальных тяжений расщеплённых проводов при коротком замыкании.

Сергей И.И., Потачиц Я.В.

Белорусский национальный технический университет

Оценка электродинамической стойкости расщеплённых проводов воздушных линий заключается в проверке их схлёстывания и механической прочности. Для проверки схлёстывания нужно выявить наибольший размах колебаний при коротких замыканиях (КЗ). Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщеплённой фазы обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщеплённой фазы при КЗ. Испытания в опытных пролётах показали, что при определённом сочетании конструктивных параметров расщеплённой фазы и величины токов КЗ возникает схлёстывание проводов. После схлёстывания провода фазы двигаются под действием междуфазных электродинамических усилий. В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных сил происходит резкое увеличение тяжения фаз. Указанный пик тяжения был назван первым максимумом $T_{1\max}$.

Из условия упругой деформации по закону Гука и уравнений равновесия моментов получена формула:

$$H_{\max} = H_0 + \frac{EA}{1} \left[\frac{s(1 - \cos \beta_{\max})}{\sin \beta_{\max}} - \frac{q^2 l^3}{24H_0^2} \right] \quad (1)$$

Расчёт силы сжатия распорки производится по следующему выражению:

$$F_p = 2H_{\max} \operatorname{tg} \beta_{\max}. \quad (2)$$

После того как β_{\max} определено методом половинного деления, выполняется расчёт H_{\max} и T_{\max} .

Силюк С.М.

Белорусский национальный технический университет

В рамках реализации государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь в 2013 году осуществляется первый выпуск по специальности «Паротурбинные установки атомных электрических станций». В целях закрепления полученных теоретических знаний учебным планом специальности предусмотрены четыре практики общей продолжительностью 18 недель. Ознакомительная практика после 1-го курса продолжительностью 2 недели и первая технологическая практика после 3-го курса организовывались на тепловых электрических станциях Белорусской энергосистемы. Во время этих практик студенты ознакомились с технологическим процессом и оборудованием по производству тепловой и электрической энергии на традиционных тепловых электрических станциях (ТЭС). Для закрепления специальных теоретических знаний и подготовки к успешному выполнению дипломного проекта, сбору материалов, необходимых для его выполнения технологическая практика после 4-го курса и преддипломная практики осуществлялись в Севастопольском национальном университете ядерной энергетики и промышленности, Нижегородском государственном техническом университете им. Алексея, Санкт-Петербургском научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте «Атомэнергопроект», на Нововоронежской атомной станции, Смоленской атомной станции, в Госатомнадзоре, на атомной электрической станции (АЭС) Федеративной республики Германии. Будучи на практике в ФРГ, студенты познакомились с эксплуатацией АЭС, с технологиями вывода АЭС из эксплуатации, с вопросами радиационной защиты, временного хранения отходов на территории АЭС. Помимо посещения объектов ядерной энергетики, в ФРГ студенты ознакомились с современными технологиями, обеспечивающими высокую эффективность и экологичность энергетического производства, в том числе с парогазовой, а также с технологиями возобновляемой энергетики. В настоящее время уже к существующим базам практики добавляются новые, а именно: Калининская атомная станция, Ростовская атомная станция, Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ (Москва). Прделанная работа кафедры «Тепловые атомные станции» энергетического факультета позволяет надеяться на то, что выпускники специальности «Паротурбинные установки атомных электрических станций» будут успешно трудиться на первой Белорусской АЭС.

Реконструкция устройств частотной делительной автоматики

Тополев В.А.

Республиканское унитарное предприятие «БелТЭИ»

Одной из важнейших задач, которую необходимо решать при переходе к рыночным отношениям в энергетике, является модернизация средств противоаварийной автоматики и релейной защиты, так как распределение потоков мощности, обусловленное правилами рынка и правилами централизованного ведения режимов, не совпадает ни по критериям, ни по результатам.

В связи с опасностью снижения частоты при выполнении противоаварийной автоматики установлены жесткие требования к ее функционированию. В соответствии с Правилами устройства электроустановок, автоматическое снижение частоты должно выполняться с таким расчетом, чтобы при любом возможном дефиците активной мощности в энергосистеме снижение частоты ниже 45 Гц полностью исключалась, время работы с частотой ниже 47 Гц не превышало 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц – 60 с. Подобные жесткие требования, как показал опыт работы, себя полностью оправдали.

Иное положение сложилось с автоматическим ограничением снижения напряжения (АОСН). В настоящее время состав потребителей электроэнергии значительно изменился, что приводит к обострению возникновения дефицита реактивной мощности в сети.

На современных энергоблоках при системных авариях предусмотрены устройства частотной делительной автоматики (ЧДА), выделяющие электростанцию на работу собственных нужд (СН) с частью нагрузки в зависимости от доаварийного баланса мощностей. Однако при снижении напряжения в сети потребляемая активная мощность нагрузки, основной долей которой является асинхронные двигатели (АД), значительно не изменится, в то время как потребляемая реактивная мощность нагрузки приводит к значительному нарушению баланса реактивной мощности. Ввиду отсутствия в ЧДА иных пусковых органов, возникает опасность отключения всех энергоблоков от релейной защиты генераторов при его перегрузке током ротора.

Данное обстоятельство дает предпосылки к разработке новых подходов для автоматики выделения электростанции при авариях в энергосистеме, сопровождающихся нарушением баланса как активной, так и реактивной мощностей.

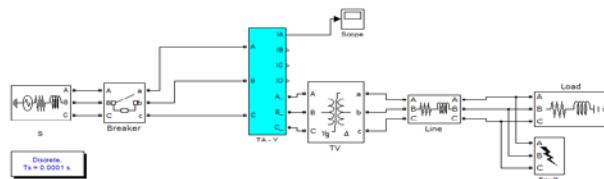
Моделирование трехфазной группы трансформаторов тока в системе SIMULINK

Румянцев Ю.В.

Республиканское унитарное предприятие «Белэнергосетьпроект»

Основным фактором, вызывающим искажения вторичного тока трансформаторов тока (ТТ), является ток намагничивания. В основу математической модели трехфазной группы ТТ положена математическая модель одиночного ТТ [1].

Модель реализована в системе Simulink с использованием блоков библиотеки SimPowerSystems, которая включает в себя множество моделей электротехнических устройств, однако стандартный блок ТТ в ней отсутствует. Трехфазная группа ТТ содержит три модели однофазных ТТ, объединенных в блок «ТА-У». Исследования проводилось на модели электрической сети, представленной на рисунке.



Линия напряжением 10,5 кВ и длиной 10 км получает питание от силового трансформатора 115/10,5 кВ мощностью 16 МВА с нелинейной характеристикой намагничивания.

В результате расчетов получена существенно искаженная кривая вторичного тока ТТ, что объясняется глубоким насыщением магнитных систем силового трансформатора «TV» и группы трансформаторов тока ТТ. Во вторичном токе явно выражена 2-я гармоника, уровень которой с течением времени уменьшается.

Аналогичные результаты получаются и при моделировании трехфазного и междуфазных коротких замыканий на линии с помощью стандартного блока Fault из библиотеки SimPowerSystems.

Литература:

1. Романюк Ф.А., Новаш В.И. Информационное обеспечение вычислительного эксперимента в релейной защите и автоматике энергосистем. – Мн.: ВУЗ-ЮНИТИ, 1998. – 174 с.

Развитие компьютерной программы расчеты электродинамической стойкости жесткой ошиновки распределительных устройств 10 кВ

Шпаковский А.А., Баран А.Г., Климкович П.И.
Белорусский национальный технический университет

Компьютерная программа (КП) RigidBusbars является логическим продолжением программы EDU. Развитие программы EDU стало невозможным из-за неверно заложенной архитектуры на этапе проектирования, что в дальнейшем привело к необоснованному возрастанию трудоемкости на внесение дополнительного функционала в базовую программу.

Основываясь на опыте, полученном при создании КП EDU, решено:

– Использовать концепции объектно-ориентированного программирования (ООП), такие как полиморфизм, наследование, инкапсуляция. Это позволило составить программу из мало зависящих друг от друга частей; таким образом, изменения в одной ее части не влияют на всю программу целиком. Наиболее значимым и заметным результатом стало разделение визуального интерфейса и расчетной части кода программы. Также следует заметить, что из-за слабой связи компонентов программы между собой появилась возможность повторного использования кода, в других проектах;

– Использовать классические паттерны проектирования, что облегчает организацию взаимодействия между различными частями программы. Так, использование MVC (model view controller) дало возможность простой организации интерактивного интерфейса;

– Найти решение для создания библиотеки напрямую из кода на языке Фортран. Перенос кода с одного языка программирования сам по себе является непростой задачей, однако также необходимо учитывать, что полностью набранный код на другом языке может в результате работать неверно из-за несоответствий типов переменных и различных способов представления данных в памяти компьютера. Тем не менее, самой большой проблемой стала необходимость полного переписывания расчетного кода для соответствия принципам ООП. Создание библиотеки и помещение ее в специальную обертку (wrapper) помогло избежать необходимости переписывания логики работы программы.

Сложности, возникающие при начальной организации архитектуры в соответствии с шаблонами проектирования, компенсируются в дальнейшем удобством и простотой внедрения дополнительного функционала.

В качестве среды разработки была выбрана интегрированная среда разработки программного обеспечения – Visual Studio 2010 (позднее Visual

Studio 2012). Следует заметить, что использовалась лицензионная копия Visual Studio, полученная в рамках проекта Dreamspark от Microsoft.

УДК 621.316

Компьютерная программа для расчета электродинамической стойкости воздушных линий электропередачи

Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Климович П.И.
Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Электрические станции» уже много лет занимаются проблемой электродинамической стойкости гибкой ошиновки распределительных устройств. Разработан векторно-параметрический метод расчета динамики гибких проводников, в основе которого лежат уравнения движения гибкой упругой нити. На основе разработанного метода составлены компьютерные программы для расчета параметров электродинамической стойкости гибких шин распределительных устройств.

В настоящее время, в связи с ростом уровней токов короткого замыкания (КЗ), проблема электродинамической стойкости гибких проводников становится актуальной и для воздушных линий электропередачи, несмотря на то, что расстояния между проводами соседних фаз больше, чем в распределительных устройствах. Факторами риска с точки зрения электродинамической стойкости для воздушных линий являются большая длина пролета, бо

Климович П.И. Возможная продел

Была составлена компьютерная программа расчета электродинамической стойкости воздушных линий электропередачи «LINEDYS+» на основе разработанных ранее программ для распределительных устройств с учетом особенностей воздушных линий. В программе учитываются основные конструктивные элементы пролетов линий электропередачи с гибкими проводниками: опоры, гирлянды изоляторов, а также различные параметры короткого замыкания и климатические условия, предшествующие и сопутствующие короткому замыканию.

Для оценки достоверности результатов расчета по компьютерной программе проведено сопоставление расчетных и экспериментальных данных.

УДК 621.316.925

Математическая модель дифференциальной защиты трансформатора

М.С.Ломан
Открытое акционерное общество «Белэнеогоремналадка»

Важным этапом разработки устройства дифференциальной защиты

трансформатора (ДЗТ) является комплексная проверка его функционирования в широком диапазоне режимов работы трансформатора. К способам проверки можно отнести лабораторные испытания, натурные испытания на объекте энергосистемы, испытания на математической модели. Лабораторные и натурные испытания позволяют проверить работу ДЗТ в ограниченном наборе режимов. Математическая модель позволяет рассмотреть весь необходимый диапазон режимов работы.

Для формирования входных сигналов ДЗТ использовалась математическая модель понижающего трансформатора, разработанная на кафедре «Электрические станции» БНТУ. Данная модель позволяет исследовать режимы нормальной работы, включения на холостой ход трансформатора, коротких замыканий (КЗ) внутри и вне защищаемой зоны, в том числе сопровождающихся насыщением трансформаторов тока (ТТ). Достоверность и адекватность разработанной модели ДЗТ оценивалась на основе её сравнения с результатами, полученными при натуральных испытаниях устройства ДЗТ типа МР801. В разработанной математической модели применен оригинальный алгоритм определения внешнего повреждения. Использование данного алгоритма повышает надежность отстройки ДЗТ от внешних КЗ.

Предлагаемая математическая модель ДЗТ показала идентичные натурным испытаниям результаты работы логической части. Алгоритм определения внешнего КЗ, входящий в состав математической модели, показал правильные результаты работы при внешних КЗ (наличие блокировки) и при бросках намагничивающего тока (отсутствии блокировки).

Предлагаемая математическая модель может быть использована для проверки работы алгоритмов ДЗТ в широком спектре режимов, в том числе в режимах, которые не могут быть реализованы при натуральных испытаниях из-за опасности повреждения дорогостоящего оборудования.

УДК 621.316

Повышение технического совершенства токовой защиты линий распределительных сетей

Булойчик Е.В., Тишечкин А.А., Глинский Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Для защиты линий от коротких замыканий (КЗ) в радиальных сетях 6–35 кВ с одним источником питания используются токовые защиты, содержащие в общем случае три ступени: токовую отсечку мгновенного действия (ТО); токовую отсечку с выдержкой времени (ТОВ); максимальную токовую защиту (МТЗ).

Для оценки технического совершенства токовых защит линий следует рассматривать следующие показатели: селективность действия; чувстви-

тельность для ТОВ и МТЗ; зону мгновенного отключения для ТО. Улучшить показатели технического совершенства можно путем введения в алгоритм функционирования защиты функций определения вида и места КЗ.

Токи срабатывания первой и третьей ступеней токовой защиты выбираются по наиболее тяжелым условиям симметричных режимов, что приводит к уменьшению чувствительности МТЗ и зоны мгновенного отключения ТО во многих случаях несимметричных коротких замыканий.

Если функция определения вида повреждения введена, то в случае возникновения несимметричных КЗ уставки защиты могут быть автоматически уменьшены. Ток срабатывания ТО можно отстроить от максимального значения тока двухфазного КЗ при повреждении в конце защищаемой линии, а ток срабатывания МТЗ – от максимальных нагрузочных токов несимметричного режима работы линии без учета самозапуска электродвигательной нагрузки, благодаря чему увеличится зона мгновенного отключения ТО и чувствительность МТЗ при несимметричных КЗ.

Введение функции определения места КЗ может обеспечить отключение линии без выдержки времени при внутренних КЗ в любой точке (зона действия ТО ограничивается погрешностью определения места КЗ) и создает предпосылки для исключения зависимости зоны мгновенного отключения первой ступени от режима работы сети и вида КЗ.

УДК 621.316.925

Организация работы органа направления мощности в микропроцессорных токовых направленных защитах

Гурьянчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

В микропроцессорных токовых направленных защитах принятое направление срабатывания обеспечивается их органами направления мощности (ОНМ). Правильная и чёткая фиксация направления мощности при КЗ обеспечивается при использовании 90-градусной схемы включения. При этом в случае однофазных и двухфазных КЗ вблизи места установки защиты напряжение, подводимое к ОНМ, не падает до нуля. Мёртвая зона по напряжению появляется только при возникновении близких симметричных КЗ.

В основу построения ОНМ могут быть положены следующие подходы: 1) непосредственная обработка отсчетов мгновенных значений токов и напряжений; 2) определение в явном виде углов между векторами напряжения и тока; 3) использование ортогональных составляющих (ОС) токов и напряжений. Наиболее просто алгоритм функционирования ОНМ может быть реализован при использовании ОС токов и напряжений.

Распространённым методом устранения мёртвой зоны по напряжению является организация работы ОНМ «по памяти». При устойчивом снижении напряжения ниже заданного уровня она может быть реализована одним из следующих способов:

- путём запоминания состояния ОНМ в целом без его изменения до выхода из режима работы «по памяти»;
- путем формирования отсчетов ОС напряжения при измеряемых отсчетах ОС тока с проверкой условия срабатывания ОНМ.

Основной недостаток первого способа в том, что в режиме работы «по памяти» ОНМ фактически не контролирует направление мощности. Второй метод позволяет не только устранить мертвую зону по напряжению, но и обеспечить постоянный контроль направления мощности. Появляющаяся при этом частотную зависимость метода можно устранить введением частотной коррекции.

УДК 621.135

Молниезащита

Счастливая Е. С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время вопросы устройства молниезащиты зданий и сооружений остаются в разряде наиболее сложных проблем. Атмосферные разряды имеют сокрушительную силу, и их разнообразные последствия представляют серьёзную угрозу для жизни человека и его имущества.

Окружающая человека среда, по мере насыщения чувствительным современным электронным оборудованием, стала чрезвычайно уязвимой к воздействию атмосферных перенапряжений.

Система молниезащиты предназначена для защиты от прямого удара молнии, грозовых и коммутационных перенапряжений в сетях. Обычно в состав системы молниезащиты входят:

- молниеприемник — для приема прямого удара молнии;
- токоотводы — для отвода тока молнии к заземлению;
- заземляющее устройство — для распределения энергии молнии в земле, обеспечения безопасных режимов работы электросетей;
- система уравнивания потенциала — для ликвидации разности потенциалов между проводящими частями здания, электроустановки и заземлений;
- оборудование защиты от перенапряжений — для ограничения импульсов перенапряжения в электроустановках, телекоммуникационных и электронных системах;

В республике в настоящее время официально действуют следующие

документы по молниезащите:

ТКП 336–2011 «Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций и СТБ П ИЕС 62305-1-4-2006/2010 «Защита от атмосферного электричества», которые были разработаны на основе стандартов МЭК(Международная Электротехническая комиссия) ИЕС 62305-1-4-2006 и введены в действие 01.11.2011 года.

Эффективные методы и средства молниезащиты наиболее полно представлены в нормах МЭК и подтверждены широким практическим применением в промышленно развитых странах.

Литература:

1. Толмачев В.Д., Соловьев С.В. Молниезащита: Справочное пособие. – Москва , 2005.

УДК 621.3

Особенности электроэнергетической системы Сирии

Алабдаллах М.Д.

Белорусский национальный технический университет

Электроэнергетическая система Сирии была одной из самых современных и достаточно надёжных электрических систем в районе ближнего востока до начала военных событий 15 марта 2011 года. Система состояла из 14 тепловых и 3 гидроэлектрических станций. Тепловые электростанции соответствовали высокому уровню экологических требований:

использовали в качестве топлива газ и мазут;

были обеспечены современными системами очистки уходящих газов;

для увеличения КПД тепловых электростанций использованы системы утилизации тепла.

ТЭС обеспечивают 85% электроэнергии необходимой для её потребителей, остальные 15% обеспечиваются гидроэлектростанциями, расположенными на реке Евфрат, протекающей на севере страны.

Уровни напряжения электроэнергии гарантированно поддерживаются в следующем соотношении:

1. Передача электроэнергии осуществляется напряжением 230 кВ и 400 кВ;

2. Напряжение на выходе распределительных устройств снижается до 66 Кв – для обеспечения электроэнергии городов, до 20 кВ – на районных трансформаторных подстанциях и до 380 В – для обеспечения непосредственно потребителей.

Частота питающей сети поддерживается на уровне 50 Гц.

Энергосистема Сирии является основным звеном для единой энергосистемы, объединяющей 6 стран района: Турция, Ирак, Ливан, Иордания, Египет и Сирия.

Кроме работ по строительству новых электростанций, расширению и усовершенствованию существующих станций, министерство электроэнергетики Сирии планировало с 2005 года использовать возобновляемые источники энергии, а именно энергию ветра (скорость ветра колеблется от 7 м/с до 24 м/с) и энергию солнца (интенсивность солнечных лучей около 1000 Вт/м²). Построена ветровая электростанция мощностью 50 МВт с помощью немецкой фирмы "Фейбург" (спонсирована Евросоюзом).

Сирийская электроэнергетическая система претерпела огромный ущерб за последние два года в связи с внутренними событиями.

УДК 621.316.35

Определение критической длины пролета с помощью программ механического расчета

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Под воздействием механической нагрузки и температуры окружающей среды в проводах воздушных линий (ВЛ) и распределительных устройств (РУ) возникают механические напряжения. Они не должны быть больше допустимых при трех наиболее опасных условиях: при наименьшей температуре; при наибольшей нагрузке (с гололедом и ветром); при среднеэксплуатационных условиях.

С помощью трех критических пролетов определяют, какой из трех указанных условий нужно принимать в качестве исходного условия в уравнении состояния провода. При пролетах ВЛ до 500 м уравнение цепной линии заменяется уравнением параболы. При более длинных пролетах следует учитывать три первых слагаемых разложения в ряд гиперболических функций. Расчеты на ЭВМ показывают, что в коротких пролетах большее напряжение возникает при наименьшей температуре, в длинных пролетах – при наибольшей нагрузке.

Однако уравнение состояния провода не учитывает конструктивные особенности: гирлянды изоляторов (натяжные и подвесные) и гололед на них, шлейфы к соседним пролетам, распорки, а для РУ – отпайки.

Определить критическую длину пролета можно решением уравнений статики гибких проводов, которое реализовано в компьютерных программах, разработанных в БНТУ. Программы позволяют определить стрелы провеса и тяжение проводов и оптических кабелей под действием голо-

ледных и ветровых нагрузок. Программы учитывают разность высот подвеса, конструктивные особенности РУ и ВЛ.

Расчет проводов может выполняться в 12-ти климатических режимах. Число исходных режимов может быть равным 1 или 2. При двух исходных режимах программа выбирает более тяжелый режим климатических нагрузок, при котором усилие от ошиновки на опорные конструкции максимальны. Указанный режим принимается за исходный. В этом режиме по заданному тяжению или стреле провеса производится расчет длины гибкой ошиновки до растяжения, которая является основой для расчета остальных режимов.

Критические длины пролета ВЛ, рассчитанные по программе, отличаются от решения уравнения состояния не более чем на 1%. Для РУ погрешность возрастает из-за неучета конструктивных элементов.

УДК 621.3

Численные методы расчета выпрямителей с фильтрами

Бладыко Ю.В., Мазуренко А.А., Мухин Р.А.

Белорусский национальный технический университет

При работе на нагрузку, потребляющую небольшие токи от выпрямителя, часто используют фильтры, включающие конденсатор; в наиболее простом виде — это С-фильтры. Такие фильтры для выпрямителя представляют емкостную нагрузку, которая заметно изменяет характер процессов в вентильном комплекте.

Существующие методы расчета выпрямителя ориентированы на ручной счет, поэтому они основаны на целом ряде допущений и упрощений. Так, например, в [1] допускается, что диоды идеальные, также не учитываются все предвключенные сопротивления (сопротивления трансформатора, линии электропередачи). Метод Б.П. Терентьева, применяемый в проектной практике, основывается на допущении, что емкость конденсатора фильтра бесконечно большая, вследствие чего напряжение на нагрузке можно считать постоянным по величине.

Новейшие компьютерные технологии сегодня позволяют выполнять решение систем дифференциальных уравнений численными методами. Ранее авторами предлагался дифференциальный метод расчета выпрямительных схем с численным решением в MathCAD.

Для нахождения сглаженного напряжения необходимо найти напряжение на конденсаторе, для чего используется расчет переходных процессов классическим методом. Расчет сводится к решению системы дифференциальных уравнений по законам Кирхгофа. Установившийся режим наступает после практического завершения переходных процессов ($t_{п}=5\tau$).

После этого можно определять среднее значение напряжения, коэффициенты сглаживания и пульсаций.

Авторами разработан алгоритм расчета среднего значения напряжения выпрямителя с емкостным фильтром, работающего на активную нагрузку, с учетом конечных значений емкости конденсатора фильтра и сопротивления фазы выпрямителя (активного и индуктивного). Разработана программа расчета на ЭВМ среднего значения выпрямленного сглаженного напряжения. Результаты расчета по программе сравнивались с результатами, полученными по существующим методикам и опытным путем.

Литература:

1. Теоретические основы электротехники, ч. 2 и 3: Нелинейные электрические цепи. Электромагнитное поле / Г.И. Атабеков [и др.]; под ред. Г.И. Атабекова – СПб.: Лань, 2009. – 432 с.

УДК 621.3

Особенности влияния нелинейной однофазной нагрузки на питающую сеть

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Тенденции роста доли нелинейной однофазной нагрузки на питающую сеть обусловлены многими факторами: уплотнение городов компьютеризованными организациями, бизнес-центрами, комплексными офисными зданиями. Обостряется проблема влияния компьютеров и офисной техники, как нелинейной электрической нагрузки, на трехфазную сеть. Это объясняется тем, что потребляемый компьютером ток имеет ярко выраженный импульсный характер. При приближении кривой питающего напряжения к максимальному значению электронные вентиля диодного моста импульсного источника питания скачкообразно изменяют свое сопротивление от бесконечности до нескольких Ом. При неблагоприятном соотношении долей линейных и нелинейных потребителей электроэнергии возникают дополнительные негативные явления в электросети: токи в нулевых рабочих проводниках из-за гармоник, кратных трем, могут превышать токи в фазных проводах в полтора и более раза; вершина синусоидального питающего напряжения срезается, становится «плоской». Следствием этого может стать перегрев нейтрали; генерация электромагнитных помех; увеличение тепловыделения в элементах системы электроснабжения. Для предотвращения негативных последствий, вызванных этим, необходимо стимулировать оснащение офисов и офисных зданий оборудованием, на котором в настоящее время потребитель электроэнергии экономит средства. В первых, использование импульсных блоков питания (ИБП) с трехфазным

входом и однофазным выходом. Такие ИБП могут иметь на входе шестипульсный выпрямитель (схема Ларионова), который выпрямляет не фазное, а линейное напряжение. При этом нейтральный провод разгружен, гармоники, кратные трем, в нём отсутствуют, нагрузка равномерно распределяется по фазам. Применение в ИБП двенадцатипульсного выпрямителя позволяет дополнительно устранять пятую гармонику. Второй путь предусматривает применение трансформаторов серии ТСТ (трансформаторы симметрирующие трехфазные). При применении ТСТ однофазная нагрузка воспринимается сетью как трехфазная, что также устраняет вышеперечисленные негативные последствия. Совместное использование трехфазных ИБП и ТСТ позволит усилить защиту трехфазной сети от нелинейной однофазной нагрузки современных потребителей.

УДК 621.3

Высшие гармоники в питающей сети и способы защиты от них

Гавриленко С.Д., Циркунова М.И.

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения электроэнергией мощных потребителей широко используются управляемые выпрямители. Однофазные выпрямители потребляют из питающей сети ток, содержащий кроме полезной первой, другие нечетные гармоники: 3, 5, 7, 9 и т.д. Доли этих гармоник зависят от угла управления α , и эта зависимость была исследована с помощью программы MathCad для однофазного двухполупериодного выпрямителя.

При угле управления $\alpha = 90^\circ$ доли нечётных гармоник соответствовали известному соотношению, однако появился ряд косинусных нечётных гармоник с аналогичным распределением их долей. Суммируясь между собой, синусные и косинусные составляющие образуют негармоническое колебание, амплитуда которого по отношению к первой полезной гармонике возрастает на всех нечётных частотах примерно в 1,41 раза.

При угле управления $\alpha = 135^\circ$ также образуются ряды синусных и косинусных гармоник, доля которых возрастает очень сильно. При этом известные соотношения нарушаются, и доли гармоник распределяются неравномерно. Синусные составляющие: 3-я – 208%; 5-я – 125%; 7-я – 15,5%; 9-я – 12%; 11-я – 57%; 13-я – 59%; 15-я – 7%; 17-я – 6,3%; 19-я – 32,7%; 21-я – 30% и т.д. Видно, что очень сильно возросли 3-я и 5-я гармоники, однако весьма существенными стали и дальние гармоники – 11-я; 13-я; 19-я; 21-я. У косинусных составляющих распределение немного другое. Амплитуда суммарного негармонического колебания синусной и косинусной составляющих по отношению к первой гармонике составляет: 3-я –

225%; 5-я – 135%; 7-я – 39,5%; 9-я – 31%; 11-я – 61,5%; 13-я – 62,5%; 15-я – 18,6%; 17-я – 14,6%; 19-я – 35,5%; 21-я – 32,2% (остальные малы).

Эти результаты показывают, что при больших углах управления ($\alpha > 90^\circ$) высшие гармоники сильно возрастают. Эффективность традиционной фильтрации в системе электроснабжения, ориентированной на 3-ю, 5-ю и 7-ю гармоники будет падать. Вероятно снижение эффективности компенсации реактивной мощности на более высоких частотах в связи с возрастанием потерь в косинусных конденсаторах, их дополнительный нагрев и сокращение срока службы. Выходом из этой ситуации может стать регулирование амплитуды входного напряжения управляемых выпрямителей и обоснованное ограничение диапазона изменения угла управления α .

УДК 681.518.5

Программа по управлению динамическими объектами

Ежов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Требуется настроить цифровой регулятор типовой одноконтурной системы управления для технологического объекта. Зная физику процессов объекта, можно экспериментально определить параметры его непрерывной передаточной функции. После преобразования этой функции в дискретную можно, используя теорию дискретных систем, составить простую программу моделирования системы управления.



Первый экран (фрагмент) – начало работы. Выбираем тип управляемого объекта – аperiodический, колебательный и др. Задаем параметры непрерывной передаточной функции объекта по управлению K_U , T_1 , (T_2 , T_3 , e), такт квантования T_0 , запаздывание d . Экран отражает вид переходной характеристики и параметры дискретной передаточной функции a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , соответствующие введенным параметрам.

В режиме слежения можно настраивать регулятор на оптимальную реакцию объекта на ступенчатое управляющее воздействие. Экран показывает график процесса, время регулирования и числовые значения интегральных показателей качества регулирования: динамическая ошибка регулирования, среднеквадратичная ошибка регулируемой величины и среднеквадратичное отклонение управляющей переменной. В режиме стабилизации проверяется реакция настроенной системы на ступенчатое возмущение с учетом аналогично заданной передаточной функции по возмущению. При необходимости настройка регулятора корректируется.

После всех настроек можно проверить работу системы произвольно задавая любые управляющие и возмущающие воздействия.

УДК 621.314.632

Демагнизатор

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

В процессе изготовления, обработки, сборки изделия из ферромагнитных материалов подвергаются воздействию внешних магнитных полей и намагничиваются. Намагниченные детали нужно размагничивать, т. к. при размагничивании ферромагнитных тел устраняются многие, отрицательно воздействующие на работу изделий, факторы, обусловленные существованием в пространстве вокруг намагниченного тела достаточно сильного магнитного поля. Одним из перспективных методов размагничивания является динамический метод, при котором на размагничиваемое изделие воздействуют знакопеременным электромагнитным полем с убывающей до нуля амплитудой. Качество размагничивания (значение остаточной намагниченности) зависит от параметров размагничивающего электромагнитного поля: максимальной амплитуды, частоты и времени размагничивания (скорости спада поля). Таким образом, в общем случае качественное размагничивание намагниченного тела может быть достигнуто при условии, что размагничивающее устройство (демагнизатор) позволяет в широких пределах регулировать частоту, амплитуду и скорость спада размагничивающего электромагнитного поля.

Следовательно, задача изготовления демагнизатора сводится к изготовлению такого преобразователя частоты, который позволял бы регулировать параметры затухающего электромагнитного поля.

Анализ показателей работы различных схем преобразователей частоты с точки зрения технологических требований, предъявляемых к ним, показал, что наиболее рациональной схемой является однофазно-однофазный мостовой циклоконвертор, так как он характеризуется весьма простой кон-

струкцией, обеспечивает регулирование частоты выходного напряжения от 0,2 Гц до 25 Гц и позволяет получить выходное напряжение (ток) без постоянной составляющей. Отсутствие постоянной составляющей достигается тем, что устройство для управления преобразователем позволяет формировать и положительную и отрицательную полуволну выходного напряжения из чётного числа импульсов, т.е. даже при искажении по форме и амплитуде сетевого напряжения в выпрямленном выходном напряжении будет отсутствовать постоянная составляющая, что и обеспечивает качественное размагничивание.

УДК 621.311.019

Качество электрической энергии

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Анализ показателей качества электроэнергии подтверждает, что влияние электроприёмников с усложнённым режимом электропотребления на качество электроэнергии увеличивается с ростом мощности этих приёмников.

Коэффициент искажения синусоидальности пропорционален суммарной мощности агрегатов и обратно пропорционален мощности КЗ:

$$K_U \equiv \frac{S_{\Pi}}{S_K}.$$

Коэффициент несимметрии по обратной последовательности пропорционален мощности однофазной нагрузки и обратно пропорционален мощности КЗ:

$$K_{2U} \equiv \frac{S_0}{S_K}.$$

Следовательно, для улучшения показателей качества электроэнергии электроприёмники с усложнённым режимом работы необходимо подключать в точках сети с наибольшим значением мощности КЗ, а ограничение токов КЗ в сетях, содержащих такие нагрузки, следует производить в минимальных пределах, необходимых для надёжной работы коммутационной аппаратуры, не создавая больших запасов по отключающей способности, термической и динамической стойкости аппаратов.

Однако только увеличением токов КЗ задачу улучшения качества электроэнергии решить нельзя, поскольку показатели качества зависят от мощности специфических электроприёмников.

Более широкие возможности улучшения качества электроэнергии дают следующие схемные решения:

- отдельные глубокие вводы к цехам с резкопеременной и нелинейной нагрузкой;
- выделение специфических нагрузок на отдельных секциях главной понизительной подстанции;
- применение специальных схем подключения для отдельного питания спокойных и специфических нагрузок;
- включение главных трансформаторов на параллельную работу.

УДК 621.372

Расчет периодических режимов в сложных нелинейных электрических цепях

Можар В.И.

Белорусский национальный технический университет

При разработке сложных нелинейных электрических цепей возникает необходимость в расчете их периодических режимов.

Рассматривается алгоритм расчета гармонического состава периодических режимов сложных электрических цепей с произвольным числом нелинейных элементов. В качестве нелинейных элементов могут быть нелинейные индуктивности, нелинейные емкости, а также нелинейные активные сопротивления с характеристиками, симметричными относительно начала координат. Функции, аппроксимирующие характеристики нелинейных элементов, могут быть заданы степенным полиномом, гиперболическим синусом и т.д.

Нелинейная цепь может быть описана системой нелинейных дифференциальных уравнений, либо представлена в виде пассивного линейного многополюсника, на выходах которого включены нелинейные элементы. Решение для каждого нелинейного элемента ищется в виде суммы гармоник предыдущего приближения и приращений к ним. Функции, аппроксимирующие характеристики нелинейных элементов, подставив в них искомого решения, раскладываем в ряд Тейлора, ограничиваясь при этом линейным приближением. Составляющие этого ряда в свою очередь раскладываются в гармонический ряд.

После ряда математических преобразований получаем систему уравнений для каждой гармоники в отдельности, позволяющую определить приращения соответствующих гармоник. Сущность данной методики заключается в линеаризации приращений к искомым гармоникам, т.е. исходные системы нелинейных уравнений преобразуются в системы линейных уравнений для определения приращений к искомым гармоникам.

Расчет системы уравнений для определения приращений к гармоникам осуществляется до тех пор, пока эти приращения не станут достаточно малы.

УДК 621.3

Влияние статического электричества на работу электроμηχανических приборов

Куцьыло А.В., Зеленко В.В., Гладырев А.М.

Белорусский национальный технический университет

В лабораториях кафедры «Электротехника и электроника» Белорусского национального технического университета по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Информационно-измерительная техника» для измерений напряжения и тока на некоторых рабочих местах используются электроμηχανические приборы: электромагнитные амперметры и вольтметры, электродинамические вольтметры.

В процессе опробования лабораторной установки один из авторов столкнулся с фактом значительного (примерно на третью часть длины шкалы) отклонения стрелки электромагнитного миллиамперметра от нулевой отметки шкалы при отсутствии тока в цепи. Нужно отметить, что за многие годы эксплуатации данного и других электроμηχανических приборов такое явление никогда не фиксировалось.

Для выявления причины аномального отклонения стрелки была снята верхняя часть корпуса прибора с прозрачной деталью, защищающей шкалу. Это привело к возврату стрелки на нулевую отметку и подтвердило предположения авторов доклада о том, что на положение стрелки оказывало влияние статическое электричество. Авторы провели несложные, но любопытные эксперименты по электризации прозрачной защитной части различных приборов с помощью ткани на основе шерсти. Таким образом были исследованы электромагнитный миллиамперметр Э513, амперметры Э514, амперметры Э59, вольтметры Д533. При этом выяснилось, что описанный выше электростатический эффект возникает у каждого из упомянутых типов приборов, но не у каждого экземпляра. Изучение данного вопроса выявило причину таких различий. Оказалось, что эффекту электризации в той или иной степени подвержены только те приборы, у которых защитное стекло, предусмотренное заводской конструкцией, после его повреждения было заменено при ремонте прозрачной пластмассой. У приборов с защитным стеклом сколько-нибудь заметного электростатического эффекта при электризации не наблюдалось, что и объясняет, почему это явление оставалось ранее незамеченным. Самым простым и эффективным приемом по устранению данного электростатического эффекта оказался

следующий: достаточно прикоснуться ладонью к прозрачной защитной детали прибора, и статический заряд устраняется, переставая влиять на положение стрелки.

УДК 621.3

Физическое содержание понятий мощностей при синусоидальном токе

Куцьло А.В.

Белорусский национальный технический университет

В теории цепей синусоидального тока используются понятия мгновенной p , активной P , реактивной Q , полной S и комплексной \underline{S}^* мощностей. Что касается мгновенной мощности, то содержание этого понятия соответствует общефизическим представлениям о мощности как скорости преобразования энергии из одного вида в другой. Так, ГОСТ 19880-74 «Электротехника. Основные понятия. Термины и определения» определяет мгновенную мощность двухполюсника как «скорость поступления в двухполюсник электромагнитной энергии в данный момент времени...». Активная мощность также имеет ясный физический смысл как величина, характеризующая процесс поступления энергии в двухполюсник (для приёмников энергии) в среднем за период. Согласно упомянутому стандарту, активная мощность двухполюсника есть «среднее арифметическое мгновенной мощности за период». Для реактивной мощности такой ясности в отношении её физического смысла нет. В нормативной и учебной литературе по теоретическим основам электротехники это понятие вводится формально-математически, при этом указывается, что реактивная мощность не характеризует энергетические процессы в цепи в том смысле, как активная мощность. Так, по ГОСТ 19880-74 реактивная мощность двухполюсника определяется как «величина, равная при синусоидальных токе и напряжении произведению действующих напряжения, тока и синуса сдвига фаз между напряжением и током». Это побуждает к поиску физической трактовки данного понятия, которая для цепей с параллельным или последовательным (а значит, и смешанным) соединением элементов может быть следующей.

Реактивную мощность $Q=UI\sin\varphi$ можно рассматривать как функционал (произведение), не только удовлетворяющий известному свойству баланса реактивных мощностей, но и содержащий в себе одновременно или реактивную составляющую тока, если элемент находится в параллельном соединении, или реактивную составляющую напряжения, если элемент находится в последовательном соединении:

$$Q=UI\sin\varphi=U(I\sin\varphi)=UI_p=(U\sin\varphi)I=U_pI.$$

Таким образом, суммированию реактивных мощностей элементов при расчёте реактивной мощности всего соединения фактически соответствует сложение реактивных составляющих токов или напряжений отдельных элементов (в зависимости от способа соединения).

УДК 621.3.01

Модернизация методики расчета разветвленных нелинейных электрических и магнитных цепей

Горошко В.И.

Белорусский национальный технический университет

В классическом учебнике [1] приводится методика расчета разветвленной нелинейной электрической цепи с двумя узлами (с. 410-411). Недостатком методики является ее графоаналитический характер, и в этом смысле она архаична. Если же нелинейные вольт-амперные характеристики (ВАХ) элементов аппроксимировать аналитическими зависимостями, используя, например, компьютерную программу метода наименьших квадратов, то методика обретает «вторую жизнь» и становится вполне конкурентоспособной с методиками, основанными на численных методах.

Рассматриваемая в [1] цепь приведена на рис. 1. ВАХ всех нелинейных элементов заданы графически.

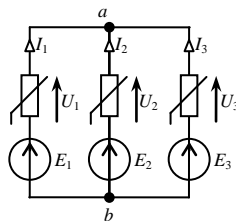


Рис. 1

Сутью методики является пересчет нелинейных характеристик к одному определяющему аргументу – узловому напряжению U_{ab} . Это позволяет строить все ВАХ в единой системе координат и производить над ними требуемые алгебраические и графические манипуляции. В [1] за основу приняты положительные направления токов I_1, I_2, I_3 и напряжений U_1, U_2, U_3 , указанные на рис. 1, а также узловое напряжение U_{ab} .

Такой выбор направлений приводит к уравнениям:

$$U_1 = E_1 - U_{ab}; \quad U_2 = E_2 - U_{ab}; \quad U_3 = E_3 - U_{ab} \quad (1)$$

Уравнения (1) требуют проведения двух операций:

- 1) горизонтального сдвига ВАХ элемента на величину ЭДС ветви;
- 2) зеркального отражения полученной ВАХ относительно вертикали.

Анализ (1) показывает, что необходимость второй операции, т.е. зеркального отражения ВАХ, появилась только потому, что напряжения U_1, U_2, U_3 и узловое напряжение U_{ab} в (1) имеют разные знаки. Эта разница знаков вовсе не обязательна и может быть устранена более продуманным выбором положительных направлений токов и напряжений. Изменяем направления токов I_1, I_2, I_3 и напряжений U_1, U_2, U_3 на обратные. Тогда уравнения (1) примут вид:

$$U_1 = U_{ab} - E_1; \quad U_2 = U_{ab} - E_2; \quad U_3 = U_{ab} - E_3. \quad (2)$$

Эти уравнения не требуют операции зеркального отражения.

Литература:

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.

УДК 621.3

Расчет вольтамперной характеристики $U(I)$ управляемой нелинейной катушки индуктивности

Мазуренко А. А., Зеленко В. В.

Белорусский национальный технический университет

Управляемая нелинейная катушка содержит на магнитном сердечнике две обмотки: рабочую обмотку w_1 , которая включается в цепь переменного тока, и обмотку управления w_0 , в которую подается постоянный ток I_0 . Под воздействием $I_0 w_0$ процесс перемагничивания сердечника смещается в область магнитного насыщения. Это приводит к увеличению тока в рабочей обмотке, что эквивалентно уменьшению ее реактивного сопротивления. Для устранения обратного влияния рабочей цепи на цепь управления катушку конструктивно выполняют из двух одинаковых элементов. Рабочие обмотки отдельных элементов включаются параллельно, а обмотки управления – последовательно-встречно. Благодаря такому включению переменные ЭДС, наводимые в обмотках управления отдельных элементов, направлены встречно и взаимно компенсируются. Вольтамперная характеристика $U(I)$ нелинейной катушки при заданных значениях напряжения на рабочей обмотке $u(t) = U_m \sin(\omega t + 90^\circ)$ и тока в обмотке управления $I_0 = \text{const}$ может быть получена расчетным путем. Приведем алгоритм расчета координат одной точки этой характеристики. Магнитные потоки и следовательно потокосцепления отдельных катушек будут содержать переменную и постоянную составляющие: $\psi_1(t) = \Psi_m \cdot \sin(\omega t) + \Psi_0$, $\psi_2(t) = \Psi_m \cdot \sin(\omega t) - \Psi_0$. Переменная составляющая потокосцепления определяется из закона электромагнитной индукции:

$$\psi(t) = \int u(t) \cdot dt = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\omega} \cdot \sin(\omega t) = \Psi_m \cdot \sin(\omega t). \quad \text{Постоянная составляющая}$$

потокосцепления Ψ_0 определяется методом последовательных приближений так, чтобы получить желаемое значение I_0 . Токи в отдельных элементах определяются из уравнения аппроксимации веберамперной характеристики катушки $i = c \cdot \sinh(d \cdot \psi)$, а ток всей цепи – из 1-го закона Кирхгофа:

$$i_1(t) = c \cdot \sinh(d \cdot \psi_1(t)), \quad i_2(t) = c \cdot \sinh(d \cdot \psi_2(t)), \quad i(t) = i_1(t) + i_2(t). \quad \text{Ток в об-}$$

мотке управления I_0 находится по формуле среднего значения функции $i_1(t)$, а действующее значение тока I в рабочей обмотке – по формуле среднеквадратичного значения функции $i(t)$. Все расчеты выполнены в MathCAD и подтверждены экспериментально. Результаты данного исследования внедрены в учебный процесс.

УДК 62-83-52

Многофазный асинхронный инверторный электропривод с улучшенными пусковыми качествами

Макаревич И.В., Жуковская Т.Е.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день в области электроприводов наиболее перспективными считаются частотно-регулируемые (инверторные) приводы переменного тока (как асинхронные, так и синхронные) в силу целого ряда преимуществ перед электроприводами других типов.

Например, широко применяется многофазный электропривод, в котором высокая кратность пускового момента может быть достигнута за счет изменения схемы подключения обмоток статора электродвигателя к фазам автономного инвертора с помощью блока, осуществляющего механическую коммутацию фаз. Кроме того, к разработкам в названной выше области относится многофазный асинхронный инверторный электропривод, в котором высокая кратность пускового момента достигается за счет применения фазно-полусного управления асинхронным двигателем (АД). В связи с этим представляется актуальной разработка системы асинхронного инверторного электропривода, обладающей не только улучшенными пусковыми характеристиками, но и более высокой надежностью и меньшими массогабаритными показателями.

В многофазном АД, регулирование скорости осуществляется за счет фазно-полусного управления (иначе – «рп-управление»). АД питается от преобразователя частоты и имеет число фаз более пяти; дополнительно оснащается магнитной системой, которая выполняется следующим образом: массивный ферромагнитный ротор с П-образной формой в сечении состоит из внутренней и внешней частей, жестко соединенных механически, имеющих гладкие поверхности и охватывающих статор снаружи и изнутри; шихтованный магнитопровод статора состоит из двух полых цилиндрических частей, вставленных одна в другую и отделенных друг от друга полый цилиндрической диамагнитной (например, медной) гильзой, и имеет два ряда пазов – внутренний и наружный; каждая из фазных обмоток статора укладывается в два паза – в один внутренний и в один наружный, ближайший к внутреннему в радиальном направлении, и подключа-

ется напрямую к соответствующей фазе преобразователя частоты, минуя понижающий трансформатор; в целом многофазная обмотка статора – торoidalного типа; АД имеет два основных рабочих воздушных зазора.

УДК621.3131ГПГ

Генератор постоянного тока

Синяков А.Л., Дудников И.Л., Пляц О.М.

Минский государственный высший авиационный колледж

Источниками электроэнергии постоянного тока служат электрогенераторы, преобразующие механическую энергию авиадвигателей в электрическую энергию постоянного тока.

Генераторы имеют пониженную надежность работы из-за низкой надежности щеточно-коллекторного узла.

Разработан генератор постоянного тока, принцип работы которого основан на возникновении ЭДС в гипертермопаре при расположении ее горячих и холодных спаев соответственно в горячей и холодной средах.

Генератор постоянного тока содержит корпус, выполненный из двух (наружной и внутренней) металлических труб, установленных соосно одна в другой с основным кольцевым зазором, в котором соосно установлены с дополнительным кольцевым зазором две (жаростойкая и холодостойкая) трубы, находящиеся в тепловых контактах соответственно с внутренней и наружной трубами корпуса, а в дополнительном кольцевом зазоре между керамическими трубами, заполненном теплоизоляционным материалом, расположены по всей длине керамических труб «п» кольцевых рядов гипертермопар так, что их горячие и холодные спаи находятся в тепловых контактах соответственно с жаростойкой и холодостойкой керамическими трубами; при этом выводы гипертермопар кольцевых рядов соединены последовательно и образуют термоэлектрический генератор, двухтрубный корпус которого присоединен торцом к корпусу авиадвигателя так, что выходное сопло авиадвигателя расположено во внутренней трубе корпуса генератора.

Генератор постоянного тока работает следующим образом. Газы, выходящие из сопла авиадвигателя с температурой 400-500⁰С, через внутреннюю керамическую трубу нагревают горячие спаи гипертермопар до 350-450⁰С, при этом холодные спаи гипертермопар имеют температуру - 50⁰С наружного воздуха. Разработанная конструкция генератора постоянного тока защищена патентом Республики Беларусь.

**Размагничивающее устройство ферромагнитных изделий
с двухступенчатой регулировкой выходного напряжения**

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный аграрный технический университет

Размагничивающие устройства (РУ) широко применяются в различных приборах, на производстве и в быту, например, для размагничивания деталей, инструментов, магнитных головок магнитофонов.

Полное размагничивание изделия необходимо перед началом работы приборов неразрушающего контроля и при окончании их работы для устранения влияния остаточной намагниченности на дальнейшую работу изделия. Для обеспечения качественного размагничивания изделия лучше всего подходит регулируемый стабилизированный источник переменного напряжения (РИПеН). На производстве масса и размеры размагничиваемых изделий может отличаться в несколько раз и мощности имеющегося стабилизированного РИПеН может не хватить, для качественного размагничивания изделия.

Предлагаемое устройство позволяет в некоторых случаях устранить вышеуказанную проблему. Сущность работы предлагаемого РУ заключается в том, что весь цикл размагничивания разделяется на два этапа. На первом этапе на размагничивающую катушку поступает напряжение от нестабилизированного РИПеН, а на втором, через некоторое время, от стабилизированного РИПеН. В начальной стадии цикла размагничивания изделие перемагничивается сильным магнитным полем от нестабилизированного РИПеН. При этом при первых полуволнах переменного тока материал изделия доводится до насыщения. При экспоненциальной зависимости спада тока в обмотке электромагнита ток спадает быстрее, чем в конечной стадии. На этом этапе небольшие изменения формы полуволн тока переменного напряжения сказываются значительно меньше на качество размагничивания, чем в конечной стадии. Второй цикл размагничивания происходит от стабилизированного РИПеН, от которого требуется значительно меньшая мощность, чем от нестабилизированного РИПеН. При этом обеспечивается хорошее качество тока в размагничивающей обмотке.

Весь цикл размагничивания синхронизирован блоком управления, содержащим нуль-орган, обеспечивающим включение и отключение нестабилизированного РИПеН, и включение и отключение в конце цикла размагничивания стабилизированного РИПеН в момент перехода переменного напряжения или тока обоих источников через нуль.

**Пассивный регулятор тембра с большим
диапазоном регулировки частотной характеристики**

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный аграрный технический университет

Пассивная и активная коррекция частотной характеристики звукового диапазона широко применяется в звукозаписывающей и воспроизводящей аппаратуре. Корректировка частотной характеристика используется в усилителях записи и воспроизведения звука на магнитную ленту, в предварительных усилителях для электромагнитных звукоснимателей, в тонкомпенсированных регуляторах громкости, в полосовых фильтрах звуковых частот, пропускающих звуковые частоты 20 Гц – 20 кГц и эффективно подавляющие другие частоты. Они могут быть вызваны низкочастотными и высокочастотными шумами, которые располагаются в тех частях спектра, где не воспринимаются человеческим ухом. При этом они могут иметь значительную амплитуду, способную вызвать искажения или даже перегрузку электроакустического тракта. Возникают они в предварительных линейных усилителях и цифровых источниках сигналов. Помехи могут быть также вызваны наводками от всевозможных радиостанций. В студийных микшерских пультах часто применяются октавные и третьоктавные эквалайзеры, позволяющие устранить неравномерность частотной характеристики используемых динамиков в колонках и недостатки акустических свойств помещений. При воспроизведении разных звуковых частот к динамику предъявляются различные требования, поэтому часто разделяют воспроизводимый диапазон частот на несколько частей с помощью пассивных или активных фильтров, подключенных напрямую или через отдельные усилители к своим динамикам. Для того чтобы активные фильтры на основе операционных усилителей (ОУ) не ухудшали высокие динамические характеристики усилителя и не вызывали интермодуляционных и динамических искажений необходимо применять ОУ с высокой скоростью нарастания напряжения, лучше всего > 200 В/мкс, и с полосой пропускания без обратной связи > 200 кГц. Такие характеристики имеют ОУ применяемые, например, для усиления телевизионных сигналов.

Разработанный 6-полосный пассивный регулятор тембра частотной характеристики, с согласующими усилителями на основе полевых транзисторов и ОУ типа LMN 6624, имеет диапазон регулировки ± 15 дБ на 6-ступенчато регулируемых частотах в полосе 20 Гц – 20 кГц. Регулируемый КУ предварительного усилителя: ± 20 дБ.

Прогнозирование случайной составляющей временных рядов

Домников С. В., Згаевская Г. В.

Белорусский национальный технический университет

После того, как из предыстории ряда выделена закономерная составляющая (детерминированная основа), состоящая из тенденции и колебательных составляющих с априорно известным периодом, ряд случайных остатков (получаемый вычитанием из членов исходного ряда соответствующих значений детерминированной основы) может еще содержать в себе полезную для прогнозирования информацию. Дело в том, что случайные остатки могут быть существенно коррелированными. А это означает, что нет априорных оснований считать случайную составляющую в момент прогнозирования равной нулю.

Для выявления коррелированных остатков и их прогнозирования, в случае если корреляция существует, наиболее подходящим является статистический метод спектрального анализа [1]. Схема его применения к данной задаче включает в себя следующие шаги:

1. По предыстории случайного ряда остатков строится статистическая оценка спектра, т.е. оценка зависимости спектральной плотности от частоты;

2. Вычисленные при построении оценки спектра значения спектральной плотности упорядочиваются в порядке убывания, и для наибольшего значения плотности проверяется гипотеза о том, что в окрестности этой частоты случайный ряд является белым шумом. Если эта гипотеза подтверждается, прогнозирование случайных остатков не имеет смысла;

3. В противном случае максимальная спектральная плотность определяет частоту (период), которая должна быть введена в модель прогнозирования остатков;

4. Если имеются явно выраженные пики спектральной плотности в других диапазонах частот, они также определяют периоды колебаний, которые должны быть введены в модель;

5. После определения набора периодов подлежащих учету колебаний ряд случайных остатков прогнозируется описанным выше методом с той особенностью, что набор координатных функций образуется как совокупность синусоид и косинусоид указанных периодов.

Литература:

1. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1977. – Вып. 1, 2.

Система стабилизации частоты вращения двигателя постоянного тока

Синяков А.Л., Дудников И.Л., Пляц О.М.
Минский государственный высший авиационный колледж

Существующая система стабилизатора частоты вращения двигателя постоянного тока содержит присоединенный к валу двигателя тахогенератор, к якорной обмотке которого подключена через регулировочный резистор обмотка электромагнита регулятора напряжения, через угольный столбик которого к якору двигателя подключена его параллельная обмотка возбуждения.

Система осуществляет стабилизацию частоты вращения двигателя по отклонению регулируемой величины (частоты вращения двигателя) от номинального значения. Для повышения точности стабилизации частоты вращения якоря двигателя постоянного тока угольный регулятор напряжения системы оборудован дополнительной обмоткой, которая расположена сверху основной обмотки электромагнита, а система снабжена балластным сопротивлением, при этом якорная обмотка двигателя подключена к электросети через балластное сопротивление, к выводам которого присоединена параллельно через второй регулировочный резистор дополнительная обмотка регулятора напряжения так, что ее магнитный поток направлен навстречу магнитному потоку основной обмотки электромагнита регулятора напряжения. Усовершенствованная система стабилизации частоты вращения двигателя постоянного тока работает следующим образом. Если уменьшилась частота вращения якоря двигателя, то уменьшилось напряжение на клеммах обмотки тахогенератора и увеличился ток через якорную обмотку электродвигателя; при этом увеличилось падение напряжения на балластном сопротивлении. В результате уменьшается ток через основную обмотку и увеличивается ток через дополнительную обмотку электромагнита угольного регулятора. Так как магнитные потоки от основной и дополнительной обмоток электромагнита направлены встречно, то уменьшается результирующий магнитный поток, действующий на якорь электромагнита, что приводит к еще большему увеличению сопротивления угольного столбика и частоты вращения якоря двигателя.

Иными словами, усовершенствованная система осуществляет стабилизацию частоты вращения якоря двигателя не только по отклонению регулируемой величиной от номинального значения, но и по величине основного возмущения (изменения нагрузки). Конструктивная схема системы защищена патентом на полезную модель Республики Беларусь.

Расчет сечений проводов бортовых электрических сетей

Полюянов М. И.

Минский государственный высший авиационный колледж

Силовые электрические сети воздушных судов (ВС), предназначенные для передачи электрической энергии от авиационных генераторов потребителям, включают: линии связи генераторов с центральными распределительными устройствами (ЦРУ), соединительные линии между ЦРУ и локальными распределительными устройствами (РУ) и линии питания электроприемников от ЦРУ или РУ. Общая протяженность электрических сетей может составлять до сотни километров, а их масса – несколько тонн. Поэтому минимизация конструктивной массы проводов является необходимой задачей проектирования электрических сетей ВС.

Объем провода на любом участке сети можно выразить через его сечение, длину, проводимость материала и потерю напряжения. Допустимая потеря напряжения от источника до самого удаленного приемника задается стандартом. Потери напряжения на концевых участках от ЦРУ или РУ до электроприемников можно выразить через допустимую потерю напряжения и потери напряжения на участках от источника до ЦРУ и от ЦРУ до РУ. В результате выражение объема проводов сети будет иметь два неизвестных параметра: потери напряжения от источника до ЦРУ и от ЦРУ до РУ. Частные производные от объема по этим двум параметрам позволяют получить оптимальные значения потерь напряжения на данных участках, дающие минимум конструктивной массы проводов всей сети при соблюдении допустимой потери напряжения от источника до самого удаленного электроприемника.

Для участков линий, питающих близко расположенные однотипные электроприемники, например, лампы освещения салона ВС, сечение провода выбирается одинаковым по всей длине по допустимой потере напряжения.

Более точным критерием выбора проводов электрических сетей ВС служит минимум полетной массы, учитывающей массу топлива, расходуемого на покрытие потерь энергии в сети, массу топлива, необходимого для транспортировки конструктивной массы сети, увеличение массы планера и двигателя, коэффициент полезного действия системы преобразования механической энергии первичного двигателя в электрическую и другие факторы. Для пассажирских самолетов приоритетны экономические критерии.

Оптимизация напряжения в промышленных электрических сетях

Анищенко В.А., Лазаренко Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Один из способов управления электропотреблением состоит в регулировании напряжения. Согласно существующим нормативным документам, регулировать напряжение можно только в пределах допустимых отклонений напряжения $\pm 5\%$ от номинального значения. (ГОСТ 13109-97), т.е. в пределах, при которых электроприемники продолжают выполнять свою функцию без изменения выходных параметров.

Изменение напряжения влияет на потребляемую мощность электроприемников в соответствии с их статическими характеристиками, на потери мощности в элементах промышленных сетей. В свою очередь изменение напряжения может также отразиться на производительности оборудования и соответственно на удельных расходах электроэнергии. Данные изменения можно отследить по энергетической (расходной) характеристике, в которой отражены зависимости мощности и удельного расхода электроэнергии от производительности.

Изменение потребляемой мощности электроприемников приводит к изменению платы за величину заявленной мощности в часы утреннего и вечернего максимума, а также к изменению платы за величину потребленной электроэнергии.

Влияние изменения напряжения в промышленных электрических сетях на величину потерь в их элементах не столь однозначно. С одной стороны, увеличение напряжения в сети приводит к росту электропотребления согласно статическим характеристикам, что увеличивает величину потерь в промышленных электрических сетях, но с другой стороны увеличение напряжения в сети приводит к уменьшению токов, что уменьшает потери электроэнергии в элементах сетей. Изменение величины потерь будет зависеть от множества факторов, в том числе от протяженности линий и мощности электроприемников.

Перечисленные факторы влияют на себестоимость производимой продукции, в том числе на её энергетическую составляющую.

Наличие большого количества параметров, на которые влияет изменение напряжения, приводит нас к необходимости выработки алгоритма для оптимизации напряжения в промышленных электрических сетях.

Комплексная оценка осветительных установок с использованием светодиодных источников света

Козловская В.Б.

Белорусский национальный технический университет

Светодиодные источники света все более широко применяются в системах внутреннего освещения. Однако при всех их технических достоинствах первоначальная цена их еще достаточно высока для массового потребителя. Поэтому актуальной является задача комплексной оценки применения источников света на основе светодиодов. Произведена оценка эффективности применения светодиодных светильников марки ДПО-10-101 (на замену светильника ЛБО22-18-501 с компактной люминесцентной лампой) в системе жилищно-коммунального хозяйства и светильник марки ВЭЛАН-012 со светодиодной матрицей (заменяет РСР 18-400-01 с лампой типа ДРЛ) для промышленных помещений. Для решения поставленной задачи произведены светотехнический и электрический расчеты осветительной сети. По результатам этих расчетов произведена оценка затрат на оборудование, монтаж и эксплуатацию с учетом количества замен ламп в светильниках за период срока службы источника света и пускорегулирующей аппаратуры. Для сетей со светодиодами уменьшается сечение питающих линий, а для производственного помещения – и групповой сети. Это связано со значительным снижением потребляемой мощности этими источниками света. В произведенной оценке учитывалось также снижение расхода электроэнергии на освещение. Комплексная оценка производилась методом приведенных затрат и методом чистого дисконтированного дохода.

Проведенный анализ полученных результатов показывает, что варианты с использованием для освещения производственного помещения и внутридомовых помещений жилого дома светильников со светодиодными источниками света являются прибыльными.

Литература:

1. Козловская В.Б., Гаврилович Д.А., Перемотова О.Н. Эффективность применения светодиодных светильников в жилищно-коммунальном хозяйстве. // Энергия и менеджмент. – 2011. – № 1.
2. Козловская В.Б., Гаврилович Д.А., Гаврилович О.Н. Эффективность применения светодиодных светильников для освещения производственного помещения. // Энергия и менеджмент. – 2011. – № 3.

Обзор конструкций и характеристик силового электрооборудования ветроэнергетических установок

Кононов К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Различают три класса ветроэнергетических (ВЭУ) установок в зависимости от назначения и условий их работы по отношению к энергосистеме, к которой они подключены.

К первому классу относятся автономные одногенераторные ветроустановки, не подключенные к энергосистеме для параллельной работы. В автономных ВЭУ используются электрогенераторы различных типов, чаще всего многополюсные генераторы с постоянными магнитами, классические синхронные генераторы с нестабилизированными и стабилизированными электрическими параметрами на выходе, асинхронные генераторы с самовозбуждением или вспомогательным возбуждением. При простейших электрических схемах напряжение и частота (в случае генератора переменного тока) на выходе генератора будут нестабильными и нестандартными, однако энергия с успехом может быть утилизирована с помощью выпрямителей, электрических аккумуляторов и нагревательных устройств. Потребность в качественной электроэнергии со стабилизированными параметрами можно обеспечить применением инверторов, питаемых от аккумуляторов. [1]

Ко второму классу относятся ВЭУ работающие параллельно с дизель-генератором соизмеримой мощности. Управление генераторами и достижения качества электроэнергии, вырабатываемой ВЭУ, можно добиваться теми же техническими средствами, что и в системах первого класса.

К третьему классу относятся ВЭУ работающие параллельно с мощной энергосистемой. Наиболее дешевым и, возможно, безопасным типом ветроэлектрогенератора в этом случае является асинхронный генератор переменного тока, подключенный непосредственно в энергосистему и ведомый ею. Поскольку величина напряжения на зажимах генератора и его электрическая частота задаются сетью, можно существенно снизить требования к управляемости генератора и руководствоваться критериями высокой надежности и экономичности, минимальными габаритами и массой, минимальной стоимостью производства и эксплуатации [1].

Литература:

1.Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Ветроэлектрогенераторы. – Харьков: ХАИ, 2003. – 400с.

Общие требования к электроснабжению подземных горных участков

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Установленная мощность современных шахт в зависимости от их производственной мощности, глубины залегания пластов или рудных тел, размеров шахтного поля, водообильности, уровня механизации, автоматизации и др. факторов достигает десятков МВА. В связи с этим структура системы электроснабжения имеет свою специфику в части технической реализации и исполнения электрооборудования. Выделяют системы: внешнего электроснабжения, электроснабжения потребителей поверхности, электроснабжения подземных горных работ напряжением выше 1кВ, стационарных и полустационарных установок. Электроснабжение шахт и рудников осуществляется следующими способами: от автономных источников питания, от собственных электростанций, связанных с энергосистемой, от энергосистемы.

Электроснабжение горных предприятий осуществляют не менее чем по двум линиям от двух независимых источников питания (независимо от величины напряжения). Главные понижающие подстанции (ГПП), входящие в систему представляют собой, как правило, распределительную двухтрансформаторную подстанцию. Мощность каждого трансформатора обеспечивает 100% нагрузку, или при аварийном отключении одного трансформатора оставшийся обеспечивает питание потребителей 1-й категории и основных потребителей 2-й категории на время ликвидации аварии. Электроснабжение подземных горных работ осуществляется в соответствии с горно-геологическими условиями разработки, технологией работ, метанообильностью, запыленностью и повышенной влажностью в горных выработках. В целях повышения уровня безопасности осуществляют обособленное питание электроприемников шахт от поверхностных сетей. Схемы обособленного питания выполняются на базе трехобмоточных трансформаторов ТДТНШ, двухобмоточных с расщепленной обмоткой низшего напряжения ТРДН и разделительных трансформаторов напряжением 6кВ.

Распределение электроэнергии в подземных выработках, питание стационарных и передвижных машин и механизмов производят кабелями специального назначения до и свыше 1кВ. Тяжелые условия эксплуатации в подземных выработках, особенно на шахтах, опасных по газу и пыли, требуют применения специального взрывозащищенного электрооборудования.

Новые решения в конструкции комплектной трансформаторной подстанции в железобетонной оболочке производства Минского электротехнического завода им. В.И.Козлова

Лосев А.В.

Минский электротехнический завод им. В.И.Козлова

Блочные трансформаторные подстанции полной заводской готовности типа КТПБ, 2КТПБ-, одно- и двух- трансформаторные, мощностью до 1250, 2х1250кВА, напряжением до 20 кВ/0,4 кВ, с кабельным вводом и кабельными выводами в бетонной монолитной оболочке предназначены главным образом для электроснабжения городских потребителей.

КТПБ (секция 2КТПБ) представляет собой бетонный блок с установленными внутри распределительными устройствами низшего напряжения (РУНН), высшего напряжения и масляным герметичным (сухим) силовым трансформатором. Обслуживание аппаратуры – через наружные двери. Применяемое в КТПБ, 2КТПБ высоковольтное малогабаритное оборудование (элегазовые моноблоки) обеспечивает полную безопасность обслуживающего персонала при проведении эксплуатационных работ, надежно, удобно в эксплуатации, экологически безопасно. Данное оборудование не требует какого-либо профилактического обслуживания в течение всего срока службы – 25 лет, что снижает затраты на эксплуатацию. Соединение секций 2КТПБ по высокой и низкой стороне осуществляется кабелем, возможна установка АВР. Комплектные трансформаторные подстанции оснащены системой принудительной вентиляции (обдув трансформатора), что позволяет беспрепятственно нагружать до 120% номинальной мощности трансформатора. Малогабаритность позволяет размещать подстанцию на стандартных транспортных средствах в пределах допустимых габаритов. Доставка выполняется со смонтированным трансформатором, что указывает на полную заводскую готовность и снижает транспортные издержки (существенное снижение затрат на строительно-монтажные работы). Монтаж на объекте заключается лишь в рытье котлована глубиной 0,7 м. с выравниванием его дна, подведением кабелей и засыпкой грунтом пазух по периметру контейнера, а также монтажом заземляющего устройства.

Изделие имеет дизайн, соответствующий современным архитектурным требованиям. В конструкции КТПБ реализован простой и доступный принцип замены электрооборудования, что снижает эксплуатационные издержки. Подстанция имеет высокую степень защиты от проникновения пыли и атмосферных осадков, что положительно влияет на увеличение срока службы оборудования.

Руденя А.С., Олешкевич М.М.

Белорусский национальный технический университет

Крупнейшими потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) являются промышленные предприятия и в их числе предприятия пищевой промышленности. Для мясомолочной отрасли республики трудности возникают из-за роста цен на ТЭР, большого удельного веса энергетической составляющей в стоимости выпускаемой продукции, высокой энергоемкости и низкой энергоэффективности.

Основные потребители ТЭР – это холодильные установки (электроэнергия) и котельные (в основном природный газ).

Холодильные установки, компрессоры, камеры охлаждения с теплоизоляцией, конденсаторы находятся в работе в течение года. На выходе из компрессора температура хладагента составляет 50-85⁰С. Это тепло бесполезно выбрасывается в окружающую среду.

Котельные предприятий, паровые котлы, паровые сети и сети горячей воды, потребители горячей воды и пара отличаются большими потерями ТЭР и низким к.п.д. Внедрение новых энергоэффективных котлов, экономайзеров, применение устройств когенерации и тригенерации, тепловых насосов на компрессорных участках для нужд отопления, термореновация элементов ограждающих конструкций камер холодильников, внедрение когенерационных установок для выработки электрической энергии на собственные нужды, внедрение установок повышающих к.п.д. котлов, других устройств может обеспечить повышение к.п.д. установок и значительной экономии ТЭР на предприятии.

Также не стоит забывать про остальные элементы предприятия, которые могут подлежать усовершенствованию и модернизации, что приведет к экономии топливно-энергетических ресурсов. Например, замена компрессорных кондиционеров на абсорбционные кондиционеры.

Успех энергоэффективных мероприятий достигается не только за счет внедрения новых энергосберегающих технологий, но и путем совершенствования методов и способов управления.

Грамотный подход к организации и проведению программы позволяет гарантированно добиться достаточно высоких показателей в области энергосбережения.

**Коэффициент полезного действия использования топлива
в энергетике и на транспорте**

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

Эффективность использования топлива в энергетике и на транспорте очень низкая. Велики затраты топлива на добычу, на производство топлива и на его доставку к потребителям (не менее 20% запасенной в топливе энергии). К.п.д. теплового двигателя не превышает 40-45%. К.п.д. электропередачи с учетом потерь в линиях, трансформаторах, расходов энергии на собственные нужды электростанций, составляет 85-90%. Огромны потери выработанной тепловой энергии при ее передаче на расстояние. К.п.д. потребителей энергии не поддается никакой критике. Лампы накаливания, основной потребитель электроэнергии коммунально-бытового сектора имеют к.п.д. всего 5-7%, к.п.д. люминесцентных ламп – до 17%. Велики потери энергии при эксплуатации электропечей, приводных электродвигателей.

Общий к.п.д. использования топлива при выработке электроэнергии на конденсационной электростанции, с учетом затрат энергии на производство и доставку топлива, на передачу электроэнергии, потерь энергии у потребителей, составляет 1,6-25,9%.

К.п.д. использования энергии топлива в транспортных установках оценим с учетом затрат топлива на добычу, производство и доставку топлива в 20%, к.п.д. теплового двигателя – 45% соотношения массы полезного груза к полной массе транспортной установки.

К.п.д. использования энергии топлива в автобусе МАЗ общей массой 18 т, пассажироместимостью 135 человек (в среднем по 70 кг) при полной загрузке составляет 18,9%. Если автобус загружен на 50%, к.п.д. снижается до 9,5%.

К.п.д. использования энергии топлива легкового автомобиля-внедорожника массой 2,5 т при перевозке одного пассажира – водителя составляет менее 1%. При полной загрузке автомобиля (5 человек) к.п.д. возрастает до 5%.

К.п.д. использования энергии топлива крупнейшего в мире круизного лайнера «Оазис морей» с суммарной мощностью судовой энергоустановки 97020 кВт (131947 л.с.), полным водоизмещением 225282 т брутто, пассажироместимостью 6400 человек, с экипажем 2165 человек с учетом полезного груза по 700 кг на человека (?) не превышает 1%.

Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток

В.М. Збродыга, А.И. Зеленькевич

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Для обеспечения симметрии напряжений при несимметричной нагрузке возможно применение силовых трансформаторов со схемой «звезда-зигзаг с нулевым проводом» на подстанциях 10/0,4 кВ. Однако такие трансформаторы имеют нечетную одиннадцатую группу соединения обмоток и не могут быть установлены на параллельную работу с трансформаторами «звезда-звезда с нулевым проводом» и «звезда-звезда с нулевым проводом с симметрирующим устройством», имеющими четную группу.

Авторами предложен трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток [1]. Схема соединения его обмоток представлена на рисунке 1.

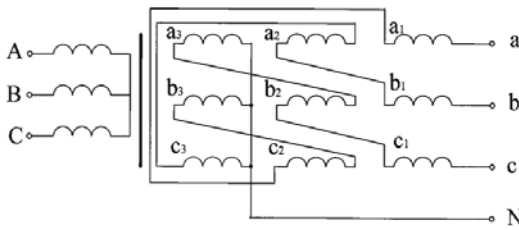


Рисунок 1 - Схема соединения обмоток трансформатора

Первичные обмотки трансформатора соединены по схеме «звезда». Вторичные обмотки состоят из трех частей, которые размещены на разных стержнях магнитопровода и включены последовательно, с соотношением числа витков $a_1 : a_2 : a_3 = 1/2 : 1/4 : 1/4$.

Предложенный трехфазный трансформатор имеет четную группу соединения обмоток и обладает симметрирующими свойствами схемы «звезда-зигзаг с нулевым проводом». Он обеспечит симметрию напряжений при несимметричном характере нагрузки, а также возможна его параллельная работа с трансформаторами «звезда-звезда с нулевым проводом».

Литература:

1. Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: пат. 16008 Респ. Беларусь, МПК7 Н 01F 30/12 / А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

К вопросу оптимизации параметров силовых трансформаторов

В.М. Збродыга, Г.И. Янукович, М.П. Косяк

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

В процессе производства трансформаторов заводы-изготовители стремятся изготовить трансформатор с низкими капитальными затратами. Эксплуатирующие организации интересуют минимальные издержки при их эксплуатации. Поэтому при проектировании трансформаторов авторы считают целесообразным получить не самый дешевый трансформатор, а наиболее дешевую трансформацию энергии, то есть трансформатор, у которого первоначальные капитальные вложения в сумме с текущими затратами на его эксплуатацию за установленный промежуток времени будут минимальными.

При таком подходе оптимальными будут являться конструктивные размеры и технические параметры трансформатора, соответствующие наименьшим дисконтированным затратам:

$$СДЗ = K + (I_э - I_A)\alpha_T,$$

где K - капиталовложения в изготовление трансформатора, руб.;

$I_э$ - годовые издержки при эксплуатации трансформатора, руб./год;

I_A - амортизационные отчисления, руб./год;

α_T - дисконтирующий множитель.

Для определения оптимальных параметров требуется рассмотрение большого числа вариантов расчета, отличающихся величиной капиталовложений и эксплуатационных издержек, которые зависят от степени загрузки и размеров элементов магнитной и электрической системы трансформатора. Поэтому задача оптимизации требует применения ЭВМ.

Авторами разработана программа для расчета на ЭВМ оптимальных параметров трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» различной мощности и напряжения с учетом выбора типа и материала обмоточного провода, марки и толщины пластин электротехнической стали магнитопровода. Она позволяет определять оптимальные технико-экономические показатели (потери холостого хода и короткого замыкания, капитальные вложения в активную часть трансформатора, амортизационные отчисления, стоимость потерь электроэнергии, совокупные дисконтированные затраты за расчетный период) трансформатора и соответствующие им конструктивные размеры активной части.

Технологическое обоснование понятия достоверности дублированных измерений

Анищенко В.А., Немкович А.С.

Белорусский национальный технический университет

Увеличение мощностей энергетических объектов, аварии на которых могут привести к значительному недоотпуску электрической и тепловой энергии и представляют большую опасность для экологии окружающей среды, требуют повышения точности и достоверности измерений технологических переменных, характеризующих состояние объектов. Одним из способов реализации этих требований является дублирование наиболее важных измеряемых переменных.

При отсутствии больших погрешностей в качестве достоверного принимается осредненное значение дублированных измерений, в среднем более точное по сравнению с отдельно взятым измерением. Однако с увеличением небаланса дублированных измерений возникает сомнение в их достоверности. В связи с этим была поставлена задача обоснования границы принятия решения о достоверности или недостоверности дублированных измерений.

Статистический подход к решению подобного рода задач предполагает выбор значения квантиля, определяющего неучитываемые «хвосты» распределения плотности небаланса. Обоснованием такого выбора является исключительно его практическая целесообразность. Так, в энергетике часто применяется правило «трех сигм». Предлагается технологическое обоснование этого квантиля, исходя из фактического небаланса измерений, априорной информации о диапазоне, в котором находится контролируемая переменная в нормальном режиме работы, и законе ее распределения. В качестве границы принятия решения принимается значение небаланса, при котором точность осредненного значения переменной равна точности ее наиболее вероятного замещающего значения, определяемого исходя из диапазона и распределения контролируемой переменной. При превышении указанной границы в качестве достоверного принимается замещающее значение переменной.

Рассмотренный подход к оценке достоверности дублированных измерений позволяет исключить неопределенность при выборе квантиля и соответствующей границы принятия решения, что повысит надежность измерительной информации и систем управления производством, распределением и потреблением электрической и тепловой энергии в целом.

О коэффициенте полезного действия трансформатора

Гончар А.А.

Белорусский национальный технический университет

Коэффициент полезного действия (к.п.д.) – это числовая характеристика энергетической эффективности устройства или машины. К.п.д. определяется как отношение полезно использованной энергии (превращенной в работу) к суммарному количеству энергии, переданной системе.

Приведа общепринятое выражение для к.п.д. трансформатора к виду

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\Delta P_{CT} + K^2 \Delta P_M}{KS_H \cos \varphi_2}}, \quad (1)$$

можно отметить, что составляющая под чертой

$$\frac{\Delta P_{CT} + K^2 \Delta P_M}{KS_H \cos \varphi_2} \quad (2)$$

представляет удельные потери мощности

$$\sum \Delta P_{уд} = \frac{\sum \Delta P}{KS_H \cos \varphi_2}, \quad (3)$$

т.е. потери, приходящиеся на единицу передаваемой мощности.

Для фиксированного значения к.п.д. можно записать соотношения

$$\frac{\sum \Delta P_1}{K_1} = \frac{\sum \Delta P_2}{K_2}, \quad (4)$$

$$K_1 K_2 = \frac{\Delta P_{CT}}{\Delta P_M} \quad (5)$$

Из соотношений (4, 5) следует, что к.п.д. трансформатора в принципе может быть одинаковым при двух разных коэффициентах нагрузки K_1 и

K_2 при условии, что $K_1 K_2 = \frac{\Delta P_{CT}}{\Delta P_M}$. При этом суммарные потери мощности

будут разными.

На основании изложенного выше можно утверждать, что информация только о к.п.д. недостаточна для оценки качества преобразования электрической энергии в трансформаторе.

Способ уменьшения гироскопического момента ветродвигателя

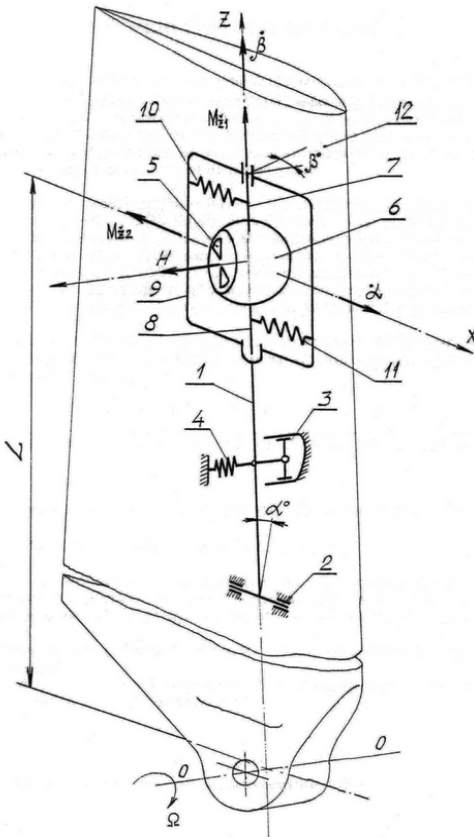
Горноста́й А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет,

* Институт транспорта и связи, Латвия

При установке на ветер головки быстроходных крыльчатых ветродвигателей в зонах с большими среднегодовыми скоростями ветра возникает необходимость гашения гироскопического момента лопастей ветродвигателя.

Для решения данной задачи предлагается в известном динамическом гасителе колебаний, содержащем стержень с инерционной массой, шарнирную опору стержня, связанные с последним демпфером и упругие элементы, устанавливаемые на консоли, выполнить инерционную массу в виде двухстепенного гироскопа, внешняя рамка которого жестко соединена со стержнем, а кожух жестко закреплен на полуосях, шарнирно установленных на внешней рамке, причем полуоси соединены с внешней рамкой посредством пружин.



Это позволит уменьшить динамические нагрузки, действующие на лопасти ветродвигателя и повысить его надежность и долговечность.

Анализ методов управления наружным освещением

Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В связи с удорожанием энергоносителей, которое приводит к росту стоимости электроэнергии, всё более актуальными становятся меры, связанные с повышением энергоэффективности эксплуатации различных электроустановок. Одной из таких мер является электросбережение в наружном освещении, основанное на использовании энергоэффективного оборудования в сочетании с выбором оптимальных времени работы и условий освещения. Это достигается путём внедрения современных систем управления осветительными установками, которые позволяют снизить расходы на потребляемую электроэнергию, техническое обслуживание и ремонт.

Наружное освещение может включаться вручную из диспетчерского пункта или автоматически. Автоматический контроль и управление светильниками наружного освещения может осуществляться:

- хронологически или по времени суток (использование таймеров, учет астрономического времени);
- контролированием наличия дневного света (применение фотоэлементов);
- использованием на отдельных участках датчиков движения;
- любое сочетание перечисленных способов.

Рациональное использование электроэнергии в управляемом наружном освещении возможно с применением следующих технических решений:

1) «традиционное» управление по фазам с помощью использования однополюсных аппаратов управления, т.е. отключении 1/3 или 2/3 светильников в ночное время, когда снижается активность городского населения и интенсивность дорожного движения. Но такой способ регулирования создает большую неравномерность освещённости, поэтому не рекомендуется для использования международной комиссией по освещению из-за негативного влияния на безопасность дорожного движения.

2) использование диммирования (индивидуальное и групповое) путём снижения светового потока ламп в зависимости от времени суток за счёт регулирования напряжения. Такой способ позволяет избежать большой неравномерности освещения. Согласно ТКП 45-2.04-153-2009 разрешается снижать уровень освещения в ночное время на 50%, а в вечернее и утреннее время на 30% и 50% при уменьшении интенсивности дорожного движения в 3 и 5 раз соответственно.

Оценка влияния уровня напряжения в начале линии наружного освещения на режим работы сети

Козловская В.Б., Калечиц В.Н.

Белорусский национальный технический университет

На осветительные нужды расходуется около 13-15% электроэнергии от общего электропотребления. Для сетей наружного освещения характерны некоторые особенности, оказывающие существенное влияние на режим их работы. Линии наружного освещения являются достаточно протяженными, содержащими 30 и более светильников, расположенных на расстоянии 35-50 м друг от друга. Используются светильники с лампами типа ДНаТ, ДРЛ, ДРИ; доля остальных ламп значительно меньше. Единичная мощность лампы в сети составляет от 50 до 400 Вт. Управление светильниками наружного освещения осуществляется из пунктов питания, каждый из которых может располагаться в трансформаторных подстанциях (10/0,4 кВ) или непосредственно на световых опорах и охватывает расстояние 1-1,5 км. Такие протяженные линии со значительными нагрузками являются очень чувствительными к колебаниям напряжения, поэтому грамотное построение их с точки зрения оптимального распределения нагрузок, протяженности и сечения проводников является актуальной задачей. Величина напряжения оказывает существенное влияние на показатели электропотребления и эксплуатационные характеристики различных ламп. Эффективность и условия эксплуатации светильников наружного освещения определяются режимом работы сети.

Расчёт параметров электрической сети наружного освещения имеет характерные особенности. Характеристикой светильника как электроприёмника являются потребляемая активная и реактивная мощность, ток нагрузки, которые зависят от напряжения на зажимах светильника. Если это не учитывать, то расчётные потери напряжения и расчётные напряжения на зажимах светильников, разнородных от пункта питания, будут иметь значения, отличающиеся от фактических.

Эксплуатационные условия работы электрических сетей определяются исходными данными, в качестве которых для расчёта режима задают напряжение в начале линии наружного освещения (в пункте питания), а также нагрузку непосредственно на светильнике.

Литература:

1. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: Учебник. – Минск: Техноперспектива, 2011. – 543 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972с.

Повышение надежности электроснабжения путем применения трансформаторных подстанций с накопителями энергии

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из особенностей электроэнергетики является одновременность процесса производства и потребления электроэнергии. Эту нежелательную особенность можно в определенной степени компенсировать за счет использования накопителей энергии. В зависимости от того, какие цели преследуются, накопители энергии могут быть размещены непосредственно у объекта генерации энергии, в электрических сетях или у конечного потребителя энергии.

В данной работе предлагается использовать накопители энергии на трансформаторных подстанциях (ТП) напряжением 6-20/0,4 кВ. На ТП предлагается размещать накопители энергии со сравнительно коротким циклом накопления (не более суток). В качестве накопителей электрической энергии могут быть применены различные типы аккумуляторных батарей (кислотные, никель-кадмиевые, ионно-литиевые и др.), регенеративные топливные элементы на основе электролитов, сверхпроводниковые индукционные накопители и суперконденсаторы. Рассматривается возможность использования накопителей тепловой энергии на ТП напряжением 6-20/0,4 кВ, имеющих распределительное устройство высокого напряжения с элегазовой изоляцией, что позволит обойтись без специальных подогревающих устройств. Результатом, обеспечиваемым накопителями электрической энергии, является управление режимами нагрузки за счет разряда накопителя во время пика нагрузки и зарядки в момент минимального потребления мощности. Применение накопителей электрической энергии также способствует облегчению работы потребителей с режимами частого торможения и пуска, повышению качества электроэнергии путем поддержания стабильности напряжения у потребителя при резкопеременном характере нагрузки и снижению потерь при передаче энергии. Повышение надежности электроснабжения достигается за счет использования накопителей в качестве аварийного источника электроэнергии.

В последнее время растет интерес к производству и распределению электроэнергии на месте потребления, чаще всего за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ). На установках, использующих ВИЭ, накопители позволят компенсировать нестабильность генерации электрической энергии и оптимизировать режим работы системы электроснабжения объектов в целом.

Способ защиты сельских электрических сетей от перенапряжения путем применения комбинированных устройств

Шевчик Н.Е., Протосовицкий Д.И.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Очень часто при эксплуатации электрооборудования, кабельных и воздушных линий электропередач приходится сталкиваться с отрицательным влиянием перенапряжений.

Наиболее продуманной и отвечающей современным требованиям в области защиты от импульсных грозовых перенапряжений в настоящее время является зонавая концепция защиты. Основные ее положения приведены в стандартах IEC-1024-1 (1990-03) "Защита сооружений от удара молний. Часть 1. Общие принципы" и IEC-1312-1 (1995-02) "Защита от электромагнитного импульса молнии. Часть 1. Общие принципы".

Основой любой системы защиты являются системы заземления и выравнивания потенциалов внутри здания, поэтому обязателен переход на системы электропитания TN-S или TN-C-S с разделёнными нулевым рабочим и нулевым защитным проводниками.

Следующим шагом должна стать установка защитных устройств. При этом трудно выполнить устройство, обеспечивающее защиту одновременно и от больших и от малых импульсов. Устройство, обычно приспособленное к защите от высоковольтных импульсов, оказывается беззащитным перед низковольтным.

В данной работе предложена следующая схема, способная решить выше поставленный вопрос. Устройство для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений, содержит последовательно соединенные нелинейные резисторы, подключенные одним выводом в фазу сети, а другим – к земле, причем между фазой сети и землей подключаются три нелинейных резистора, к которым подключены два полупроводниковых ограничительных диодов, при этом первый полупроводниковый ограничительный диод подключен параллельно соединенным последовательно верхнему и среднему нелинейному резистору, а второй полупроводниковый ограничительный диод подключен параллельно соединенным последовательно среднему и нижнему нелинейному резисторам.

Главным преимуществом его является универсальность применения для защиты от низко- и высоковольтных импульсов напряжения.

Рационализация схем электроснабжения промышленных предприятий

Ярошевич Т.М.

Белорусский национальный технический университет

Появления нового оборудования в системе электроснабжения промышленного предприятия, в данном случае, генераторов, требует критического рассмотрения традиционно применяемых схем электроснабжения так как рационально выполненная схема электроснабжения должна отвечать ряду требований: безопасности и удобству эксплуатации, снижению капитальных затрат и затрат на эксплуатацию, повышению надежности и сокращению возможного ущерба при авариях.

Поэтому электростанции предприятий, за исключением расположенных в удаленных районах, должны быть электрически связаны с ближайшими электрическими сетями энергосистемы. На связях целесообразно предусматривать делительную защиту, предназначенную для отделения электростанции предприятия от сетей электроснабжающей организации при авариях в энергосистеме, вызывающих дефицит мощности, снижению частоты до недопустимых пределов и т.п.

Рост мощностей энергосистемы, питающих промышленное предприятие электроэнергией, подключение собственных генерирующих источников питания на предприятии приводит к повышению токов короткого замыкания на шинах подстанции и в сетях промышленных предприятий. Для обеспечения устойчивости работы генераторов при коротком замыкании в сети, необходима перестройка релейной защиты автоматики в системе электроснабжения. В результате увеличения токов короткого замыкания может возникнуть необходимость реактирования или применение трансформаторов с расщепленными обмотками, которые вызывают увеличение отклонений напряжения и затрудняют поддержание необходимого уровня напряжения при различных режимах работы. Кроме того, может возникнуть необходимость замены электрооборудования на более термически и электродинамически стойкое к действию токов короткого замыкания, а также к замене существующих выключателей на выключатели с отключающей способностью достаточной для отключения возрастающих токов короткого замыкания.

Поэтому при проектировании электроснабжения промышленных предприятий необходимо учесть что для каждой схемы электроснабжения технико-экономические решения разнообразны и единого решения не существует.

**Технологическая схема поиска отказавшего участка
кабельной линии напряжением 6-10 кВ**

Радкевич В.Н., Шакурова М.Д.

Белорусский национальный технический университет

Кабельные распределительные линии (РЛ) электропередачи напряжением 6-10 кВ, выполненные по петлевым или лучевым схемам, состоят из отдельных участков. Короткое замыкание (КЗ) на одном из участков влечет за собой отключение всей РЛ. При этом возникает задача поиска и локализации отказавшего участка, а также восстановления электроснабжения потребителей. Поиск повреждения выполняется оперативно-выездной бригадой (ОВБ) под управлением дежурного диспетчера электрической сети, осуществляемого по радиосвязи. При отсутствии в сети устройств, фиксирующих факт протекания тока КЗ, процесс поиска повреждения производится путем поэтапного деления отключившейся кабельной РЛ на два или более подмножеств участков с последующей их проверкой на наличие повреждения. После проверки неповрежденные подмножества включаются в работу, а часть РЛ, содержащая отказавший элемент, подвергается аналогичной процедуре деления и проверки. На метод поиска существенное влияние оказывает техническая оснащенность сети и ОВБ. Поиск повреждения и восстановление электроснабжения потребителей оперативно-диспетчерскому персоналу сети приходится осуществлять в напряженных послеаварийных ситуациях в условиях дефицита времени и пошагового поступления исходной информации. В таких условиях могут быть полезными получаемые на основе компьютерных программ технологические схемы (стратегии) поиска поврежденного участка и восстановления электроснабжения, представляющие собой систему однозначных указаний оперативно-диспетчерскому персоналу и определяющие последовательность действий ОВБ на каждом шаге поиска. Технологические схемы могут быть обобщенными, основанными на действующей нормативно-технической документации и применимыми к любым РЛ данной сети, конкретизированными, учитывающими конфигурацию линии, метод, технические средства и фактические условия поиска, а также оптимальными, выбранными по некоторому критерию эффективности. Разработана обобщенная технологическая схема поиска поврежденного участка РЛ напряжением 6-10 кВ, учитывающая использование различных технических средств, включая устройства телемеханики. На ее основе можно формализовать процесс поиска.

Автоматизация контроля технического состояния трансформаторной подстанции и её присоединений

Радкевич В.Н., Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность функционирования систем электроснабжения связана с техническим состоянием электрооборудования. Развитие методов диагностирования, дистанционного контроля реального технического состояния электрооборудования и его изменений в процессе эксплуатации без его вывода из работы, позволит создать современные автоматизированные системы эксплуатационного контроля.

В данной работе рассматривается возможность и целесообразность ввести систему комплексного контроля технического состояния трансформаторных подстанций (ТП) напряжением 6-20/0,4 кВ, включающую наблюдение за износом и остаточным ресурсом силовых трансформаторов, коммутационных аппаратов высшего напряжения, а также питающих линий. Это, в основном, позволит повысить эффективность эксплуатации трансформаторных подстанций, прогнозировать отказы и увеличить вероятность своевременного обнаружения повреждений.

Для контроля износа и определения остаточного ресурса электрооборудования и питающих линий предложены относительно простые методы, не дающие особой детализации дефектов и их опасности, но использующие небольшое количество факторов и достаточно легко реализуемые на практике.

Определение фактического износа силовых трансформаторов и питающих линий основано на контроле состояния их изоляции. Функция определения износа изоляции и остаточного ресурса, как силового трансформатора, так и питающих линий, выглядит следующим образом:

$$\varepsilon = f(\Delta t, \theta_{\text{окр.ср } i}, \theta_{\text{изол } i}, I_i, k_1, k_2, k_j, \dots, k_n),$$

где Δt – интервал осреднения, с; $\theta_{\text{окр.ср } i}$ – температура окружающей среды воздуха в момент времени t_i , °С; $\theta_{\text{изол } i}$ – температура наиболее нагретой точки изоляции в момент времени t_i , °С; I_i – значение полного тока нагрузки в момент времени t_i , А; $k_1, k_2, k_j, \dots, k_n$ – коэффициенты, полученные расчетным и эмпирическим путем для данного типа электрооборудования и его режима работы.

Контроль остаточного ресурса коммутационных аппаратов высшего напряжения предлагается осуществлять методом, основанном на использовании данных по их механическому и коммутационному ресурсу.

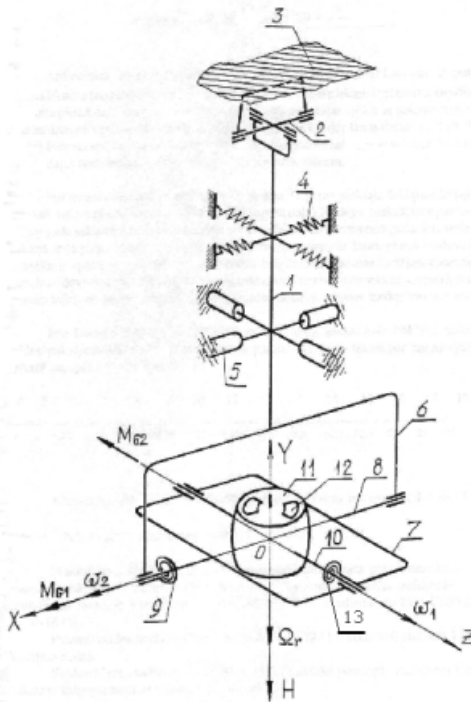
Об одном способе гашения колебаний башни ветроэнергетической установки

Горноста́й А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет,

* Институт транспорта и связи, Латвия

При работе ветроэнергетической установки (ВЭУ) в зонах с большими среднегодовыми скоростями ветра возникает необходимость гашения колебания башни ВЭУ.



Для решения данной задачи предлагается в известном устройстве для гашения колебаний, содержащем стержень с инерционной массой, шарнирную опору стержня, связанные со стержнем демпферы и упругие элементы, закрепленные на сооружении, выполнить инерционную массу в виде трехстепенного гироскопа, внешняя рама которого жестко закреплена на стержне и посредством внешних полуосей шарнирно связана с внутренней рамой, которая посредством внутренних полуосей шарнирно связана с кожухом гироскопа, причем спиральные пружины закреплены, соответственно, на внешних полуосях и внешней раме, а также на внутренних полуосях и внутренней раме.

Это позволит уменьшить динамические нагрузки, действующие на лопасти ветродвигателя и повысить его надежность и долговечность.

Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Особенности электромагнитной обстановки (ЭМО) на энергетических объектах (ЭО) связаны со следующими видами электромагнитных помех (ЭМП): импульсные помехи при коммутационных операциях выключателями и разъединителями, при работе электромеханических устройств; при КЗ на землю в сетях с заземленной нейтралью; низкое качество напряжения питания основных и резервных источников. Источники ЭМП – любые устройства, которые могут создавать и излучать электромагнитные поля. В большинстве случаев ЭМП возникают из-за: недостаточной проработки проектных решений в части соблюдения условий ЭМО, отклонений от проектных решений, низкого качества строительно-монтажных работ, физического старением объекта. Необходимо проводить контроль ЭМО на ЭО перед размещением на них современной цифровой аппаратуры защиты и автоматики, АСУ, автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии, а также с целью выявления неблагоприятных изменений в силу старения заземляющих устройств, реконструкций и т.д. Для совместной работы различных потребителей необходима их электромагнитная совместимость (ЭМС), т.е. способность электрооборудования, аппаратов и приборов нормально функционировать в электромагнитной среде, не создавая недопустимых ЭМП для другого оборудования, работающего в той же среде. Решение проблемы ЭМС связано с определением и поддержанием оптимальных показателей качества электроэнергии. Отсутствие решений по обеспечению ЭМС технических средств (ТС) является основной причиной неверной работы микропроцессорных устройств, которая может иметь серьёзные последствия вплоть до системных аварий. Необходимо фиксировать изменения, которые могут повлиять на ЭМС ТС: контура заземления, в системе молниезащиты, трассах и способах прокладки кабелей вторичных цепей, расположения зданий и сооружений, связанные с внедрением нового силового оборудования и установкой чувствительных электронных устройств, режима работы объекта и др. При обеспечении ЭМС необходимо ослабить помехи и излучаемые источником электромагнитные поля, предотвратить возникновение перенапряжений. Для анализа изменений в процессе эксплуатации следует привлекать специализированные организации, имеющие необходимое оборудование, программное обеспечение и знания. Таким образом, обеспечение ЭМО является актуальной проблемой, решение которой сказывается на надёжности и безопасности электроснабжения.

Теплоэнергетика

УДК 621.1.016

**Анализ движения жидкометаллических теплоносителей
в специальных процессах литья**

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Исследования процессов течения и теплообмена в жидких движущихся расплавах представляет значительный интерес – как теоретический, заключающийся в математическом описании сложных взаимосвязанных процессов тепломассопереноса, так и практический, состоящий в создании научных основ новых технологий энергетики, металлургии и машиностроении, использующих эффекты движущихся расплавов. К таким технологиям относятся: технологии жидкометаллических теплоносителей; непрерывные способы литья, включая непрерывную разливку стали; жидкая штамповка и спецтехнологии получения корпусных литых заготовок под низким давлением, литьем в подвижные кристаллизаторы, центробежными методами, методом выжимания жидкого расплава с использованием подвижных матриц-кристаллизаторов.

Исследование жидкометаллических теплоносителей (ЖМТ) направлены на их использование в перспективных технологиях в ядерных и неядерных отраслях промышленности.

В области атомной энергетики: АЭС третьего поколения на основе испарительно-конденсационных систем и высокотемпературных теплоносителей; ядерные энергетические установки (ЯЭУ) космического назначения, охлаждаемые жидкометаллическим теплоносителем; ЯЭУ транспортного назначения, охлаждаемые эвтектическим сплавом свинец-висмут.

В неядерных отраслях промышленности: разработка перспективных безопасных, экологичных и экономически конкурентоспособных технологий на основе научно-технических достижений в области физической химии и технологии жидкометаллических теплоносителей для химической, металлургической, нефтегазовой, фармацевтической, перерабатывающей отраслей промышленности.

УДК 629.735

**Распределенные источники электроэнергии и их потенциал
в регулировании генерации энергосистемы**

Коломыцкая Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В работе [1] обозначены возможность, энергетическая и экономическая целесообразность системного применения распределенных источников

электроэнергии, использующих теплотехнологическую нагрузку производства асфальтобетонной смеси (АБС) для регулирования генерации электроэнергии в Белорусской энергосистеме. Актуальность проблемы обеспечения графика электрических нагрузок общеизвестна, чрезвычайно остра и, в контексте ввода АЭС, не имеет экономически приемлемого решения в условиях Объединенной энергетической системы Беларуси. В этой связи представляется перспективным использование распределенных источников электроэнергии, как одного из рычагов комплексного решения указанной проблемы. Прежде всего, требуется определить фактический суммарный потенциал электрической мощности соответствующих источников электроэнергии. Для получения ответа нами проанализирована работа асфальтобетонных заводов (АБЗ) Департамента «Белатодор» и предприятий Облдорстрой за период 2009–2012 г.г. Всего установок по производству АБС на АБЗ в указанных организациях насчитывается более двухсот. Годовой выпуск АБС находится на уровне 5–6 млн т. В когенерационное энергообеспечение технологического процесса могут быть вовлечены установки АБЗ, использующие природный газ (ПГ). Таких АБЗ насчитывается до 100 единиц, выпуск АБС этими установками составляет 40 % от суммарного годового объема, требуемого на нужды дорожного строительства. Единичная доминирующая мощность АБЗ группы АБЗ на ПГ составляет от 50 до 100 т/ч. С АБЗ указанной производительности интегрируются источники электрической мощностью от 4,5 до 10 МВт. Суммарная электрическая мощность аналогичных источников на АБЗ страны оценивается на уровне до 1 ГВт.

Литература:

1. Хрусталеv, Б.М. К вопросу обеспечения графиков электрической нагрузки энергосистемы с привлечением потенциала энерготехнологических источников промышленных предприятий / Б.М. Хрусталеv, В.Н. Романюк, Я.Н. Ковалеv, Н.А. Коломыцкая // Энергетика и менеджмент. – 2010. – № 1. – С. 4–11.

УДК 620.97

Применение утилизационных турбогенераторов на промышленных предприятиях

Левков К.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для достижения требуемого уровня энергоэффективности промышленных предприятий и рационального использования топливно-энергетических стоит обратить внимание на утилизацию вторичных энергетических ресурсов. В мире производятся турбинные утилизационные

установки преимущественно большой мощности, применение которых весьма ограничено. Для большинства потребителей необходимы турбоагрегаты, способные работать с малыми расходами потоков и с параметрами низкого потенциала. Существующие установки малой мощности обладают определенными недостатками, ограничивающие их применение.

Для их устранения разработана инновационная микротурбина *ТурбоСфера*, в основу которой заложен принципиально новый взгляд на турбостроение. Основное отличие *ТурбоСферы* заключается в стремлении приблизить процесс расширения потока к изотермическому, за счет большого количества ступеней расширения и подогрева. Этот процесс осуществляется на одном рабочем колесе и в одном агрегате, за счет конструктивных особенностей – *ТурбоСфера* сочетает в себе одновременно турбину, теплообменник и электрогенератор.

Нагрев потока происходит многократно, в соответствии с числом ступеней расширения, во время его движения от одного сектора рабочего колеса к другому. Перемещение потока идет по круговой спирали внутри каналов, которые образуют сферическую поверхность.

Возможно применение *ТурбоСферы* для реализации следующих задач:

- 1) Утилизация энергии избыточного давления природного газа на газораспределительных станциях и пунктах и водяного пара в котельных;
- 2) Выработка электроэнергии из тепловых отходов: горячей воды, пара, дымовых газов;
- 3) Создание автономного источника электроэнергии на местных видах топлива, бытовых отходах, биотопливе.

Внедрение утилизационных комплексов на базе турбогенераторных установок, позволит повысить энергоэффективность и рентабельность промышленных предприятий, снизить потребление первичного топлива и нагрузку на окружающую среду, за счет снижения количества загрязняющих выбросов.

УДК 62.50:620.4

Решение тестовой задачи оптимизации структуры и состава системы централизованного теплоснабжения

Шкляр И.В.

Белорусский национальный технический университет

Задача модернизации существующих систем централизованного теплоснабжения (ЦТ) является актуальной в современных условиях. Особенно сложной проблемой она является для крупных городов с плотной застройкой и разветвленной системой тепловых сетей. Стремление строительства административных, гражданско-социальных и жилых зданий в центре го-

родов в последние годы ещё больше увеличивает плотность застройки тем самым приводит к возрастанию тепловых нагрузок. Ввиду того, что одновременно происходит и модернизация самих тепловых сетей и теплоисточников представляет определенный практический интерес эффективное решение задачи оптимизации структуры и состава СЦТ. При этом необходимо рассматривать как структурную, так и параметрическую оптимизацию. В первом случае это касается ввода новых элементов (теплоисточников, теплопроводов, тепловых подстанций) в состав СЦТ, во втором – изменения их параметров (мощностей, пропускных способностей и режимов отпуска теплоты). В данной работе рассматривается вопрос выбора оптимального варианта модернизации тепловых сетей города (региона) при условии, что мощности теплоисточников достаточны для покрытия возросшей потребности в тепловой энергии. Задача решается для режима максимальной тепловой нагрузки.

В рамках разработки алгоритма решения поставленной задачи (оптимизации структуры централизованной системы теплоснабжения крупных городов в результате роста тепловых нагрузок) была решена тестовая задача. В работе представлено результаты решение тестовой задачи, позволившие определить наиболее эффективное решение по выбору варианта модернизации СЦТ для заданного увеличения тепловых нагрузок потребителей.

Разработанный алгоритм и программное средство можно рекомендовать для использования при разработке перспективных планов развития систем теплоснабжения городов и населенных пунктов.

УДК 621.315

Диагностика состояния тепловой сети методом тепловой волны

Калиновик М.С., Петровская Т.А., Седнин В.А.

Белорусский национальный технический университет

Проблема определения фактических потерь теплоты является одной из важнейших в теплоснабжении. Именно большие тепловые потери – основной аргумент сторонников децентрализации теплоснабжения, количество которых увеличивается пропорционально количеству фирм, производящих или продающих небольшие котлы и котельные. Редко кто решается назвать цифры тепловых потерь, а если называются, то нормативные, т.к. в большинстве случаев фактические тепловые потери в сетях не знает никто. Но для повышения эффективности теплоснабжения необходимо производить диагностику сетей, находить и устранять их слабые места.

В работе предложено использование для прямых измерений теплопотерь метод тепловой волны с резким изменением температуры сетевой

воды на теплоисточнике и измерением температуры в характерных точках регистраторами с посекундной фиксацией, что позволит добиться требуемой точности измерения расхода и, соответственно, теплотерь. Также выполнена математическая модель теплотрассы, разработан её алгоритм и составлена программа для ПЭВМ, которая позволяет аналитически рассчитать теплотери и сравнить их с полученными опытным путем. Данный метод позволяет решить поставленную проблему, не прибегая к дополнительным вложениям в дорогостоящее оборудование. Он прост в исполнении и дает довольно точные результаты.

Актуальность определения транспортных потерь теплоты в сетях централизованного теплоснабжения вызвана необходимостью иметь энергетическую характеристику тепловых сетей по тепловым потерям, которая является важным экономическим показателем, предметом заинтересованности всех участников взаиморасчетов при выработке и потреблении тепловой энергии.

УДК 621.1.016

Разработка алгоритмов решений задач тепло- и массопереноса

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Вводя безразмерные переменные, перепишем систему дифференциальных уравнений и краевые условия в безразмерных переменных:

$$c(u, x)\rho(u, x)\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(u, x) \frac{\partial u}{\partial x} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \text{ при } x = 0; \quad (2)$$

$$\lambda \frac{\partial u}{\partial x} = -\alpha u, \text{ при } x = 1; \quad (3)$$

$$u = (x, 0) = u_0(x), \quad (4)$$

где u – безразмерная температура, определяется в каждой точке системы в любой момент времени: $u = T - T_0 / T_0$;

x – безразмерная координата, представляющая отношение текущей координаты к наружному размеру многослойной стенки;

T_0 – температура окружающей среды.

Для решения поставленной задачи используем метод сеток. Для численного решения уравнения (1) перейдем к конечно-разностному аналогу. Расчетную область многослойного тела заполним нерегулярной сеткой с

узлами x_i , где $i=1,2,\dots,n$, причем количество узлов в каждом слое обозначаем через n_i . Тогда шаг сетки на каждом слое будет равен $h_i=a_i/n_i$, где a_i – безразмерная толщина i -го слоя. Введем в рассмотрение также фиктивную сетку, узлы которой на полшага h_i сдвинуты к оси, так что границы слоев отстают на полшага от смежных узлов. Обозначим нумерацию узлов сетки

от -1 до n , где $n = \sum_1^5 n_i$.

Для конечно-разностной аппроксимации производных в выражении (1) используем четырехточечную неявную схему. Тогда рассматриваемую задачу можно свести к итерационной системе алгебраических уравнений:

$$\alpha_i^2 \rho_i c_i \frac{u_i^{l+1} - u_i^l}{\tau} = \frac{1}{h} \left(\lambda_{i+\frac{1}{2}} \frac{u_{i+1}^{l+1} - u_i^{l+1}}{h_+} - \lambda_{i-\frac{1}{2}} \frac{u_i^{l+1} - u_{i-1}^{l+1}}{h_-} \right). \quad (5)$$

УДК 629.735

Когенерационный комплекс Барановичского производственного хлопчатобумажного объединения

Муслина Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» является важнейшим в составе концерна «Беллеглапром». На предприятии требуется модернизация технологического оборудования, которую необходимо производить только совместно с переходом к современному энергоэффективному энергообеспечению. Структура энергопотребления: 32 % электроэнергия, из 68 % тепловой энергии 16 % приходится на прямое сжигание природного газа (ПГ) в технологии. Теплоснабжающий источник – Барановичская ТЭЦ с начальными параметрами пара 39 ат, 390 °С, и на потоке пара 7 ат удельная выработка электроэнергии крайне мала. Даже при указанной структуре энергопотребления большая часть электроэнергии предприятия генерируется на КЭС. Ситуация усугубляется характеристиками паропровода. Разрабатывается проект модернизации энергообеспечения в котором предусматривается когенерационный комплекс мощность которого выбирается в соответствии с собственным потреблением электроэнергии, а дефицит тепловой энергии покрывается от Барановичской ТЭЦ, для чего реконструируется паропровод. Это облегчает и режимы эксплуатации собственного когенерационного источника, что важно для систем, в которых в потреблении доминируют красильные производства, график потребления пара которых чрезвычайно неравномерен.

Другой проблемой при переходе к собственному когенерационному комплексу является сопряжение структур генерации и потребления тепловых энергопотоков. В потреблении доминирует пар и для устранения перекоса необходимо и, как оказалось, возможно увеличить технологическое потребление энергии сетевой воды. Сегодня начальная температура технической воды составляет 30 °С, которую можно увеличить до 45–60 °С в зависимости от технологического процесса. Такое решение не нарушает технологических режимов и снижает потребность в последующем расходе энергии для нагрева потока до температуры теплотехнологической обработки, уменьшает потребление пара непосредственно в технологических аппаратах, увеличивает потребление водяного теплоносителя. Это крайне необходимо для выравнивания структур генерации и потребления тепловой энергии, что требуется для обеспечения эффективной работы когенерационного комплекса. Годовой отпуск: электроэнергия КК 36,3 млн кВт·ч или 70 % потребления, себестоимость 4,4 цента/кВт·ч; ТЭ – 34,6 тыс. Гкал. Срок окупаемости до 3 лет, УРТ – 156 г/кВт·ч, системная годовая экономия ПГ – 6,2 тыс. т у. т.

УДК 666.973

Исследование и термодинамический анализ теплотехнологии производства ячеистого бетона

Мясникович В.В., Сверчков С.А., Левков К.Л.

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

Производство ячеистого бетона является приоритетным для строительной Республики Беларусь и всего мира. Материал отвечает всем необходимым требованием. Рассмотрение технологической линии производства позволило выявить основной теплотехнологический процесс – тепловлажностная обработка массивов в автоклавах. Процесс характеризуется продолжительностью и нестационарностью процессов теплообмена. Основой термодинамического анализа послужили энергетические и массовые балансы процессов в автоклаве, составленные на основании разработанной структурной схемы.

В основе производства лежит 12-ти часовой процесс автоклавной обработки, с применением насыщенного пара давлением 1,2 МПа по норме 150 кг на 1м³ готового изделия. Ячеистый бетон последовательно подвергается тепловлажностной обработке в процессах плавного подъема температуры, изотермической выдержки и сброса давления, в ходе которых происходит набор прочности. При производстве ячеистого бетона побочным продук-

том является сбрасываемый пар при опустошении автоклава и конденсат, непрерывно сливающийся из автоклавов в процессе тепло-влажностной обработки. Эти продукты являются тепловыми отходами или вторичными энергоресурсами (ВЭР) – наиболее распространенный вид энергетических отходов.

Необходимо применение комплексного подхода при решении задачи повышения энергоэффективности. Целесообразно совершенствовать теплотехнологическую схему на основании ее полного анализа.

Энергетический анализ линии автоклавной обработки производства ячеистого бетона показал невысокую энергетическую эффективность традиционных мероприятий: барботаж сбросного пара в конденсат, перепуск пара, вакуумирование с применением паровых эжекторов. Перечисленные мероприятия оказывают влияние на продолжительность рабочего цикла автоклава и требуют высокий уровень организации производства. Они также не позволяют эффективно утилизировать тепловую энергию сбросного пара и горячего конденсата вследствие образования пара вторичного вскипания. Таким образом, целесообразно рассмотреть возможность внешнего использования тепловых отходов, в особенности, для получения эксергетически ценных видов энергии.

УДК 629.735

Оптимизация с целью повышения экономии топлива схем высокотемпературных газотурбинных надстроек паротурбинных ТЭЦ

Бобич А.А.

Белорусский национальный технический университет

Современным направлением технического перевооружения паротурбинных ТЭЦ, имеющих высокие начальные параметры, является переход к парогазовой технологии. Основными схемами парогазовых установок являются утилизационные и сбросные. Наибольшую энергетическую и экономическую эффективность обеспечивают утилизационные схемы, которые и получили широкое распространение в энергетике. В сбросных схемах газотурбинных установок (ГТУ) сопрягаются с существующими энергетическими котлами, что требует меньших инвестиций. Котлы способны изменять свою производительность от 40 до 100 % подачей топлива в горелки при поддержании номинальной мощности ГТУ, что важно для сохранения ее моторесурса. Высокая надежность пароснабжения вытекает из способности котла работать автономно без ГТУ. Все это успешно апробировано на Березовской ГРЭС. Основным недостатком схемы является высокий удельный расход топлива и поэтому использование сбросной схемы на КЭС не получило распространения.

В отличие от КЭС, в условиях промышленной ТЭЦ, для надежности пароснабжения потребителей 1-й категории, где недопустим перерыв в подаче пара, параллельно с ГТУ, работающими по утилизационной схеме сопряжения с котлами-утилизаторами, неизбежно находятся в работе штатные энергетические котлы. Последнее ухудшает энергетические показатели ТЭЦ, но продиктовано требованиями потребителей тепловой энергии. В этом случае для ТЭЦ с помощью сбросной схемы можно существенно повысить эффективность, если энергетические котлоагрегаты перевести в режим низконапорных котлов, сопряженных с ГТУ. Сбросная схема интеграции ГТУ на ТЭЦ обеспечивает высокую надежность пароснабжения, маневренность и экономию топлива. Системная годовая экономия топлива лишь от установки одной ГТУ 25 МВт сопрягаемой с энергетическим котлом БКЗ-210 оценивается величиной в 40 тыс. т у. т. и срок окупаемости при этом не превышает 10 лет.

В рамках Объединенной энергосистемы страны модернизация всех ТЭЦ с переходом на парогазовую технологию неизбежна и дополнение традиционных схемных решений сбросной схемой экономически оправдано и даст системную годовую экономию природного газа, которую можно определить до 0,5 млн т у. т. исходя из количества, мощности станций, установленного оборудования и промышленных потребителей в зоне ответственности ТЭЦ.

УДК 620.9:502.171

Оценка возможности отпуска тепловой энергии от биогазовых энергетических установок при комплексной утилизации отходов канализационных стоков в системе городского водоканала.

Прокопья И.Н., Шкловчик Д.И., Прокопья А.Н.

Белорусский национальный технический университет,

Белорусский государственный аграрный технический университет

В силу своих конструктивных и технологических особенностей строительства биогазовые энергетические комплексы (БЭК) располагаются в стороне от основных потребителей производимой ими продукции: тепловой и электрической энергии. Принимая во внимание местные условия (рельеф местности, наличие дорог, инфраструктуры и др.), а также санитарные нормы и технику безопасности, БЭК могут размещаться на различном удалении от условного потребителя тепловой энергии.

Использование излишков тепловой энергии БЭК для теплоснабжения близлежащих промышленных объектов и коммунально-бытового сектора является одним из важнейших направлений энергосберегающей политики в области нетрадиционной энергетики.

Несмотря на необходимость дополнительных капиталовложений в теплообменное, насосное оборудование и тепловую сеть, а также на эксплуатационные расходы, связанные с их обслуживанием, использование излишков теплоты БЭК позволяет получить существенную экономию топлива и в некоторых случаях отказаться от реконструкции существующей или сооружения новой газовой котельной (ГК), что существенно улучшает экономические показатели системы теплоснабжения того или иного региона и Республики в целом. В случае если же собственником очистных сооружений является частный предприниматель, у него появляется новая статья доходов от продажи дополнительного продукта.

БЭК не являются основными источниками теплоснабжения, однако в некоторых случаях могут покрывать большую часть тепловой нагрузки стороннего потребителя. В связи с этим представляет интерес определение предельного эффективного радиуса теплоснабжения, на который экономически целесообразно транспортировать теплоту от БЭК к стороннему потребителю. Иными словами, под предельным эффективным радиусом понимается такая длина транзитной тепловой сети от БЭК (источника тепла) до стороннего потребителя, при которой затраты на сооружение системы теплоснабжения (СТС) с использованием излишков тепловой энергии БЭК равны дополнительным затратам в традиционную СТС, расположенную вблизи от потребителя.

УДК 536.3

**Теплоотдача отопительного прибора, используемого
при теплоснабжении полевого госпиталя,
функционирующего в условиях экстремальных ситуаций**

Несенчук А.П., Иокова И.Л., Конева Н.С., Матусевич А.В.

Белорусский национальный технический университет,

Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена
имени А.В.Лыкова НАН Беларуси»

Отопительный прибор системы теплоснабжения представлен мягким полимерным материалом. Стенка отопительного прибора подвергается одностороннему прогреву. Рассматриваемая стенка классифицируется как тело классической формы (пластина). В качестве теплоносителя вместо воды может быть использован 4-5% водный раствор хлорида натрия (физиологический раствор).

Оценка величин теплофизических характеристик полимерного материала, из которого изготовлен предлагаемый отопительный прибор, сделана экспериментальным путем, изучая образцы № 1 и № 2, представленные гибкой полимерной пленкой. Образец № 2 с одной стороны имеет струк-

турированную ворсистую пленку (цилиндрическое оребрение). В остальных образцы не имеют различия и изготовлены из одинакового полимерного материала.

Эксперименты проводились на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» БНТУ, а также в Государственном научном учреждении «Институт тепло- и массообмена имени А.В.Лыкова НАН Беларуси» на стандартном приборе ИТ-λ-400. В результате данных экспериментов был получен коэффициент теплопроводности для образцов № 1 и № 2, в интервале температур 25-100°C; он составил соответственно 0,17 и 0,13 Вт/(м·К), что соответствует полимерному материалу по ГОСТ 14039-78 (поливинилхлорид).

Измерения со стороны поверхности образцов № 1 и № 2 выполнялись в зафиксированном сечении теплообменника в течение 10 мин. Точки со стороны поверхности образца № 2 указывают на существенный разброс температур у этой поверхности, что свидетельствует о нарастании турбулизации потока жидкости и разрушении ламинарного слоя. В конечном итоге, наличие шероховатости приводит к росту теплоотдачи, что существенно интенсифицирует теплопередачу отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного объекта (полевого госпиталя).

Данный эксперимент также выполнен в лабораториях указанной кафедры. Измерения выполнялись самопишущим прибором КСП-4М, точечным измерителем «Сосна-002», а также тепловизором ThermoTrancer TH7700.

УДК 66:331

Оптимизации комбинированных энергетических установок на биомассе

Седнин В.А., Кушнер Д.Л.

Белорусский национальный технический университет

Широкое внедрение паросиловых и парогазовых мини-ТЭЦ сдерживается высокой удельной стоимостью и относительно невысоким электрическим к.п.д. Это требует наличия эффективного инструментария для оценки экономической эффективности комбинированных энергетических установок на местных видах топлива (МВТ) на стадии выполнения технико-экономического обоснования (обоснования инвестирования) строительства. Представляет определенный интерес для разработки такого инструментария применить метод обобщенных переменных.

Как известно, в общем виде функция суммарных приведенных затрат $Z_{\text{сп}}$ может быть представлена как

$$Z_{\text{сп}} = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = \sum_{i=1}^n Z_i = Z(\Pi, A, L) \quad (1)$$

$$Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n = \sum_{i=1}^n Z_i = Z(\Pi, A, L),$$

где Z_i – i -ая составляющая компонента суммарных приведенных затрат; Π – множество оптимизируемых параметров; A – множество исходных экономических показателей; L – множество исходных технических показателей.

В качестве иллюстрации применения данного подхода для выбора оптимального варианта мини-ТЭЦ на МВТ нами рассмотрено влияние на суммарные приведенные затраты только одного параметра из состава множества Π . В качестве которого была принята выработка электрической энергии на тепловом потреблении $(\Pi = W = N/Q) \left(\Pi = \frac{N}{Q} \right)$, которая индивидуальна для каждой из технологий комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Таким образом, рассматривалась задача вида:

$$Z_{\text{пр}}(N/Q) \rightarrow \min Z \left(\frac{N}{Q} \right) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Таким образом, принятие решений по вопросам развития энергетики и технологий производства энергии должно основываться на результатах технико-экономического анализа возможных вариантов при заданной исходной информации об условиях строительства и эксплуатации инженерных объектов. В работе представлена методика оптимизации выбора варианта типа комбинированной энергетической установки на биомассе на основе метода базовой точки, построенного на применении обобщенных переменных.

УДК 629.735

Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий

Романюк В.Н., Бубырь Т.В.

Белорусский национальный технический университет

Изменения на рынке энергоресурсов и смена экономических отношений сделали актуальными задачи повышения качества продукции, перехода на новые технологии ее производства, совершенствования энергообеспечения технологических процессов, в первую очередь, новых производств. Известно, что энергетически идеальное теплотехнологическое предприятие не должно потреблять электроэнергию, произведённую комбинированным способом на своем тепловом потреблении. В контексте этого тезиса, в правильности которого в настоящее время всех убедила экономика (сегодня многие предприятия вынуждено перешли к современному комбинированному энергообеспечению производственного процес-

са), находится и требование к вытеснению неоправданного потребления электроэнергии. Это – и экономическая целесообразность перехода от электрического к непосредственно механическому приводу; и замена установок, требующих использования дорогих видов энергии (электрической, механической) альтернативными, потребляющими тепловую энергию, которая может быть значительно дешевле.

К таким технологиям относятся использующие абсорбционные процессы, на основе которых могут работать установки обратного цикла: холодильные машины и тепловые насосы. Первые более известны благодаря технологическому потреблению потоков холода, генерация которых с помощью указанных установок не имеет альтернативы. С тепловыми насосами ситуация проще по той же причине бросовой цены на энергоресурсы: потребность в их применении ранее отсутствовала, поскольку нагрев можно было осуществлять альтернативными технологиями, более приемлемыми со всех точек зрения, а в утилизации низкопотенциальных тепловых потоков не было ни экономической, ни экологической необходимости.

Появление абсорбционных установок обратного цикла, известных уже несколько десятилетий, для специалистов ожидаемо. Они позволяют вытеснить более дорогие и сложные в эксплуатации компрессионные машины, наносящие больший вред окружающей среде. Работая в диапазоне температур 15–40 °С по потоку утилизации тепловой энергии и используя для привода влажный пар давлением 5 атм, абсорбционные тепловые насосы обеспечивают получение потока сетевой воды по графику 50/75 °С, при этом отопительный коэффициент составляет 1,7, т.е. 40 % теплоты процесса нагрева сетевой воды обеспечивается за счет вторичных энергоресурсов. Диапазон мощностей типоразмерного ряда тепловых насосов составляет от нескольких киловатт до полусотни мегаватт, что отвечает запросам большинства потребителей.

УДК 629.735

Использование двигателей внутреннего сгорания на нефтяных промыслах

Пузик В.В.

Белорусский национальный технический университет

Процент факельного сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) в России в 2010 г. составил 24,0 % добычи (65,4 млрд м³), в 2011 г. – 24,4 % добычи (68,4 млрд м³). Дальнейший прогресс в вопросе исключения факельного сжигания ПНГ затормаживается объективными и субъективными причинами. Первые связаны с расположением основных нефтяных месторождений, вторые – со сложностями работы установок на ПНГ.

Вместе с тем, на данный момент до 75 % ПНГ используется. Структура потребления такова: 15 % – собственные нужды нефтепромыслов (газовые тепловые электростанции и котельные), 33 % – сторонние потребители, 52 % перерабатывается на газоперерабатывающих заводах, до 1 % закачивается в пласт для повышения нефтеотдачи.

Дальнейшее блокирование факельного сжигания ПНГ связано со строительством когенерационных комплексов (КК) непосредственно на нефтяных месторождениях. Этот путь позволяет не только повысить уровень использования ПНГ, но обеспечивает снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в результате факельного сжигания, обеспечивает нефтепромыслы дешевой тепловой энергией и электроэнергией (ЭЭ). При этом исключается или минимизируется строительство дорогостоящих газопроводов, компрессорных станций, высоковольтных ЛЭП, подстанций и пр., что в условиях России, где нефтепромыслы большей частью удалены от населенных районов, актуально.

Варианты применения КК различны:

- использования в автономном режиме при значительной удаленности месторождений от энергосистемы (собственное 100 % резервирование мощностей);
- частичное электроснабжение с подключением к энергосистеме (резерв мощности обеспечивается энергосистемой);
- полное электроснабжение в номинальном режиме (резерв мощности обеспечивает энергосистема);
- полное электроснабжение с выдачей ЭЭ в сеть (резерв обеспечивается энергосистемой либо собственный);
- КК – резервный источник ЭЭ.

Выбор типа, числа и единичной мощности агрегатов зависит от характеристик топлива, свободного ресурса ПНГ, мощностей потребителей ЭЭ, графика нагрузок, степени резервирования, удаленности нефтяных месторождений от систем энергоснабжения. Окончательное решение о строительстве КК на нефтяных месторождениях принимается с учетом стоимости ПНГ, условий эксплуатации оборудования, скрытой прибыли от сокращения объемом прямого сжигания ПНГ на факельных установках и пр.

УДК 621.315

Современное состояние теплотри в системах теплоснабжения

Петровская Т.А., Раковская Н.С., Иванейчик С.Л.
Белорусский национальный технический университет

Проблемы энергосбережения и экологии в Республике Беларусь встали в последние годы особенно остро не только в связи с энергетическим кри-

зисом, резким подорожанием органического топлива и проблемами его доставки в различные регионы страны, но также в не меньшей, а, может быть, и в большей мере – в связи с неудовлетворительным состоянием инженерных коммуникаций в городах и населенных пунктах. Поэтому решение проблемы повышения эффективности и надежности работы систем теплоснабжения во многом зависит от хода реконструкции инженерных внутридомовых и внутриквартальных коммуникаций, магистральных теплопроводов и источников теплоснабжения. Причем следует учесть, что реконструкция указанных объектов может быть эффективной на различных уровнях, начиная с замены регулирующей арматуры в зданиях и сооружениях и установки приборов регулирования и учета потребления энергоресурсов и кончая заменой теплопроводов и полной реконструкцией источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок.

Отечественные датчики для измерения температуры и давления теплоносителя по своим техническим характеристикам, в том числе и по характеристикам точности, соответствуют современным требованиям и их достаточно на рынке приборостроения. Эти приборы имеют необходимую поддержку средствами поверки, и их эксплуатация не вызывает затруднений. В настоящее время в Государственном реестре средств измерений имеется около сотни отечественных и зарубежных теплосчётчиков. Почти все они ориентированы на измерение у потребителей тепловой энергии и теплоносителя. Однако у всех них присутствуют, как правило, следующие недостатки:

- между теплосчётчиками отсутствуют сети передачи данных,
- отсутствует возможность применения расходомеров, отдельно измеряющих и учитывающих расход теплоносителя как в прямом, так и в обратном направлении,
- отсутствует ввод данных от датчиков и счётчиков по цифровым интерфейсам,
- отсутствует возможность автоматической синхронизации внутренних часов теплосчётчика со службой единого времени,
- отсутствует возможность опроса датчиков и передачи результатов измерений по каналам связи для целей технологического контроля с частотой не менее 1 Гц,
- отсутствует гальваническая развязка между входами УСО,
- не унифицированы интерфейсы связи теплосчётчиков с общестанционным вычислителем.

Большое многообразие технологических и организационных ситуаций существенно влияет на методологию и технические решения при создании современных автоматизированных систем учёта тепловой энергии и теплоносителей.

Энергетическая установка на биомассе

Левшеня А.И.

Белорусский национальный технический университет

Использование биомассы в качестве топлива для выработки электрической энергии – приоритетная задача в вопросе использования возобновляемых источников энергии. Существующие технологии получения электроэнергии из биомассы либо обладают невысоким к.п.д., либо имеют ряд технологических сложностей.

Наиболее перспективной технологией в настоящее время, является технология органического цикла Ренкина, с прямым сжиганием топлива в котлоагрегате с промежуточным теплоносителем. Разработанные схемы с высокотемпературной надстройкой на базе газотурбинного двигателя, с внешним подводом тепла к рабочему телу, позволяют увеличить электрический к.п.д. Так, схема с одноступенчатым паросиловым циклом на органическом рабочем теле и газотурбинной установкой с температурой подогрева воздуха 900°C в высокотемпературном подогревателе позволяют достичь электрического к.п.д. до 36,5%. Графическая зависимость представлена на рисунке 1, линия 1.

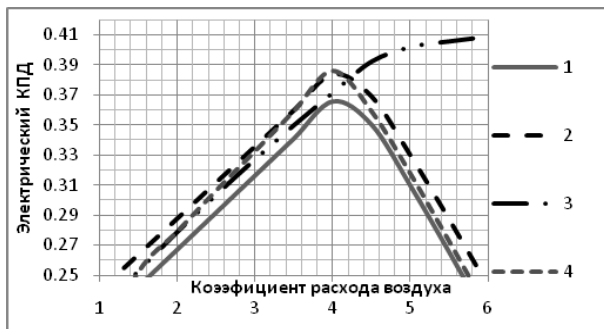


Рисунок 1 - Эффективность энергоустановок при температуре на входе в турбину 900°C

При этом суммарный коэффициент использования топлива составляет 75%. Графическая зависимость 2 отображает эффективность схемы, в которой применен 2-х ступенчатый паросиловый цикл. Это решение позволяют повысить к.п.д. до 38,5%, но при этом снижается отпуск тепловой энергии потребителю. Другим вариантом повышения эффективности установки, увеличения температуры перед газовой турбиной до 1000°C , за счет устройства камеры сгорания в которую подводится природный газ, (графическая зависимость 3 рис.1), к.п.д. до 41%, доля природного газа в тепловом балансе варьируется от 10 до 30 % в зависимости от параметров работы. Подвод пара в газовый тракт турбины из парового котла утилизатора, дает прирост к.п.д. до 38,5% (графическая зависимость 4 рис.1).

Экологические аспекты при сжигании местных видов топлива

Карницкий Н.Б., Замара С.М.

Белорусский национальный технический университет,
ОАО "Белэнергоремналадка"

К основным загрязнителям атмосферы при сжигании местных видов топлива (МВТ) в Республике Беларусь относятся оксиды азота, оксиды серы и летучая зола.

1. Оксиды азота. В процессе слоевого сжигания твердого топлива ввиду невысокого температурного уровня практически вся масса NO_x , выбрасываемых в атмосферу из котлов, сжигающих МВТ, образовывается из азота топлива. Для снижения выбросов NO_x необходимо создать в топочной камере оптимальные технологические условия, не допускающие образование оксидов азота на первой стадии горения. Это достигается организацией двухступенчатого сжигания топлива со снижением коэффициента подачи первичного воздуха до значения в пределах 0,6-0,7. Тогда при выходе летучих компонентов на первом этапе процесса горения обеспечивается дефицит окислителя, который будет израсходован (по условиям термодинамики) на реакции с углеродом.

2. Оксиды серы. Процесс образования оксидов серы практически не зависит от величины избытка воздуха. На выбросы SO_2 влияют: содержание серы непосредственно в самом топливе, температура процесса, состав золы топлива, наличие и эффективность работы системы возврата уноса, количество и качество вносимого сорбента. При сжигании топлив в кипящем слое благодаря повышенной концентрации золowych частиц CaO и MgO в надслоевом пространстве топочной камеры снижение SO_2 может достигать существенных значений. Сорбционная способность золы топлива по отношению к оксидам серы, кроме содержания в ней оксидов Ca и Mg , зависит от соотношения и других составляющих, в частности, Si/Na и Si/Al . Ввиду относительно невысокого содержания серы в некоторых видах твердого топлива, достаточно умеренных норм предельно-допустимых выбросов, внедрение мероприятий по подавлению оксидов серы носит пока экспериментальный характер и широкого применения не получило.

3. Летучая зола. В отличие от газообразных вредных выбросов, которые, как правило, практически всегда удается снизить до норм предельно-допустимых выбросов, путем изменения технологии процесса сжигания при реконструкции котлов, снижение твердых выбросов требует обязательного применения эффективных золоуловителей.

Роль парогазовых установок в развитии Белорусской энергосистемы

Матвеев Е.А., Карницкий Н.Б., Крук И.Г., Жарковская Х.А.

Белорусский национальный технический университет,
РУП «Белнипиэнергопром»

Энергетическая отрасль Республики Беларусь развивается весьма динамично. В условиях современного рынка энергоресурсов необходимо использовать технологии, позволяющие максимально эффективно реализовать потенциал дорогостоящего импортного топлива.

Большую долю генерирующих мощностей энергосистемы составляют тепловые электрические станции, работающие по классическому циклу Ренкина. Однако, за последнее десятилетие в эксплуатацию введены энергоблоки, работающие по более эффективному парогазовому циклу, позволяющему увеличить эффективность сжигания природного газа.

Установленная мощность энергосистемы Республики Беларусь по данным на 01.01.2013 составляет 8367 МВт. На сегодняшний день в Республике Беларусь функционирует 61 электростанция. 37 из них, общей мощностью 8339,6 МВт, – это станции, использующие для производства электроэнергии органическое топливо.

В Беларуси за последнее десятилетие взят курс на модернизацию энергосистемы, в ходе которой, существующие энергоблоки реконструируются путем надстройки паросиловых агрегатов газотурбинными. Это происходит как при выведении из эксплуатации отработавших ресурс энергоблоков с заменой их на новые, так и при модернизации или частичной замене паросилового оборудования с установкой газовых турбин.

При данной модернизации используются различные схемы газотурбинных надстроек.

Одной из схем газотурбинной надстройки является сбросная схема, при использовании которой дымовые газы газотурбинных установок сбрасываются в топочную камеру парового котла и используются там в качестве топливного окислителя. Данная схема реализована при реконструкции Энергоблоков Березовской ГРЭС с применением газовых турбин ГТЭ-25.

Более распространенным вариантом реконструкции является схема с установкой газотурбинной установки в комплекте с котлом-утилизатором и паровой турбиной. Парогазовые установки такого типа установлены на Оршанской ТЭЦ, Минской ТЭЦ-3, Минской ТЭЦ-2, Минской ТЭЦ-5, на Лидской ТЭЦ и являются наиболее распространенными на территории Республики Беларусь.

Оксиды азота в кипящем слое

Жихар Г.И., Никитина Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Оксиды азота в кипящем слое образуются по трем различным механизмам: термические NO, быстрые NO и топливные NO.

В нормальных условиях в кипящем слое 90 % топливного азота переходит в молекулярный азот N₂, который не представляет опасности. И только около 10 % азота топлива переходит в NO, который в дымовых газах, а потом и в атмосфере под влиянием света, кислорода и водяного пара медленно превращается в особенно токсичный диоксид азота NO₂.

Уголь содержит обычно 0,5–2 % топливного азота, который находится в ароматических структурах пиридина, пиррола и амина. Оксид азота может образовываться из летучих веществ или из коксового остатка. При сжигании угля прежде всего выделяются летучие вещества, содержащие азот. При вторичном пиролизе образуются относительно простые соединения типа HCN и NH₃, из которых в результате газофазного окисления образуется NO.

Механизм образования оксидов азота из коксового остатка изучен пока недостаточно.

Помимо низкой температуры сжигания, которая препятствует возникновению термического NO, снижение избытка воздуха является самым эффективным способом подавления оксидов азота. Однако в результате понижения концентрации кислорода в кипящем слое увеличивается концентрация CO, а также концентрация несгоревших частиц углерода в продуктах сгорания. Поэтому при работе с малыми избытками воздуха в слое должно быть обеспечено дожигание продуктов неполного сгорания над кипящим слоем.

Дополнительное снижение выбросов NO_x можно достичь возвратом в топку уловленных в циклоне золовых частиц и правильным дозированием вторичного воздуха.

Оптимальной температурой кипения слоя с учетом реакций обессеривания и восстановления оксидов азота является 850–900 °С.

Литература:

1. Баскаков, А.П. Котлы и топки с кипящим слоем /А.П. Баскаков, В.В. Мацнев. – М.: ЭАН, 1995. – 350 с.

УДК 621.181

Влияние органических примесей на работу теплоэнергетического оборудования электростанций

Чиж В.А., Нерезько А.В., Боровой Ю.Н.
Белорусский национальный технический университет.

В последние годы заметное влияние на качество воды и пара ТЭС и АЭС оказывают органические примеси, поведение которых в пароводяном тракте энергетического оборудования изучено не так полно, как неорганических. Повышенный интерес к органическим соединениям вызван в первую очередь их влиянием на коррозионные процессы. Установлено, что органические примеси интенсифицируют коррозионные процессы практически всех элементов энергетического оборудования.

Основными источниками поступления органических соединений в пароводяной тракт ТЭС и АЭС являются: недостаточно очищенная в системах предварительной очистки добавочная вода; охлаждающая вода конденсаторов (в результате их неплотности); масла; органические реагенты; используемые при кондиционировании теплоносителя, отмывке и консервации оборудования; ионообменные смолы; возвратные конденсаты.

Природную органику в настоящее время предложено классифицировать: ООУ – общий органический углерод (ТОС); РОУ – растворенный органический углерод (DOC); ОУ – общий углерод (ТО); НУ – неорганический углерод (TNC); ВОУ – вымываемый органический углерод (NPOC); НВОУ – невымываемый органический углерод (NPOC); НОВ – нейтральные органические вещества (NOM).

За рубежом в нормах качества воды и водяного пара каждого типа оборудования и водно-химического режима в паре, поступающем на турбину, нормируется содержание хлоридов и сульфатов. Концентрация органических примесей, определяемая по общему углероду, нормируется в питательной воде и паре.

Целесообразно разработать нормирование органических примесей в паре перед турбиной, причем определять не общее их содержание, а концентрацию коррозионно-активных органических соединений, в частности ацетатов и формиатов.

УДК 621.182.9-66

Сжигание твердого топлива в кипящем слое

Жихар Г.И., Купреев Е.И.
Белорусский национальный технический университет

В топке с кипящим слоем можно сжигать низкокалорийное топливо с

высокой зольностью или отходы с низкой теплотой сгорания.

Наиболее благоприятная температура для сжигания угля в кипящем слое золы – 800-900 °С. Снижение температуры ограничивается возрастанием СО, а при более высоких температурах происходит размягчение золы и возникает спекшийся остаток. При повышении температуры до 1000 °С происходит шлакование.

Процесс обессеривания в кипящем слое происходит при присадке известняка или доломита. Оптимальная температура для обессеривания близка к 850 °С.

При температуре ниже 750 °С при использовании мелкозернистого угля образуется значительное количество СО, но при температуре выше 850 °С происходит сжигание оксида углерода. Выбросы золы из котлов с кипящим слоем находятся на том же уровне, что и у классических котлов. Для улавливания золы за котлами с кипящим слоем применяются как электрофильтры, так и тканевые фильтры.

Примером котла с кипящим слоем служит котел паропроизводительностью 270 т/ч (Р = 14,5 МПа, температуре свежего пара и промпрегрева 535/535 °С) пущен на ТЭЦ Дуйсбург (ФРГ). Топливо-каменный уголь с теплотой сгорания 23 – 30 МДж/кг, зольностью 8 – 30 %, влажностью 4 – 12 %, содержанием серы до 2 % сушится горячим воздухом и размалывается в двух параллельно включенных сушильно-размольных установках до среднего диаметра 200–400 мкм вместе с требуемым количеством известняка, а затем вводится в топку через систему шлюзов.

Литература:

1. Котлы и топки с кипящим слоем /А.П. Баскаков, В.В. Мацнев. – М.: ЭАН, 1995. – 350 с.
2. Сжигание твердого топлива в кипящем слое (Перевод с чеш. под ред. В.Р. Котлера) / М. Кубин. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 143 с.

УДК 662.62

Особенности подготовки местных видов топлива к сжиганию в котлах

Рыков А.А.
РУП "Белнипиэнергопром"

Возможность удорожания импортируемых в Республику Беларусь природного газа и нефти в программах развития белорусской энергетики объективно смещает внимание к вовлечению в энергобаланс страны местных видов топлива (МВТ) и возобновляемых источников энергии, в особенности торфа, древесных отходов и отходов сельского хозяйства.

В целях повышения эффективности сжигания местных видов топлива,

а также для удобства их транспортировки, складирования и использования, с ними производят ряд подготовительных процедур (измельчение, придание определенной формы, сушке и т.д.), которые позволяют значительно повысить показатели использования топлива.

Одним из способов подготовки местных видов топлива к сжиганию является гранулирование. Сырьём для производства гранул, помимо древесины, могут быть торф, отходы сельского хозяйства.

Еще одним из популярных видов подготовки МВТ к сжиганию является брикетирование. Брикетирование – процесс превращения мелкодисперсных и порошкообразных материалов в куски правильной геометрической формы с заданными физико-механическими свойствами.

Использование отходов растениеводства в качестве топлива, общий потенциал которых оценивается до 1,46 млн т у.т. в год является принципиально новым направлением для Республики Беларусь. Потенциально возможное получение товарного биогаза от животноводческих комплексов составляет 160 тыс. т у.т. в год. Сырьем для получения биогаза может служить широкий спектр органических отходов – твердые и жидкие отходы агропромышленного комплекса, сточные воды, органическая часть твердых бытовых отходов. Качество отходов характеризуется влажностью, выходом биогаза на единицу сухого вещества и содержанием метана в биогазе. Современные технологии позволяют перерабатывать в биогаз любые виды органического сырья, однако наиболее эффективно использование биогазовых технологий для переработки отходов животноводческих и птицеводческих ферм, предприятий АПК и сточных вод, так как они характеризуются постоянством потока отходов во времени и простотой их сбора.

УДК 621.181

Реконструкция водогрейной котельной с использованием расширителя и противоаварийной турбины

Сумич А.А.

Гродненская ТЭЦ-2

Предложен ряд схем реконструкции котельной. Одним из вариантов является схема со стандартным водогрейным котлом, после которого вода направляется в расширитель. Пар вторичного вскипания подается в противоаварийную турбину. Выработанная электроэнергия выдается в сеть, а отработанный пар поступает в сетевые подогреватели, конденсат которого пройдя деаэрацию, поступает на всас питательного насоса.

Проведены расчеты с помощью программы 3 gash при следующих условиях: противоаварийная турбина составляет 0,1 МПа, расход воды через

водогрейный котел – 600 кг/с. Мощность определялась как разность мощности турбины и питательного насоса. Для упрощения расчетов не учитывался расход пара на деаэрактор, конденсатный и подпиточный насосы.

Из расчетов следует, что мощность и удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении установки зависит от температуры воды за котлом и давления в расширителе, причем каждому значению температуры воды соответствует свое давление в расширителе.

Сделан анализ работы установки с увеличением числа расширителей до трех. При условии, что температура воды за котлом равна 150 °С, а давление – 1,5 МПа мощность установки в первом расширителе, к примеру, равном 0,29 МПа, составила 1750 кВт (схема с одним расширителем), 2800 кВт в случае схемы с двумя расширителями и 3400 кВт, соответственно, с тремя расширителями.

Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении для вышеназванного примера соответственно составила 0,037; 0,039 и 0,040 МВт·ч/Гкал.

Увеличение числа расширителей приводит к росту мощности и удельной выработки электроэнергии, однако, введение каждого следующего расширителя повышает значение этих величин в меньшей степени. Следовательно, существует оптимальное количество расширителей в зависимости от цены на топливо, параметров воды на выходе из котла и капиталзатрат на расширители, трубопроводы и арматуру.

УДК 621

Прогнозы развития мировой энергетики до 2030 года

Кулаков Г.Т., Веремейчик Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Мировое потребление первичных энергоресурсов (ПЭР) по большинству сценариев составит 16-17 млрд. т н.э. в 2030 году, что соответствует среднему значению в 16,5 млрд. т н.э., в том числе, нефть – 29,2 %, газ – 22 %, уголь – 25,8 %, ядерное топливо для АЭС – 6,4 %, возобновляемые источники энергии, включая гидроэнергетику – 16,1 %.

Численность населения мира с 2010 года по 2030 год по усредненным прогнозам экспертов увеличится в 1,2 раза и составит к 2030 г. 8,2 млрд. человек. За этот период суммарное потребление первичных энергоресурсов возрастает в 1,3 раза. Это приведет к росту мирового ВВП по паритету покупательной способности за этот период с 65000 млрд. долл. США до 97800 млрд. долл. США в 2030 г. Для обеспечения такого роста мирового ВВП производство электроэнергии должно возрасти с 20613,06 млрд.кВт·ч в 2010 г. до 33663 млрд.кВт·ч в 2030 году, т.е. увеличится в 1,63 раза.

Как показали проведенные исследования, среднегодовые темпы прироста мирового ВВП за период 2011–2020 гг. составят 3,4 %; с 2021 по 2030 г. – 3,2 %. При этом темпы потребления ПЭР соответственно – с 1,6 до 1,2 %. Причем в промышленно развитых странах темпы прироста ВВП будут меньше мировых и составят соответственно – 2,3 % за период 2011–2020 гг. и 2,15 % за следующее десятилетие, а потребление ПЭР соответственно – 0,6 и 0,4 %. В развивающихся странах за период 2011–2030 гг. ожидается снижение темпов экономического роста с 4,9 % до 4,1 % и темпов потребления ПЭР – с 2,6 до 2 %.

Наиболее высокий рост потребления ПЭР за период 2011–2031 гг. ожидается в развивающихся странах – 165%, а в КНР – 192%, что составит 10,3 млрд. т у.т. в 2030 году. По объему потребления развивающиеся страны превзойдут промышленно развитые страны, где рост составит лишь 12%, на 1050 млн. т у.т., что соответствует 9,8 млрд. т у.т. к 2030 году. В странах СНГ и Восточной Европы рост потребления ПЭР за 2010–2030 гг. ожидается на уровне 40% и достигнет к 2030 году 2,85 млрд. т у.т.

Традиционная модель количественного развития мировой энергетики уже себя исчерпала. Особое внимание в ближайшее время должно быть уделено созданию качественной энергетики, экономически доступной, технически реализуемой с использованием инновационных технологий.

УДК 681.51(075.8)

Повышение промышленной безопасности парогенераторов путем оптимизация системы управления уровнем воды в его барабане

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Кухоренко А.Н.

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

Поддержание заданного уровня воды в барабане парогенератора является важным технологическим параметром, от которого также зависит надежность, безопасность и экономичность работы технологического оборудования электростанции. Система регулирования уровнем воды в барабане парогенератора должна обеспечивать поддержание требуемого значения его уровня, а также обеспечивать формирование сигналов на регуляторы подачи питательной воды, защиты и блокировки. Ненадлежащая ее работа ведет к снижению экономичности работы, увеличивает расход электроэнергии на собственные нужды, а в крайних случаях к инцидентам и авариям.

Особая роль в решении данной задачи принадлежит разработке и внедрению эффективных систем управления уровнем воды в барабане парогенераторов при переменных режимах работы. При этом особое внимание

должно быть уделено режимам работы исполнительных механизмов систем автоматического регулирования уровнем воды. Анализ статистических данных показывает, что на долю исполнительных механизмов приходится 42% отказов, приводящих к остановке энергоблока. Основная причина отказов – типовой (стандартный) выбор режимов эксплуатации систем автоматического регулирования, обусловленный нерациональной структурой системы управления и неоптимальными параметрами динамической настройки регуляторов.

Для управления исполнительными механизмами используют релейно-контактную аппаратуру с применением широтно-импульсной модуляции, что требует частых включений электродвигателей. Это заставляет работать их постоянно в пусковых (импульсных, переменных) режимах с пусковыми токами, в 8-10 раз превышающими номинальные, что кроме всего создает условия для возникновения пожара.

В связи с этим актуальной становится разработка новой системы управления уровнем воды в барабане парогенераторов, повышающей их промышленную безопасность, надежность и экономичность за счет уменьшения времени регулирования, сокращения числа включений исполнительных механизмов и уменьшения времени их работы с максимальными пусковыми токами, на основе предлагаемых методов структурно-параметрической оптимизации динамических систем.

УДК 681.51(075.8)

**Структурно-параметрический метод аналитического
конструирования систем автоматического регулирования для
объектов без самовыравнивания**

Кулаков А.Т., Кухоренко А.Н.

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

Динамика объектов регулирования без самовыравнивания описывается передаточными функциями идеального, реального интегрирующего звена или идеальным интегрирующим звеном с запаздыванием. Использование оптимальной передаточной функции регулятора в этом случае обеспечивает требуемое быстродействие при отработке скачка задания без статической ошибки регулирования даже для статических регуляторов, которая появляется при отработке внутреннего или внешнего возмущения. Для устранения этого недостатка предложен метод структурно-параметрической оптимизации системы на основе передаточной функции оптимального регулятора, динамической компенсации динамики объекта регулирования с выбором оптимальных значений заданной постоянной

времени передаточной функции системы при обработке задающего воздействия с учетом максимальной величины регулирующего воздействия.

Синтез начинаем с оптимизации обработки внутреннего возмущения стабилизирующим устройством внутреннего контура по передаточной функции опережающего участка. В этом случае для передаточной функции объекта в виде инерционного звена первого порядка получаем стабилизирующий ПИ-регулятор с одним параметром динамической настройки $T_{зд1}$. При этом если передаточную функцию инерционного участка представить в виде реального интегрирующего звена, то передаточная функция эквивалентного объекта для интегрирующего оптимального регулятора примет вид реального интегрирующего звена с инерционностью второго порядка. Поэтому оптимальная заданная передаточная функция системы по задающему воздействию примет вид инерционного звена третьего порядка с одним параметром динамической настройки $T_{зд2}$, численное значение которого определяют по правилу золотого сечения с учетом максимальной величины регулирующего воздействия. При этом система без статической ошибки регулирования оптимально обрабатывает скачек задания, внутреннее и внешнее возмущение в виде инерционного звена первого порядка. Ограничивающим фактором является максимальная величина регулирующего воздействия.

УДК 681.51

Особенности моделирования систем автоматического регулирования с ограничением максимальной величины регулирующего воздействия при обработке возмущающих воздействий

Ознобишин А.А.

Белорусский национальный технический университет

При синтезе управления нелинейный элемент системы часто можно заменить его линеаризованной моделью. Под влиянием отрицательных обратных связей происходит линеаризация, что используется при синтезе и позволяет применять методы, используемые в линейных системах. Так, например, метод частичной компенсации позволяет рассчитать параметры оптимальной динамической настройки ПИ-регулятора с учетом ограничений на максимальную величину регулирующего воздействия при обработке внутренних возмущений [1].

Однако в этом случае максимальная величина регулирующего воздействия ограничена одним значением 1,45. Для устранения этого недостатка при синтезе оптимального стабилизирующего регулятора каскадных систем автоматического регулирования для объектов, динамика опережающего участка которых может быть аппроксимирована передаточной функци-

ей инерционного звена первого порядка, предложено использовать передаточную функцию оптимального по задающему воздействию регулятора.

В этом случае при отработке скачка задания регулирующее воздействие ведет себя в динамике как звено быстрого реагирования. Это позволяет установить, что оптимальное значение по коэффициенту передачи стабилизирующего регулятора будет соответствовать максимальной величине регулирующего воздействия и станет равным $K_{p1} = X_p^M = T_{on}^* / (K_{on} T_{з01})$, где T_{on}^* – время разгона объекта, K_{on} – коэффициент передачи объекта, а $T_{з01}$ – единственный параметр динамической настройки регулятора, равный постоянной времени сервопривода, входящий в заданную оптимальную передаточную функцию системы при отработке скачка задания.

Изменяя численные значения постоянной времени $T_{з01}$, можно задавать любое требуемое значение максимальной величины регулирующего воздействия. При этом система будет работать как линейная.

Литература:

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: Справочное пособие / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. школа, 1989. – 192 с.

УДК 681.18-5

Модификация метода частичной компенсации для оптимизации динамической настройки ПИ-регуляторов при отработке внутренних возмущений

Ковалев В.А., Поджаров С.А., Лешок В.И.

Белорусский национальный технический университет

При расчете параметров динамической настройки типовых двухконтурных систем автоматического регулирования теплоэнергетических процессов внутренний контур обычно настраивают на оптимальную отработку внутренних возмущений, например, по методам частичной компенсации [1]. Вместе с тем коэффициенты Вышнеградского, входящие в формулу для расчета оптимальных динамических настроек ПИ-регулятора, отличаются от чисел ряда золотого сечения, что снижает качество регулирования. Это позволяет предложить метод улучшения качества отработки внутренних возмущений с учетом максимальной величины регулирующего воздействия за счет использования чисел ряда золотого сечения.

В качестве исходной используется передаточная функция объекта в виде инерционного звена второго порядка. При этом динамика объекта определяется численным значением относительной постоянной времени как

отношения большей постоянной времени объекта к ее меньшей постоянной. Чем больше значение относительной постоянной времени объекта, тем лучшего качества переходных процессов можно добиться при оптимальной настройке регулятора. Численные значения относительной постоянной времени объекта изменялись при моделировании в пределах от $T=1$ до $T=20$. Базовые значения коэффициентов Вышнеградского в характеристическом уравнении замкнутой системы при отработке внутреннего возмущения составляют $A_1 = 2,539$ и $A_2 = 1,85$ [1]. Из анализа переходных процессов в системе при отработке внутреннего возмущения следует, что лучшее качество регулирования обеспечивают при $T = 9,61$ коэффициенты Вышнеградского $A_1 = 2,618$ и $A_2 = 1,146$ взятые по правилу "золотого сечения". Параметры динамической настройки, рассчитанные с использованием этих коэффициентов, приводят к уменьшению динамической ошибки регулирования при отработке скачка внутреннего возмущения в 4 раза.

Литература:

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования: Справочное пособие / Г.Т. Кулаков. – Мн.: Выш. школа, 1989. – 192с.

УДК 621.165.697.34

Энергетический потенциал твердых видов топлива в Республике Беларусь

Тарасевич Л.А., Джежора С.Н.

Белорусский национальный технический университет

В Беларуси выявлено и разведано около 5 тысяч месторождений и залежей минерального сырья, в которых около 30 полезных ископаемых. В наибольшей степени в республике представлены следующие виды горючих полезных ископаемых: нефть и газ, торф, горючие сланцы, бурые угли.

1. Нефть и газ – восточная часть Полесской низменности. Ежегодная добыча нефти – 1,8 млн т в год.

2. Торф – 6,5 тыс. месторождений. Запасы – 2,5 млрд т. Встречаются на всей территории Беларуси. Общая площадь распространения торфяных массивов в нашей стране составляет около 2,5 млн га. В Беларуси выявлено около 9200 месторождений, в которых сосредоточено 3 млрд т торфа.

3. Горючие сланцы – Любанское и Туровское месторождения, высокозольные. Прогнозные ресурсы – 11 млрд т, добыча не ведется.

4. Бурые угли – Житковичское, Бриневское, Тонежское месторождения.

Запасы – 53 млн т. Низкокалорийные, высокозольные. Месторождения не разрабатываются.

Низкая калорийность и высокая зольность горючих сланцев и бурых углей на месторождениях Беларуси, а также сложные горно-геологические условия их залегания затрудняли использование их в большой энергетике. Проведены исследования по использованию бурых углей в брикетах (в том числе, – с торфом) в качестве коммунально-бытового топлива, а также сырья для получения воска, стимуляторов роста растений.

Реализация перспективных направлений требует анализа мирового опыта использования бурых углей на ТЭЦ. Для этого следует провести обширные исследования по переработке бурого угля, в частности, его полукоксование и газификация с целью получения энергетического пиролизного газа.

Таким образом, собственные топливно-энергетические ресурсы в Беларуси, включая попутный газ и дрова, могут обеспечить в настоящее время только около 12% общей потребности народного хозяйства республики. В ближайшей перспективе планируется поднять этот показатель до 20-25 % за счет освоения, в том числе месторождений горючих сланцев и бурых углей, т.к. они весьма востребованы в технологических процессах по производству цемента ввиду выделения в процессе горения летучих веществ.

УДК 621.311.22

Влияние параметров тепловой схемы ПГУ-КЭС с дополнительным сжиганием топлива на характер изменения тепловой экономичности установки

Тарасевич Л.А., Тузанкин А.И.

Белорусский национальный технический университет

Проблема дожига топлива в котлах-утилизаторах (КУ) является актуальной для энергетики Республики Беларусь, особенно при реконструкции существующих мощностей с использованием надстроек на базе парогазовых установок (ПГУ). В этом случае необходимо четкое понимание характера влияния различных параметров схемы ПГУ-КЭС на изменение тепловой экономичности установки.

При неизменных начальных параметрах пара применение дополнительного сжигания топлива увеличивает расход генерируемого пара и, следовательно, мощность ПГУ.

Для исследования эффективности применения дополнительного дожига топлива перед котлом-утилизатором была выбрана ПГУ Могилевской ТЭЦ-1 после реконструкции.

Проведенные расчеты влияния температурного напора в "пинч-пойнте"

КУ, давления в конденсаторе ПГУ, а также анализ влияния величины внутреннего относительного к.п.д. проточной части паровой турбины, позволили получить следующие выводы:

1. Для ПГУ на базе газотурбинных агрегатов, которым соответствует достаточно высокая температура пара ($t_{\text{ПЕ}} > 450 \text{ }^\circ\text{C}$), увеличение к.п.д. при дожигании наблюдается при начальных давлениях пара порядка 8,5 МПа и более, и может составлять $\Delta\eta_{\text{ПГУ}_{\text{э.бр.}}} \approx 0,1 - 0,8\%$.

2. Повышение температурного напора в "пинч-пойнте" КУ снижает общий уровень тепловой экономичности установки.

3. Более глубокий вакуум в конденсаторе способствует увеличению как общей тепловой экономичности ПГУ-КЭС, так и $\Delta\eta_{\text{ПГУ}_{\text{э.бр.}}}$ (при $p_K = 5 \text{ кПа}$ и $\beta_{\text{ДЖ}} = 0,39$ прирост к.п.д. по сравнению со схемой без дожигания составил $\Delta\eta_{\text{ПГУ}_{\text{э.бр.}}} \approx 0,53$).

4. Располагая характеристиками конкретной газотурбинной установки, возможно уже на предпроектной стадии, не прибегая к детальному расчету тепловой схемы ПГУ, оценить характер поведения показателей тепловой экономичности установки при использовании дополнительного сжигания топлива перед КУ.

УДК 621.165.697.34

Выбор оптимального проектного и эксплуатационного температурного графика системы теплоснабжения

Шкирман Р.В.

Белорусский национальный технический университет

Основной задачей регулирования отпуска теплоты в системах теплоснабжения является поддержание комфортной температуры и влажности воздуха в отапливаемых помещениях при изменяющихся на протяжении отопительного периода внешних климатических условиях и постоянной температуре воды, поступающей в систему горячего водоснабжения при переменном в течение суток расходе.

Методические положения позволяют с достаточной точностью определить энергетическую (тепловую, топливную) и экономическую эффективность перехода на измененный против проектного температурный график работы системы теплоснабжения, прежде всего по прямой сетевой воде. Причем оценка может производиться как по отдельным составляющим, связанным с этим мероприятием (перетопы зданий, перекачка теплоносителя, выработка электроэнергии на тепловом потреблении, тепловые потери при транспорте теплоносителя и др.), так и в комплексе. Методический подход применим для систем теплоснабжения с ТЭЦ и котельными.

Как показывают расчеты, энергетически и экономически более выгод-

ным в ряде случаев, даже в недогружаемых системах теплоснабжения, является работа по проектному температурному графику 150/70°C, но с его срезкой в зоне отрицательных температур наружного воздуха, когда температура прямой сетевой воды достигает 120-130°C. Температура срезки определяется условиями эксплуатации системы теплоснабжения. Главное, при этом обеспечивается стабильный гидравлический режим системы и не требуется переналадка сетей и абонентских узлов.

Снижение в летний период температуры прямой сетевой воды ниже указанного уровня существенно увеличивает расход электроэнергии на перекачку теплоносителя и в то же время практически мало сказывается на тепловых потерях в сетях и теплофикационной выработке электроэнергии на ТЭЦ.

Расчет эксплуатационного температурного графика должен производиться для конкретных условий эксплуатации систем теплоснабжения перед предстоящим отопительным сезоном.

УДК 621.165.697.34

Особенности работы мини-ТЭЦ на местных видах топлива

Джежора С.Н., Зенович-Лешкевич-Ольпинская А.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Технологический процесс производства топливных брикетов состоит в следующем:

1. Фрезерный торф в саморазгружающихся вагонах доставляется в бункерную сырьевую брикетного цеха. При помощи пластинчатых питателей и ленточного эстакадного конвейера фрезерный торф подается в подготовительное отделение и направляется в дробилки;
2. Измельченный в дробилках фрезерный торф подается в грохоты, где происходит его разделение на фракции;
3. Осуществляется сушка торфа;
4. Поданная в прессы торфяная сушонка превращается в брикеты.

Технологический процесс сжигания твердого и газообразного топлива. В котельной брикетного цеха ОАО "ТБЗ Усяж" установлены три котла: котел № 1 – ДКВР 10/13, – работающий на газообразном топливе, котел № 2 – ДЕ 16/14, – работающий на газообразном топливе, котел № 3 – ДКВР 10/13, – работает на твердом топливе. Образованная крупная фракция торфа после технологической операции "грохочение" поступает в котельную для дальнейшего сжигания в предтопке DG-8 (мощность 8 МВт) котла ДКВР 10/13 – № 3. Поданное топливо в предтопок поступает в первую зону – зону подсушивания топлива; во вторую зону, в которой происходит непосредственное горение топлива; затем в третью зону – зону догорания

и образования золы. Производительность котельной брикетного цеха – 25 Гкал/ч. В общем объеме котельно-печного топлива, использование местных видов топлива составляет 60 %.

Перевод котла ДКВР 10/13 № 3 на местные виды топлива привело к снижению общего потребления газообразного топлива с 9 млн. м³ до 2,5 млн. м³. На ОАО "ТБЗ Усяж" в ближайшее время планируется перевод еще одного котла ДКВР 10/13 на местные виды топлива.

Таким образом, мини-ТЭЦ, применяемая ОАО "ТБЗ Усяж", позволяет с использованием местного недорогого топлива получать дешевую тепловую энергию, которая направляется на технологический процесс производства топливных брикетов, а также для горячего водоснабжения и отопления производственных помещений, жилых домов, школы и объектов социально-культурного назначения, расположенных в поселке. Также применяемая схема позволяет вырабатывать дешевую электрическую энергию, которая расходуется на собственные нужды предприятия.

УДК 621.165.697.34

Обоснование оптимального состава оборудования теплофикационных парогазовых установок

Шкирман Р.В.

Белорусский национальный технический университет

В составе парогазовой установки (ПГУ) паротурбинная установка может быть с конденсационной частью и без нее (с теплофикационным производственным или отопительным противодавлением). Во втором случае должна обеспечиваться необходимая стабильная на протяжении года тепловая нагрузка на ПГУ, что способствует максимальной выработке электроэнергии на тепловом потреблении и, соответственно, экономии топлива в энергосистеме. Обычно такое решение оправданно для небольших по электрической (20-50 МВт) и тепловой мощности ПГУ, и выбор на стадии проектирования профиля ее оборудования (ГТУ, ПТУ, КУ, НПГ), исходя из уровня и характера тепловых нагрузок и режимов работы ПГУ в энергосистеме, является ответственной оптимизационной и технической задачей.

Стремление снизить капитальные вложения в ПГУ и повысить их тепловую экономичность обуславливает применение в ряде случаев паровых турбин с противодавлением (ППТ). Однако такое решение оправдано только при работе ПГУ с полной тепловой нагрузкой в течение всего года. В противном случае, при работе ПГУ в периоды провала тепловых нагрузок с частичной мощностью, происходит резкое снижение их экономичности и системной эффективности.

Увеличение нагрузки ПГУ возможно также за счет подстройки ее низкопотенциальной паровой турбиной (НПТ) небольшой мощности и допускающей работу как в конденсационном, так и в теплофикационном режиме. Выбор режима работы турбины зависит от экономических показателей этой турбоустановки на соответствующих режимах и влияния обеспечиваемой за счет установки паровой турбины фиктивной тепловой нагрузки ПГУ на ее системную эффективность.

При этом к.п.д. по выработке электроэнергии модернизируемой ПГУ оказывается на 8-20% выше, чем к.п.д. по выработке электроэнергии на современной замещающей паротурбинной ГРЭС (например, Лукомльской), который составляет порядка 40%.

Использование ПГУ с «подстройкой» – низкопотенциальной паровой турбиной – с системных позиций является выгодным и может обеспечить существенную экономию топлива в энергосистеме.

УДК 338.45:620.9(476)

Эволюция основных научных представлений об эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и ее повышении

Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие экономики любого государства неразрывно связано с использованием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), поэтому проблема повышения эффективности их применения приобретает особую значимость.

Изучение научных публикаций и методических материалов по данному вопросу позволило установить, что:

- в 60–70-е гг. XX в. повышение эффективности использования ТЭР связывали с усиленным наращиванием энергетических мощностей и объемов энергопроизводства, централизацией энергоснабжения и развитием теплофикации на базе комбинированного производства электрической и тепловой энергии, электрификацией промышленности, вытеснением твердого топлива жидким и газообразным, а также с ужесточением нормирования и режима экономии топливопотребления в энергосистемах;

- в 80-е гг. XX в. решение проблемы видели в ускоренном развитии ядерных, инновационных газовых и угольных технологий, реструктуризации экономики, усилении ресурсосберегающей деятельности в промышленном секторе, развитии нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;

- после распада СССР повысилось внимание к формированию конкурентной среды, наращиванию экспортного потенциала высококачествен-

ных энергоносителей, сокращению отставания от развитых стран по уровню удельной энергоемкости ВВП, а также совершенствованию экономических механизмов управления энергосбережением, в том числе цено- и тарифообразования.

В результате анализа эволюции научных представлений об эффективности использования ТЭР выделены основные факторы, определяющие фактически достигнутый уровень эффективности потребления топлива и энергии, а также его дальнейшее повышение: технический и технологический уровень производственной базы ТЭК и промышленности; структура производства и потребления первичных и преобразованных энергоресурсов; структура топливно-энергетического баланса; организационно-экономический механизм управления энергоэффективной и энергосберегающей деятельностью на макро- и микроэкономическом уровнях.

УДК [621.165+621.186.3]:620.172.251.2

Теоретические аспекты оценки остаточного ресурса высокотемпературных элементов ТЭС

Герасимова А.Г., Головчук Е.А., Павловкая А.А.
Белорусский национальный технический университет

Одну из основных проблем с точки зрения надежной и безопасной эксплуатации представляет высокотемпературное оборудование ТЭС, изготовленное из теплоустойчивых сталей перлитного класса. В процессе длительной эксплуатации на ряде паропроводных труб и их гнутых участках наблюдается явление ползучести. Практика показала, что трубы эксплуатируются при разных температурах и напряжениях. При этом в одних случаях определяющим является предел ползучести, в других – предел длительной прочности. Однако во всех случаях разрушение идет по механизму ползучести – перестройка дислокационной структуры и процесс порообразования. Повреждение труб из-за ползучести начинается с наружной поверхности и характеризуется межзерненным растрескиванием.

Первоначально большинство паропроводов рассчитывалось на ресурс 100 тыс. часов при рабочей температуре, однако по мере приближения к выработке расчетного ресурса, рабочая температура паропроводов была снижена до 530-540°C, что позволило продлить их дальнейшую эксплуатацию. На данный момент около 50% паропроводов, изготовленных из стали 12Х1МФ, находятся за пределами паркового ресурса, в ряде случаев наработка паропроводов составляет 250-300 тыс. часов. В настоящее время массовая замена изношенного оборудования маловероятна, поэтому срок службы действующего оборудования стараются продлить в пределах возможной безопасной эксплуатации.

Анализ статистических данных по исследованию структурного состояния главного паропровода ТЭЦ-3, изготовленного из стали 12Х1МФ показал, что процесс порообразования на прямых участках труб начинается в пределах 100 тыс. часов эксплуатации.

Предложен теоретический подход к оценке остаточного ресурса прямых участков труб, основанный на определении времени выхода пор на границу зерен с учетом рабочей температуры, химического состава и структуры исследуемых сталей. Рассмотрена методика исследования структурно-механических изменений и их классификация, позволяющая производить оценку степени разупрочнения стали 12Х1МФ на основании многокритериального подхода.

УДК 621.438+621.311

Новые технические решения при разработке схем теплоснабжения крупных городов

Шантаренко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие систем теплоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий и сельского хозяйства определяется схемами теплоснабжения. Схема теплоснабжения населенного пункта является предпроектным документом, в котором обосновывается хозяйственная необходимость, экономическая целесообразность и экологическая возможность строительства новых, модернизации и реконструкции существующих энергетических источников, тепловых сетей и систем теплопотребления, средств их эксплуатации и управления с целью качественного, надежного теплоснабжения потребителей и рационального использования топливно-энергетических ресурсов.

Основные отличия схем теплоснабжения выполняемых в настоящее время от схем советского периода является расчет тепловых нагрузок перспективных потребителей с учетом фактического теплопотребления существующих потребителей и обязательная разработка электронной модели теплоснабжения. Также при определении перспективных тепловых нагрузок учитываются новые требования к тепловой защите зданий, уменьшение расхода горячей воды со 105 до 90 л/сутки, проведение энергосберегающих мероприятий на промышленных предприятиях. Схема теплоснабжения учитывает перспективу развития теплоисточников, поэтому особое внимание при разработке вариантов перспективного развития систем теплоснабжения городов уделяется увеличению использования местных видов топлива, вводу первой в Беларуси АЭС, использованию нового энергосберегающего оборудования на существующих источниках.

Так при разработке Схемы теплоснабжения г. Гродно прорабатывался вариант строительства нового теплоисточника на местных видах топлива для обеспечения теплоснабжения района перспективной застройки «Южный»; г. Гомеля – вариант установки электродкотлов на гомельской ТЭЦ-2 для сглаживания потребления электроэнергии в ночной период для загрузки АЭС; г. Минска – разрабатывается возможность обеспечения тепловой энергии районов "Заводской" и "Шабаны" от теплонасосной установки на очистных сооружениях. Также рассматривается возможность передачи нагрузок между теплоисточниками с целью экономии топлива за счет загрузки наиболее эффективных теплоисточников.

УДК 621.4

Комбинированные энергетические установки с применением газопоршневого агрегата и паровых турбин на органическом теплоносителе

Седнин А.В., Кушнер Д.Л.

Белорусский национальный технический университет

Развитие комбинированной выработки электрической энергии является одним из основных путей повышения тепловой и экологической эффективности электроэнергетического производства. В настоящее время в ряде случаев эффективным становится применение небольших по мощности теплоэлектростанций (ТЭС). Несмотря на то, что применение малых теплофикационных мощностей уходит своими корнями в пятидесятые годы прошлого столетия, имеется целый ряд новых аспектов, которые следует учитывать на современном этапе развития теплоэнергетики.

Рассмотрим один из вариантов возможной схемы мини-ТЭС на базе комбинированных установок газопоршневого агрегата (ГПА) и паротурбинных установок на органическом теплоносителе (ОРЦ-установки).

При создании комбинированных установок ГПА-ОРЦ следует различать два случая: вновь проектируемые объекты и использование действующих ГПА. В первом случае возможно применение большого числа различных схем, которые определяют конструктивные решения по части утилизации теплоты от ГПА. В частности некоторые производители ГПА объявили о разработке типовых решений по комбинированным установкам, что позволит достичь к.п.д. по производству электроэнергии на уровне 46-50%, для установок сравнительно небольшой мощности. Во втором случае ГПА представляет собой законченное изделие, находящееся в эксплуатации и изменение конструкции, которого может быть технически неосуществимым, либо затратным мероприятием. Применение комбинированных энергетических установок с использованием ГПА и ОРЦ-модулей

увеличивает выработку электрической энергии, что во многих случаях является приоритетным для энергетических комплексов расположенных вдали от сторонних потребителей тепловой энергии.

Увеличение выработки электроэнергии при использовании только теплоты уходящих газов после ГПА составит до 8% при применении в ОРЦ-установке низкотемпературных теплоносителей и до 10% при сложной установке, включающей в себя, как низкотемпературную, так и высокотемпературную ОРЦ.

УДК 658.26:681.5.015

Современные средства измерений для автоматизированной системы управления технологическим процессом систем теплоснабжений

Седнин А.В., Лапушкина Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Принимая во внимание масштабы и топологию объектов управления, и сложившуюся организационную структуру предприятия систем теплоснабжения, система автоматизированного управления тепловых сетей должна строиться по многозвенной схеме с применением иерархической структуры программно-технических средств и вычислительных сетей, решающих различные задачи управления на каждом уровне. На нижнем уровне система управления выполняет предварительную обработку и передачу информации, регулирование основных технологических параметров, функции оптимизации управления, защиты технологического оборудования. К техническим средствам нижнего уровня предъявляются повышенные требования надежности, включая возможность автономного функционирования при потере связи с вычислительной сетью верхнего уровня.

На сегодняшний день для автоматизированных систем управления технологическим процессом систем теплоснабжения выбираются датчики, для которых характерны:

- высокая надежность, стабильность и помехоустойчивость;
- наличие сигнала 4-20 мА + HART-протокола;
- возможность выбора диапазона измерений;

Измерение температуры. Часто используются аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом. Аналогом может выступать, например, датчики типа ТХАУ Метран 271, ТСМУ Метран 274, ТСПУ Метран 276. Помимо вышеизложенных характеристик они также могут быть выполнены во взрывозащищенном исполнении Exd или Exi.

Измерение давления. Используются измерительные преобразователи

давления, аналогичные РС-28 фирмы «Aplisens» (г. Витебск). Для них характерны: пределы измерения от 0,1 до 100 МПа, минимальная ширина диапазона 1,6 кПа, наличие унифицированного выходного сигнала 4-20 мА. Измерительные преобразователи разности давлений серии APR-2000 этой же компании, которые на сегодняшний день получили широкое применение. Они обладают возможностью корректировки «нуля», выбора диапазона измерений и коэффициента демпфирования, устойчивостью к перегрузкам давления до 40 МПа, основной приведенной погрешностью $\pm 0,075\%$, выходным сигналом 4-20, 0-20, 0-5 мА +протокол HART.

УДК 620.9.662.6

Сжигание низкосортных твердых топлив в пульсирующем слое

Бокун И.А.

Белорусский национальный технический университет

В топках с кипящим слоем оптимальная организация процессов горения, связывания окислов серы, азота, а также интенсификация процессов тепло- и массообмена позволяет значительно улучшить технико-экономические характеристики котлов, а также наиболее эффективно решать задачу снижения вредных выбросов при сжигании низкосортных местных топлив.

В топках с псевдооживленным слоем сжигают различного рода низкосортные топлива: бурые угли, различные отходы, высокосернистый мазут и др.; однако при сжигании этих топлив могут образовываться спеченные агломераты, каналы, через которые уносятся мелкие частицы. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование процесса в этих топках, в частности, предотвращение образования каналов и спекания агломератов, снижение потери горючего с уносам.

Одним из эффективных путей для устранения указанных недостатков может оказаться применение пульсирующей подачи воздуха. В работах ряда исследователей показана возможность интенсификации процессов горения твердых топлив путем пульсационного воздействия, как при факельном, так и слоевом сжигании. Пульсационные потоки успешно применяются для интенсификации многих процессов в различных областях техники (в реактивной авиационной технике, в химической промышленности, обогащении полезных ископаемых и др.). По характеру и способу создания пульсационные режимы дутья могут создаваться: возбуждением акустических колебаний в камерах пульсирующего горения, газодинамическим возмущением специальным источником – детонационной камерой сгорания, созданием низкочастотных пульсирующих потоков при помощи прерывателей потока – пульсаторов.

Сравнение стационарного и импульсного псевдооживления показал, что при одинаковой степени расширения слоя унос материала (топлива) в пульсирующем слое был меньшим, чем при стационарном потоке. Это связано с тем, что при среднеинтегральной скорости фильтрации в пульсирующем слое на 30...40% меньшей, чем в обычном псевдооживленном слое степень расширения будет одинаковой. Сниженный унос в пульсирующем слое при одинаковом расширении слоя объясняется наличием малоактивной стадии, т.е. отсутствует подача воздуха в слой.

УДК 620.9.662.6

Теплообмен между поверхностью нагрева и жидкостным пульсирующим слоем

Бокун И.А., Ячная Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Большой практический интерес представляют процессы тепло- и массообмена в дисперсных слоях продуваемых пульсирующим (прерывистым) потоком жидкости как при скорости фильтрации меньшей скорости начала псевдооживления, так и при скоростях фильтрации значительно превышающих скорость начала псевдооживления.

При простом обтекании неподвижного слоя частиц в областях, близких к точкам соприкосновения частиц образуются застойные зоны из-за неравномерности распределения скорости жидкости по сечению распределительной решетки. Скорость движения жидкости в этих зонах мала, и ее движение носит ламинарный характер. Наложение пульсаций на поток жидкости турбулизует пограничную пленку между частицами, что способствует интенсификации процессов массообмена. Коэффициенты теплообмена между поверхностью нагрева и жидкостным пульсирующим псевдооживленным слоем увеличиваются более чем в 4 раза по сравнению со стационарным жидкостным псевдооживленным слоем. Показано, что коэффициенты теплообмена зависят от частоты и амплитуды пульсаций и увеличиваются с увеличением размаха, который представляет произведение частоты пульсации на ее амплитуду. В жидкостном пульсирующем слое турбулизуется пограничная пленка между частицами дисперсного материала и поверхностью нагрева, увеличивается скорость омывания поверхности нагрева частицами. Все это интенсифицирует процессы теплообмена.

Результаты экспериментов обработаны в виде критериев

$$N_u = 0,153 \text{Re}^{0,6} (D_T/d_t)^{0,32} P_r^{0,33}, \text{ где } \text{Re} = W_n d / \nu - \text{критерий}$$

Рейнольдса. $W_n = W / \sqrt{xW^2 + 2(\pi r f)^2}$ – среднеквадратичная скорость

потока; W – скорость фильтрации; d_t – эквивалентный диаметр частиц; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости. $P_r = \nu/a$ – критерий Прандтля, a – коэффициент температуропроводности; D_T – диаметр трубы.

УДК 658.3:658.26

**Учет гендерных отличий при подготовке операторов
автоматизированной системы управления технологическим
процессом в энергетике**

Баранников А.И.

Белорусский национальный технический университет

Надежность работы автоматизированной системы управления технологическим процессом в энергетике (АСУ ТП) в значительной степени определяется надежностью человека-оператора, и чем сложнее система, тем эта зависимость выражена более ярко; соответственно, от эксплуатационного персонала требуется все более жесткое соблюдение трудовой и производственной дисциплины. Но в действительности зачастую происходит наоборот, т.е. регистрируется все больше случаев халатного отношения к своим обязанностям, пренебрежения служебными инструкциями, прямого неподчинения требованиям начальника и тому подобные случаи нарушения дисциплины, которые могут привести к созданию аварийных ситуаций, чреватых крупными производственными потерями и человеческими жертвами.

Во многих случаях поведение оператора в сложной ситуации зависит от степени подготовки и его психофизиологического состояния, что во многом обусловлено тем, кто является оператором – мужчина или женщина. Женщины, к примеру, выбирают более осторожные стратегии при принятии решений. Мужчины склонны к более высокой степени риска, что обусловлено их большей агрессивностью, независимостью в действиях, более выраженной потребностью в самоутверждении.

Вызваны эти отличия в поведении тем, что они отличаются друг от друга строением своего мозга и поэтому получаемая информация обрабатывается у них по-разному. У женщин лучше обеспечивается обмен информацией между левым и правым полушариями. Этим объясняется наличие у женщин интуиции, которая является ее бессознательным разумом, так называемой «женской логикой». Женщины мыслят от частного к общему, от отдельных деталей – к их целостному охвату. Мужчины, наоборот – от общего к частному. У женщин более развит эмоциональный и вербальный (словесный) интеллект, а у мужчин – невербальное поведение

и технические способности. Однако в скорости восприятия знаковой информации и изображений, запоминании взаиморасположения предметов в пространстве, быстроте реакции женщины превосходят мужчин. Следовательно, и их специальная подготовка должна отличаться, учитывая гендерные особенности.

УДК 338

Основы экономической безопасности Республики Беларусь

Кравчук Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Глобализация мировых процессов резко обострила проблему национальной безопасности отдельных стран, особенно в сфере экономики. Указом Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 года была утверждена Концепция национальной безопасности Республики Беларусь. Важнейшей составной частью общей системы национальной безопасности является экономическая безопасность.

Концепцией национальной безопасности Республики Беларусь определены следующие приоритетные направления экономической безопасности:

- последовательное стимулирование деловой активности, нацеленное на преодоление монополизма и развитие конкуренции в экономических отношениях, поощрение предпринимательской инициативы, формирование государственно-частного партнерства;
- привлечение внешних ресурсов в экономику Республики Беларусь, которое целесообразно осуществлять в виде прямых иностранных инвестиций в валютоокупаемые проекты, не влекущие за собой накопление внешних обязательств государства;
- повышение капиталовооруженности труда и качества рабочей силы, что будет достигаться формированием фондового рынка, повышением эффективности секторов, обеспечивающих воспроизводство человеческого капитала (образование, наука здравоохранение, культура), реализацией крупномасштабных инфраструктурных проектов (энергетика, транспорт, дороги, связь) за счет частно-государственного финансирования, развитием конкуренции и внедрением эффективного антимонопольного регулирования;
- обеспечение успешной интеграции Республики Беларусь в глобальное экономическое пространство. При этом защита от внешних угроз в экономической сфере должна обеспечиваться расширением товарной номенклатуры и географии экспорта, диверсификацией импорта сырьевых и энергетических ресурсов;

- совершенствование условий создания и функционирования совместных и иностранных коммерческих организаций, транснациональных корпораций (ТНК), финансово-промышленных групп, что позволит обеспечить развитие товаропроводящих сетей, включение отечественных предприятий в цепочки ТНК, а также минимизировать возможности дискриминации белорусских субъектов хозяйствования.

УДК 621.311

Разработка нормативов численности персонала ГПО «Белэнерго»

Лимонов А.И.

Белорусский национальный технический университет

В электроэнергетике разработаны и утверждены нормативы численности персонала, в соответствии с которыми формируется фонд заработной платы (ФЗП) по филиалам и энергосистеме в целом. Однако в настоящее время такие функции как приборный учёт, сбыт энергии и пр., в Белорусской энергосистеме имеют различные производственно-организационные формы управления. В Витебской, Гомельской и Минской энергосистемах сохранены филиалы “Энергосбыт”, имеющие в своём составе подразделения, занятые организацией приборного учёта и информационной деятельностью. В остальных энергосистемах для выполнения информационных функций и организации приборного учёта созданы инженерные центры (филиалы “Энерготелеком”, ПСДГУ), структуры управления которых отличаются. Поэтому для унификации организационных структур управления приборным учётом и информационной деятельностью разработаны организационные структуры управления и нормативы численности персонала инженерных центров РУП-облэнерго.

Нормативы численности инженерных центров построены исходя из объёмов обслуживания, выполняемых данными филиалами. Для нормирования совместно со специалистами ГПО “Белэнерго” отобраны факторы, находящиеся вне сферы влияния нормируемого персонала, за достоверность которых несут персональную ответственность руководители соответствующих филиалов. К числу таких факторов относятся трудоёмкость обслуживания, выражаемая в условно приведенной мощности и условных единицах трудоёмкости, количество приборов учёта энергии различного типа, объём отпуска энергии и пр. Нормативная численность функционального персонала, в том числе и аппарата управления, определяется в зависимости от нормативной численности линейного состава. То есть, по существу, от количества и структуры первичных факторов, используемых для нормирования.

Апробации данного документа в энергосистемах показала, что нормативная численность инженерных центров на 50% может быть сформирована за счёт перераспределения нормативной численности из других филиалов, прежде всего филиалов “Энергосбыт” РУП-облэнерго. Введение в действие указанных нормативов приведет к суммарному увеличению нормативной численности персонала ГПО “Белэнерго” в пределах 1%.

УДК 621.515

Этапы постановки управленческого учета в энергетике

Манцорова Т.Ф., Самосюк Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В процессе оперативного управления или в ходе реализации проектов часто возникает необходимость в решении нестандартных задач. Заранее предусмотреть все изменения невозможно, но с помощью внедрения системы управленческого учета можно контролировать затраты компании, планомерно влиять на их изменение, предохранять от влияния негативных факторов.

Внедрение управленческого учета состоит из трех этапов:

1. Диагностика текущего состояния системы управленческого учета;
2. Разработка системы управленческого учета;
3. Автоматизация системы управленческого учета.

Основной задачей первого этапа является анализ бизнес-схемы компании, определение текущего состояния системы управленческого учета, а так же среды функционирования системы.

Задачей второго этапа является разработка всех материалов, необходимых для успешного внедрения системы управленческого учета. Данный этап может включать в себя следующие работы:

- определение пользователей управленческой отчетности и их информационных потребностей;
- определение возможностей и ограничений существующей учетной автоматизированной системы;
- анализ управленческого учета, классификаторов и кодификаторов;
- формирование управленческой учетной политики компании;
- формирование управленческого плана счетов и моделей типовых хозяйственных операций;
- формирование регламентирующих документов по системе управленческого учета;
- разработка методов управления затратами и калькуляции себестоимости;
- проведение организационных изменений на предприятии.

Внедрение управленческого учета позволяет сократить сроки составления отчетности и повысить оперативность принятия решений, повысить эффективность системы контроля.

УДК 658.10

Современные интеллектуальные системы управления предприятием

Манюкевич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Концепция ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) позволяет осуществить всесторонний контроль над производственными процессами, найти новые возможности повышения конкурентоспособности и качества продукции, соответствовать требованиям рынка, проводить эффективное планирование производства, а также заменить большинство отдельных и не связанных информационных приложений интегрированной средой.

На базе стандарта ERP создано множество программных средств – ERP-систем. Сегодня в мире используется более 500 интегрированных систем управления предприятиями (ИСУП), реализующих самые современные концепции – ERP и MRP-II. В Беларуси пока нашли свое применение только 15 из них, однако, их внедрение продолжается.

Большинство ERP-систем не привязано к какой-то конкретной отрасли народного хозяйства и могут успешно применяться в легкой и тяжелой промышленности, строительстве и транспорте.

Microsoft Business Solutions Axapta (MBS Axapta) – это ERP-система для комплексной автоматизации больших и средних предприятий, реализующая следующие управленческие концепции: ERM, CRM, SCM, Knowledge Management, Business Intelligence, e-commerce и др. Программный комплекс SAP R/3, разработанный фирмой SAP (сокращение от Systems, Applications and Products in Data Processing), является одной из самых известных интегрированных систем управления предприятием в мире. Система ориентирована главным образом на крупные и средние предприятия и успешно применяется в таких областях, как машиностроение, связь и телекоммуникации, металлургия и т.д. Программный продукт "1С: Предприятие 8.0" предназначен для решения широкого круга задач автоматизации учета и принятия решений, стоящих перед динамично развивающимися современными предприятиями. IFS Applications – полнофункциональная ERP-система для комплексной автоматизации средних и больших предприятий. В 2003 году в данном пакете программ впервые появилась новая управленческая концепция 3LM, объединяющая в себе взаимосогласованное управление жизненными циклами продукции (PLM),

основных фондов (ЕАМ) и работы с людьми (персоналом, заказчиками (CRM) и т.д.).

УДК 330.621

Долгосрочное прогнозирование режимов энергопотребления

Нагорнов В.Н., Радюк Е.В., Коломыцкая Н.А.
Белорусский национальный технический университет

Несмотря на определенные успехи, достигнутые в области прогнозирования электропотребления, остается еще немало проблем, которые ждут своего решения. Так в частности, подавляющее большинство моделей ориентированы на прогноз лишь отдельных параметров режима энергопотребления, например, максимальной мощности и объема потребляемой энергии, что, как правило, недостаточно при оптимизации структуры генерирующих мощностей и решении других задач, стоящих перед исследователями.

Нами предлагается комплексный подход к прогнозу режима энергопотребления. Известно, что наиболее полно отражает режимные факторы годовой график на продолжительности.

В связи с этим на первом этапе формирования прогнозной модели, годовой график по продолжительности эквивалентируется полиномом вида:

$$P(t) = a_0 t^0 + a_1 t^1 + a_2 t^2 + a_3 t^3 \dots a_n t^n,$$

где $P(t)$ - мощность в момент времени t , $a_0, a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ - коэффициенты полинома.

На следующем этапе прогнозирования, на основе ретроспективных данных находится зависимость значений коэффициентов полинома от сложившейся структуры потребителей, т.е.

$$a_0 = f_0(\mathcal{E}_{np}, \mathcal{E}_{mp}, \mathcal{E}_n, \mathcal{E}_{op}),$$

$$a_1 = f_1(\mathcal{E}_{np}, \mathcal{E}_{mp}, \mathcal{E}_n, \mathcal{E}_{op}),$$

$$a_n = f_n(\mathcal{E}_{np}, \mathcal{E}_{mp}, \mathcal{E}_n, \mathcal{E}_{op}).$$

где $\mathcal{E}_{np}, \mathcal{E}_{mp}, \mathcal{E}_n, \mathcal{E}_{op}$ годовое потребление промышленностью, транспортом, населением и другими группами потребителей.

Расчеты показали, что приемлемая ошибка аппроксимации годовых графиков нагрузки достигается при значениях степени полинома равной 5...8. Исследования выявили снижение относительной погрешности аппроксимации с увеличением степени полинома. Линейный и квадратичный

тренды способствуют выявлению многолетних тенденций формирования режима энергопотребления.

УДК 621.311

Энергетическая безопасность Республики Беларусь

Нагорнов В.Н., Радюк Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В современном мире пришло осознание ответственности за то, чтобы энергетические объекты стали более безопасными, а также осознание необходимости справляться с рисками и последствиями изменения климата. Для решения поставленных задач разрабатываются национальные стратегии развития энергетической отрасли. Так, распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р утверждена Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, Европейским Союзом принята энергетическая дорожная карта «Energy roadmap 2050».

В нашей стране в целях достижения энергетической независимости действует утвержденная Указом Президента №433 от 17.09.07 г. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь на период до 2020 года. В данном документе приводятся основные цели и задачи проведения энергетической политики; прогноз и меры по улучшению структуры топливно-энергетического баланса; мероприятия по энергосбережению; научно-техническое обеспечение развития отрасли. Концепция включает систему показателей и контрольные точки, позволяющие регулярно отслеживать продвижение к достижению конечных целей, для этого доводятся индикаторы энергетической безопасности.

Однако, приведенные показатели учитывают лишь экономические стороны проблемы, не делая акцент на экологические и социальные вопросы.

С учетом вышеизложенного, необходимо изменение формирования энергетической политики с внесением соответствующих поправок в новую редакцию Концепции энергетической безопасности и продлением ее срока до 2030-2050 гг. Для этого требуется с учетом опыта передовых стран подготовить технико-экономическое обоснование потенциала снижения энергопотребления в наиболее энергоемких отраслях экономики Республики Беларусь; адаптировать к современным условиям региональные системы энергоснабжения с учетом экономически целесообразного потенциала снижения потребления топливно-энергетических ресурсов. Кроме того, необходимо пересмотреть систему индикаторов энергетической безопасности, исключив из нее неактуальные и дублирующие друг друга показатели, а также дополнить ее блоками социальных и экологических индикаторов устойчивого развития.

Оценка рисков в энергетике

Тымуль Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Финансовое планирование в условиях транзитивной экономики Республики Беларусь является важным этапом планирования и управления деятельностью всего предприятия, условием принятия и реализации эффективных финансовых решений. При формировании финансового плана необходимо учитывать различные внешние и внутренние финансовые риски. Наибольшее влияние на функционирование предприятий энергетической отрасли Республики Беларусь оказывают следующие финансовые риски:

1. Валютный риск: данный риск имеет значительное влияние на энергетическую отрасль, так как наибольший удельный вес в топливно-энергетическом балансе нашей страны имеет импортируемый из Российской Федерации природный газ, оплата за который производится в валюте. Поэтому необходима более планомерная и качественная работа в сфере энерго- и ресурсосбережения, а также активное внедрение местных видов топлива и ВИЭ в энергобаланс страны;

2. Кредитный риск: данный риск характеризует величину дебиторской задолженности. Основными потребителями энергии являются предприятия и население. В настоящее время при работе с предприятиями действует система предоплаты в размере не менее 100% от величины потребления предыдущего месяца, что снижает вероятность возникновения дебиторской задолженности данной группы потребителей практически к нулю. Однако, величина задолженности населения имеет значительный характер. Для устранения данной проблемы принимаются меры по диверсификации тарифов для населения, что должно привести к более бережному отношению к потреблению электроэнергии и снижению дебиторской задолженности;

3. Инфляционный риск: данный риск характерен абсолютно для всех предприятий нашей страны, так как в последнее время обесценивание национальной валюты имело скачкообразный характер. Однако инфляционными процессами на уровне предприятия управлять невозможно, т.е. инфляционный риск является макроэкономическим фактором, который необходимо постоянно отслеживать и учитывать в процессе составления финансового плана.

Учет данных рисков при составлении финансовых планов позволит формировать оптимальный финансовый план с учетом макро- и микроэкономической ситуации.

Энергетическое строительство

Водосливная плотина Полоцкой ГЭС

Круглов Г.Г., Линкевич Н.Н., Машук Ю.С., Рудько А.И.
Белорусский национальный технический университет

Программой строительства гидроэлектростанций, принятой концерном «Белэнерго», предусматривается восстановление и строительство 24 малых ГЭС общей мощностью более 200 МВт. В ней ставится задача перехода к сооружениям ГЭС с единичной мощностью более 10 МВт. В соответствии с этим завершено проектирование Полоцкой ГЭС на реке Западная Двина. В состав сооружений гидроузла входят здание ГЭС, бетонная водосливная и глухая земляная плотины. Здание ГЭС и водосливная плотина расположены в русле реки. Водосливной фронт плотины, равный 120 м, разбит пятью бычками на шесть водосливных отверстий. Два крайних бычка и центральный – неразрезные, выполнены толщиной 3 м; второй и четвертый бычки – разрезные, толщиной 5 м каждый. Очертание напорной грани неразрезных бычков – треугольное, разрезных – трапецидальное. В бычках выполнены пазы для ремонтных затворов глубиной 0,6 м и шириной 1,2 м. В качестве рабочих приняты сегментные затворы с клапаном шириной 17,0 м. Гравитационная плотина имеет распластаный профиль с шириной подошвы 31,27 м. Максимальная высота плотины от отметки гребня плотины до подошвы низового зуба – 10,5 м, высота водослива над отметкой дна реки – 5,2 м. Напорная грань плотины имеет ломаное очертание. Два участка напорной грани выполнены горизонтальными.

Криволинейная водосливная грань сопрягается с горизонтальной поверхностью водобоя на отметке 104 м по дуге окружности, очерченной радиусом $R = 9$ м. Концевая часть плотины выполнена в виде горизонтальной плиты толщиной 3,50 м и длиной 4,27 м, заканчивающейся низовым зубом. От крепления дна нижнего бьефа тело плотины отрезано конструктивным швом. Глубина водобойного колодца – 2 м. Кроме того, водобой разрезан продольными конструктивными швами. Крепление рисбермы выполнено двумя рядами монолитных плит. В первом ряду длина плит – 22,00 м, во втором – 17,97 м. Общая длина рисбермы – 39,97 м. Толщина плит первого ряда – 1,5 м, второго – 0,9 м. Концевой участок рисбермы выполнен в виде предохранительного ковша глубиной 4,5 м. Ковш заполнен камнем до отметки 103,5 м в верховой части и до отметки 105,0 м – в низовой.

Установлено, что водосливная плотина обладает достаточной водопропускной способностью, устойчивым режимом сопряжения. Полученные авторами результаты использованы при выборе типа водосливной плотины в процессе разработки строительства проекта Полоцкой ГЭС.

Природоохранные мероприятия при реконструкции мелиоративных систем

Линкевич Н.Н., Селезнев В.И.

Белорусский национальный технический университет

Сельскохозяйственное производство на мелиоративных землях представляет собой сферу активного взаимодействия человека и природы, в процессе которого происходит преобразование естественных экосистем в агроэкосистемы. Экологическое совершенство мелиоративных систем при реконструкции отнюдь не означает переход к решительной консервации осушенных земель. Целью реконструкции является получение стабильных урожаев сельскохозяйственных культур, сохранение и расширение воспроизводства плодородия почв. Только в отдельных случаях необходимо использовать часть мелиорированных земель в природоохранных целях. Поэтому, в тех случаях, когда сельскохозяйственное использование отдельных участков осушенных земель в современном состоянии невозможно, а восстановление и реконструкция мелиоративных систем экономически неэффективна, необходимо устраивать экологические зоны.

Экологические зоны представляют собой участки осушенных земель (или прилегающих к ним), восстановленные по основным признакам природных экосистем (аналогов) с целью сохранения и увеличения многообразия биологических объектов. Они могут устраиваться в замкнутых значительных понижениях торфянисто-глеевых, торфяно-глеевых, дерново-подзолистых глеевых и дерновых глеевых почв разного грансостава.

Условиями устройства экологических зон при реконструкции мелиоративных систем являются продолжительное и постоянное переувлажнение почвы или застой поверхностных вод, наличие кустарниковой и древесной растительности, низкое плодородие почвы (меньше 20 баллов), регулярные высокие потери урожаев, нерегулярность сельскохозяйственного использования (распахиваются реже 1 раза в 4 года), примыкание к лесам, болотным массивам, дорогам и водоохраным зонам, трудность и высокая стоимость реконструкции мелиоративной системы.

Конструкция экологической зоны выбирается на основании изучения почвенно-гидрологических условий и местоположения, и направлена на получение природоохранного, социального и рекреационного эффекта от использования территорий.

Перевод пахотных осушенных земель в экологические ниши, а также изъятие мелиорированных земель осуществляется в соответствии с действующим земельным законодательством на основании заключения комиссий, создаваемых органами местной исполнительной власти.

Гидротехнические сооружения как объекты мирового туризма

Гатилло А.С., Гатилло С.П.

Белорусский государственный университет,
Белорусский национальный технический университет

Без воды нет жизни. Но вода может быть другом, а может быть и страшной всеокрушающей силой. Для того, чтобы вода служила людям, необходимо было уметь правильно проектировать и строить гидротехнические сооружения. Из-за таких насущных нужд возникла гидротехника.

Итак, чтобы вода была покорной, специалисты научились создавать специальные сооружения. И оказалось, что это не только эффективно, но и прекрасно. И в тех случаях, когда гидротехнические сооружения были построены в единстве с природой, возникли памятники архитектуры, памятники технической мысли, памятники истории, которые ежегодно посещают миллионы туристов. Туристы всегда узнают имена архитекторов, скульпторов, и почти никогда – имена инженеров, которые также являются полноправными авторами шедевров инженерной мысли.

К наиболее часто посещаемым туристами всемирно известным гидротехническим сооружениям можно отнести:

1. Каналы и водные пути – Панамский канал, канал им. Москвы, каналы Венеции;
2. Гидроэнергетические объекты – Дамба Гувера, Красноярская ГЭС, винт (турбина) Архимеда;
3. Объекты городской гидротехники – Магические фонтаны Барселоны, фонтаны Петергофа, акведуки, фонтаны и термы Рима;

Радует, что постепенно и в Беларуси стал проявляться интерес к гидротехническим сооружениям с точки зрения посещения их как объектов туризма. К наиболее интересным туристическим дестинациям можно отнести:

1. Августовский канал, Днепро-Бугский водный путь;
2. Здания водяных мельниц;
3. Вилейско-Минская водная система (со Слепянской системой) с комплексом насосных станций и малых гидроэлектростанций. Гродненская ГЭС;
4. Фонтаны и набережные Минска, пруды Несвижа и Мира.

Упомянутые выше объекты уже являются объектами туризма в совокупности с другими достопримечательностями страны. Однако, на наш взгляд, в Беларуси имеется еще огромный туристический потенциал, который необходимо использовать для успешного развития туристической отрасли.

Комплексная электростанция с биогазовой установкой

Гатилло С.П., Химченко Р.П.

Белорусский национальный технический университет

Комплексные электростанции, использующие для выработки в первую очередь электроэнергии различные комбинации источников энергии, в том числе возобновляемых (Hybrid Renewable Energy Projects) получают все большее распространение во всем мире. Мировой опыт показал, что прогресс в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) зависит от правильности принятых технических решений с точки зрения совместимости работы электростанций, использующих для выработки энергии различные комбинации ВИЭ.

На примере эксплуатации Минской станции аэрации (МСА) рассмотрены возможности использования сбрасываемой воды и захораниваемого шлама для получения электроэнергии.

Возможными вариантами развития комплексной электростанции в этом случае будет строительство в первую очередь биогазовой установки, работающей на биогазе, получаемом в результате сбраживания илового осадка после процесса очистки сточных вод.

Сточные воды после очистки сбрасываются в реку, поэтому использование гидроэнергетического потенциала могут значительно увеличить энергетический потенциал комплексной электростанции.

Обычно при проектировании комплексной электростанции дополнительно рассматривалось использование теплонасосов, гелиосистем, ветроэнергетических установок, солнечных батарей.

В нашем случае, с учетом особенностей законодательства Беларуси, которое дает наивысшие приоритеты выработке электроэнергии с использованием солнечной энергии, очень важным компонентом комплексной электростанции в этом случае могут быть солнечные батареи. (Это вызвано, кроме всего прочего, наличием на территории станции аэрации значительного количества свободных неиспользуемых земель, на которых с наименьшими затратами можно разместить солнечные панели).

Строительство комплексных или гибридных электростанций, такое совмещение энергоустановок, использующих различные источники первичной энергии, как показывают расчеты, может быть очень выгодным с точки зрения финансовой устойчивости проекта в целом, так как энергетические установки взаимно дополняют друг друга и являются гарантией непрерывной выработки энергии хотя бы одним из компонентов электростанции.

Возможен также поиск и использование других источников энергии.

Фильтрационные характеристики геотекстильных материалов для защиты дренажа от заиления

Митрахович А.И., Климов В.Т., Казьмирук И.Ч.
РУП «Институт мелиорации»,
Белорусский национальный технический университет

Мелиоративные системы в процессе эксплуатации существенно снизили свою эффективность и требуют реконструкции. Одним из факторов снижения работоспособности дренажа является его заиление. Реконструкция дренажных систем на площади около 200 тыс. га потребует ежегодного применения защитно-фильтрующих материалов (ЗФМ) более 3,9 млн.м². Промышленность Республики Беларусь выпускает различные типы геотекстилей, потенциально возможных к применению для целей защиты дренажа от заиления.

Одной из причин снижения эффективности действия дренажа, приводящей к неудовлетворительному водному режиму, является заиление дренажными частицами грунта, прошедшими сквозь фильтр, что обуславливается применением ЗФМ, не соответствующих почвенно-грунтовым условиям. Задачей исследований являлось установление коэффициента фильтрации, который должен составлять не менее 45 м/сут., согласно требованиям СТБ 1980-2009 «Полотно нетканое мелиоративное. Технические условия». На приборе ФП-1(модернизированный прибор Дарси) была проведена серия опытов по его определению. Средний коэффициент фильтрации в м/сут. на чистой воде составил соответственно для геотекстилей производства ОАО «Пинема»: ПНМ-ППВ-И-130 – 54,1; ПНМ-ППВ-Т-150 — 81,5; геотекстилей ООО «Гродненские нетканые материалы»: ПНМ-ПЭВ-И-100-Ч – 45,4; ПНМ-ПЭВ-И-125-С – 41-43; ПНМ-ПЭВ-И-150-Ч – 46,0; ПНМ-ПЭВ-И-150-С – 86,7; геотекстителей ОАО «СветлогорскХимволокно»: АкваСпан-Ф-И-70 – 29,8; АкваСпан-Ф-И-90 – 36,8; АкваСпан-Ф-И-110 – 37,9; АкваСпан-Ф-И-150 – 60,4; геотекстителей импортного производства: первого образца – 62,3; второго образца – 52,2; третьего образца – 44,6; холста стекловолочного ВВ-М, производства ОАО «Ивотстекло» – 160; кокосового фильтра Naue – 1005. Материалы, не соответствующие требованиям СТБ по коэффициенту фильтрации не были рекомендованы к дальнейшим исследованиям и применению.

Фильтры, показатели которых удовлетворяют требованиям СТБ, испытываются в полевых условиях на опытно-производственных системах дренажа.

Оценка эффективности осушения лессовидных суглинков

Казьмирук И.Ч., Шкутов Э.Н., Дервянко В.А., Иванов В.П.

Белорусский национальный технический университет,

РУП «Институт мелиорации»

Лессовидные суглинки в Республике Беларусь распространены на площади 783,6 тыс. га; эти земли потенциально наиболее плодородные. По сформировавшемуся водно-воздушному режиму делятся на нуждающиеся и не нуждающиеся в осушении. К нуждающимся в осушении относят земли, имеющие большой процент закустаренности – 30% и более. При их интенсивном сельскохозяйственном использовании после проведения культуртехнических работ в замкнутых понижениях из-за переувлажнения образуются недопашки, которые через 3-5 лет вновь зарастают кустарником; земли требуют проведения комплексной мелиорации – перевода поверхностных вод в дренажный сток (водопоглотительные колонки, собиратели) и организации поверхностного стока (планировка поверхности и устройство ложбин стока с подложбинными коллекторами и без них). Различные способы мелиорации апробируются на объекте нового осушения в СПК «Мазоловский» Мстиславского района Могилевской области, который был сдан в эксплуатацию 2006 году. До осушения площадь, неиспользуемая в сельскохозяйственном производстве, составляла 47,1 га из 94, коэффициент использования земель составлял 0,51, после осушения – 0,86 и 0,98 соответственно площадям, под различными культурами (коэффициент использования осушенных площадей определялся отношением засеваемой площади к общей).

В августе 2010 г. после уборки зерновых приборами высокой точности Erosch 1 была проведена GPS съемка понижений, в которых наблюдалась полная гибель урожая; площадь их составила не более 3% от засеваемой. Величина повторного заболачивания невелика и не оказывает существенного влияния на валовой сбор сельскохозяйственных культур. Оценка эффективности осушения лессовидных суглинков была проведена на основании роста продуктивности сельскохозяйственных земель, которая увеличилась 4,3-6,7 раза, в связи с повышением интенсивности сельскохозяйственного производства и увеличением обрабатываемых площадей на объекте мелиорации в СПК «Мазоловский».

На основании анализа эффективности осушения лессовидных суглинков, с учетом роста продуктивности, можно сделать вывод об экономической целесообразности мелиоративных мероприятий на таких землях.

Опыт проектирования и строительства Гродненской ГЭС

Сапожников Е.Г., Майорчик А.П.

Белорусский национальный технический университет

В сентябре 2012 года вступила в строй самая мощная в Республике Беларусь Гродненская ГЭС. В состав гидроузла входят грунтовая плотина, бетонная водосливная с 4-мя отверстиями и сегментными затворами и здание ГЭС с 5-ю горизонтальными турбинами мощностью 3,4 МВт каждая. Тип ГЭС – русловая, расчетный напор – 7 м, стоимость около USD 118,4 млн. Строительство гидроузла продолжалось более 4-х лет.

Пропуск строительных расходов выполнен по классической схеме без отвода воды из естественного русла, котлован основных сооружений огражден двухрядной шпунтовой перемышкой. Водопонижение котлована осуществлялось двумя ярусами водопонизительных скважин, одиночными скважинами и иглофильтровыми установками. Для сбора и отвода атмосферных осадков и профильтровавшейся через перемышки воды устраивались открытые каналы с зумфами.

При бетонировании основных сооружений гидроузла впервые в практике гидротехнического строительства в нашей стране был применен «литой» бетон, подача бетонной смеси в блоки бетонирования осуществлялась бетононасосами.

Перекрытие Немана на заключительном этапе строительства было осуществлено пионерным способом, проран сужался с двух сторон. Заполнение водой котлована основных сооружений выполнено в два этапа: 1-й этап – отключение скважин водопонижения с подачей воды из Немана в нижний бьеф через низовую перемышку при помощи сифона; 2-й этап – полный разбор низовой и верховой перемычек.

Анализ строительных работ показал, что принятые проектные решения и примененные на практике организационно-технологические схемы могут быть применены при проектировании и строительстве других гидроузлов. Но были выявлены и проблемные вопросы, нуждающиеся в уточнении и корректировке:

двухрядная шпунтовая перемышка оказалась слабее ячеистых шпунтов;

применение «литого» бетона сопровождалось его значительным расслоением (крупный заполнитель – внизу, мелкий – в верхней части бетонируемой конструкции). Так, при бетонировании водосливной плотины в верхнем слое бетона (5-7см) отсутствовал крупный заполнитель;

неполным оказался объем инженерно-геологических изысканий строительной площадки и котлованов, что привело к изменениям некоторых проектных решений в ходе выполнения строительного-монтажных работ.

Определение полного напора насоса при транспортировке рассолов хвостов обогащения калийных производств

Шейко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Полный напор насоса при перекачке рассолов хвостов обогащения калийных производств будет определяться по формуле:

$$H = h_0 \left(\frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_b} \right) \pm H_r \frac{\rho_p}{\rho_b} + h_{пв} \frac{\rho_p}{\rho_b} + h_{пн} \frac{\rho_p}{\rho_b}, \quad (1),$$

где h_0 – расстояние от устья всасывающей трубы до уровня рассола; ρ_p – плотность рассола, ρ_b – плотность воды; H_r – геометрическая высота подъема рассола; $h_{пв}$ и $h_{пн}$ – потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах соответственно.

Потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах можно определить как сумму местных h_w и по длине h_l потерь напора:

$$h_{пв} = (h_l + h_w) \frac{\rho_p}{\rho_b}, \quad (2),$$

$$h_{пн} = (h_l + h_w) \frac{\rho_p}{\rho_b}. \quad (3).$$

Напор насоса, работающего на рассол определяется по формуле:

$$H_p = H \left[1 + 0,6 \left(\frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_b} \right)^{0,9} \right]; \quad (4),$$

где H – напор насоса при работе на воде.

Максимальная подача насоса при работе на рассол определяется по формуле:

$$Q_a \leq Q_b^{\max} \frac{0,9 \rho_b}{\rho_p}, \quad (5),$$

где Q_b^{\max} – максимальная производительность насоса на воде.

Мощность насосного агрегата N_p при работе его на рассол будет определяться по зависимости:

$$N_p = N_b \frac{\rho_p}{\rho_b}, \quad (6),$$

где N_b – мощность насосного агрегата при работе его на воде.

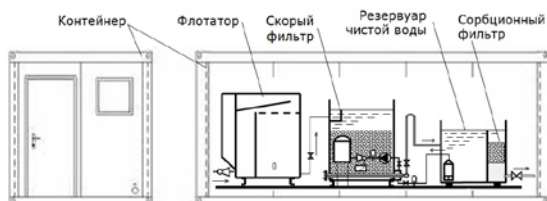
Мобильная установка для очистки нефтесодержащих сточных вод

Кравцов А.М., Шахрай Д.С.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Большинство предприятий, на которых образуются нефтесодержащие сточные воды, имеют очистные сооружения. Зачастую это – сооружения, построенные еще во времена СССР. Эксплуатация таких сооружений связана с рядом проблем и трудностей, которые приводят к аварийным ситуациям и неплановым ремонтам. В конечном итоге многие предприятия вынуждены заниматься реконструкцией существующих сооружений.

При остановке стационарных очистных сооружений, предназначенных для очистки производственных или дождевых сточных вод, возникает проблема – что делать с образующимися сточными водами? Есть разные варианты решения этой проблемы: 1) сброс неочищенных сточных вод, минуя очистные сооружения в нарушение экологического законодательства; 2) откачка и вывоз сточных вод автотранспортом к местам очистки и утилизации, что связано с большими экономическими затратами. Нами для решения этой проблемы предлагается разработка мобильной установки, за основу которой приняты разработанные ранее технология и сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод [1]. Ключевым звеном сооружений является компактная комбинированная установка, которая прошла внедрение и эксплуатируется на предприятиях Республики Беларусь. Предполагается разделить комбинированную установку на два отдельных модуля и вместе с резервуаром чистой воды разместить в стандартном контейнере, утепленном и оснащенных системами отопления, вентиляции,



освещения, КИПиА (рисунок).

Мобильная установка может использоваться при реконструкции стационарных сооружений, а также на временных стокообразующих объектах, таких как пункты мойки транспорта на строительных площадках.

Литература:

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

УДК 621.311

Состояние и перспективы развития гидроэнергетики Вьетнама

Фам Нгок Киен

Белорусский национальный технический университет

Территория Вьетнама составляет 331 111 км². Более 80% территории Вьетнама занимают низкие и средние по высоте горы. Самые высокие отметки местности – порядка 3000 м. В горах берут начало многочисленные реки. Вся поверхность Вьетнама разделена на многие мелкие и крупные водосборы, образуя плотную систему рек. В стране более 2200 рек длиной более 10 км. Годовое количество осадков колеблется от 1200 мм до 3000 мм. Год делится на два сезона: сезон дождей и сухой сезон.

Описанные природные особенности Вьетнама очень благоприятны для развития в стране гидроэнергетики. В настоящее время суммарная мощность гидроэлектростанций единичной мощностью более 30 МВт во Вьетнаме составляет около 11 500 МВт. Всего таких ГЭС – 40; в том числе самые крупные ГЭС – 2 400 МВт, 2 000 МВт, 1 200 МВт.

Электроэнергосистема Вьетнама – централизованная. Электроэнергия, кроме ГЭС, вырабатывается в основном на тепловых электростанциях. Разработана схема развития национальной системы энергетики до 2030 года. Значительную роль в ней играет возобновляемая энергетика и в первую очередь – гидроэнергетика.

Общий технический потенциал гидроэнергетики оцениваются примерно в 120 млрд. кВт/ч, эквивалентная мощность примерно 30 000 МВт. При этом экономически выгодный потенциал гидроэнергетики составляет около 83 млрд. кВт/ч.

Определен потенциал большой и средней гидроэнергетики (мощностью ГЭС > 30 МВт). Он составляет 17 000 МВт. Потенциал же малой гидроэнергетики (мощностью ГЭС от 1 МВт до 30 МВт) – 10 000 МВт.

Потенциал ГЭС мощностью менее 1 МВт не оценивался.

При этом к 2020 году мощность всех ГЭС и ГАЭС страны должна составлять около 20 000 МВт, к 2025 году – более 22 500 МВт, к 2030 году – около 24 000 МВт.

**Очистка сточных вод на грунтово-растительных площадках
и перспективы их использования в условиях Республики Беларусь**

Ануфриев В.Н., Шкута С.Н

Белорусский государственный аграрный технический университет

Грунтово-растительные площадки, характеризуются высокой степенью очистки, надежностью работы и простотой эксплуатацией. Помимо этого, они могут функционировать в качестве основных сооружений для очистки, и в качестве дополнительных очистных сооружений в комбинации с основными сооружениями биологической очистки с активным илом.

Наиболее полная очистка сточной воды осуществляется, когда период фильтрования на грунтово-растительной площадке составляет не менее чем за 20 суток. Сооружения грунтово-растительных площадок имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными сооружениями очистки: они не требуют значительных капитальных и эксплуатационных затрат, применения энергоемких процессов, коагулянтов, флокулянтов, ионоактивных соединений, искусственно культивируемых штаммов микроорганизмов-деструкторов, отличаются простотой строительства и эксплуатации, долговечностью, работают при минимальном количестве обслуживающего персонала.

Простота грунтово-растительных площадок определяет их эффективность для очистки сточных вод небольших населенных пунктов. При создании таких сооружений при условии оптимального для них рельефа (уклоны в пределах 0,005-0,01) они характеризуются минимальным расходом энергии при их эксплуатации, что позволяет использовать их в сельских районах и районах в которых отсутствует развитая инженерная инфраструктура.

Особое значение для данных сооружений имеют грунты. Как правило, для грунтово-растительных площадок используется песчаные грунты с размерами частиц с крупностью превышающей 0,7 мм. Для эффективной очистки сточных вод коэффициент фильтрации грунта должен быть не менее 10 м/с. Также важным аспектом является видовой состав растений, высаживаемых на грунтово-растительных площадок. В большинстве случаев для этой цели используются макрофиты, способные произрастать на обводненных и даже затопленных площадках. У "болотных" растений в стеблях и листьях имеются воздухопроводящие волокна, через которые кислород поступает к корням растений, что позволяет им успешно развиваться на затопленных грунтах.

Учитывая требования к сокращению количества полей фильтрации грунтово-растительные площадки могут стать основными сооружениями

для замены полей фильтрации

УДК 628.162

Особенности проектирования установок водоподготовки с использованием мембран

Ануфриев В.Н., Вайман О.А.

Белорусский национальный технический университет

К наиболее распространенным промышленным мембранным процессам относятся обратный осмос, ультра-, микро- и нанофильтрация, диализ, электродиализ, мембранная дистилляция, испарение через мембрану (первапорация) и мембранное разделение газов. Различные отрасли промышленности предъявляют повышенные требования к качеству используемой воды и применение обратноосмотических мембран позволяет создать компактные и экономически эффективные системы подготовки особо чистой воды, способные заменить или сочетаться с традиционно применяющимися для этих целей технологиями ионного обмена и дистилляции. Системы с мембранным разделением примесей успешно применяются на предприятиях электронной промышленности, пищевой промышленности, на транспорте, в энергетике и др.

Однако, в ряде случаев применение даже самых лучших высокоселективных мембран не позволяет достигнуть требуемого качества очищенной воды как по общему солесодержанию, так и содержанию отдельных примесей в том числе ионов, органических веществ и растворенных в воде газов. Система подготовки чистой воды представляет собой комбинацию мембранных систем и вспомогательного оборудования, в том числе насосного оборудования для создания повышенных давлений на мембранных элементах. Размеры выделяемых примесей при переходе от микрофильтрации к обратному осмосу уменьшаются и, следовательно, размер пор мембран также необходимо должен быть уменьшаться. Как следствие будет возрастать сопротивление мембран массопереносу и соответственно потребуются более высокое давление для обеспечения эксплуатации таких установок.

Технологический расчет мембранных установок состоит в подборе мембранных модулей обеспечивающих требуемую степень разделения. Эксплуатационные мероприятия включают регулярную замену отработанных мембранных элементов. Мембранные элементы подлежат химической регенерации специальными растворами, удаляющими с поверхности мембран осадки малорастворимых солей, гидроксидов железа, осадков биологического и органического происхождения. Поскольку решающим фактором в создании эффективной мембранной технологии водоподготовки является ступень мембранного разделения, особое место уделяется повы-

шению эффективности регенерации мембран и обеспечению надежности их работы.

УДК 624

Анализ методов расчета притока воды в строительный котлован

Корбут О.Б.

Белорусский национальный технический университет

На объекте строительства современного комплекса решалась задача определения параметров водопонижения в оконтуренном противодиффузионной завесой котловане размерами 113×77,3 м. Водонепроницаемая стенка выполнена из секущихся буронабивных свай.

В расчетах коэффициент фильтрации принят равным 0,00015 м/с на основании данных опытных откачек при пробном водопонижении.

Предварительно по градиенту гидравлического напора в восходящем диффузионном потоке на выходе в котлован и гидродинамическому давлению была выявлена малая вероятность гидравлического разрушения водонасыщенного грунта.

Приточность грунтовых вод в огражденный котлован определялась по существующим методикам, а также рассчитывалась численными методами авторами с помощью геотехнического программного комплекса PLAXIS и турецким специалистом Oğuz Calisan с использованием программного комплекса SLIDE. Удельный приток воды в котлован (на 1 п.м длины ограждения котлована), м³/сут., составил:

по методу Боллинга	– 38,4;
по методу Чугаева-Короткова	– 49,7;
по методу Шлейхера	– 51,71;
по методу Давиденкова	– 40,95;
по методу Костерина	– 51,7;
ПК "PLAXIS"	– 30,51;
Oğuz Calisan (ПК "SLIDE")	– 51,6.

При подборе оборудования для откачки воды из котлована было рекомендовано в качестве расчетного принять удельный приток равным прогнозируемому 51,65 м³/сут., суммарный – 19 658 м³/сут. или 0,228 м³/с.

Для предотвращения развития дополнительных осадок прилегающих к котловану зданий и сооружений рекомендовано восстанавливать уровень грунтовых вод за подпорной стенкой при его падении более чем на 0,5 м путем заполнения водой дренажных канав, расположенных за пределами котлована.

Расход бетона при формировании стволов свай ограждения котлована

Повколас К.Э., Корбут О.Б.

Белорусский национальный технический университет

При бетонировании ограждения котлована из пересекающихся буронабивных свай, выполненных по технологии VDW двойного бурения (полный шнек с обсадной трубой), фактический расход бетона на одну сваю составил $5,1175 \text{ м}^3$ при проектном объеме скважины в $3,621 \text{ м}^3$. Перерасход бетона на 41% значительно превысил допустимую нормами величину 17 %.

Для обоснования увеличения расхода бетона выделены основные его причины:

1. Увеличение диаметра скважины до 634 мм при применении обсадной трубы внешним диаметром 620 мм за счет наличия выступающих режущих кромок в ее нижней части – перерасход бетона $0,1654 \text{ м}^3$.

2. Геометрическое увеличение объема скважины за счет действия давления бетонной смеси на стенки скважины при ее бетонировании (548 кПа на глубине 12 м), которое значительно превышает бытовые природные напряжения (140-160 кПа). В расчетах, выполненных методом конечных элементов в упруго-пластической постановке (программный комплекс PLAXIS v8), моделировалось давление бетонной смеси по всей высоте скважины – увеличение объема составило $0,824 \text{ м}^3$.

3. Уплотнение бетонной смеси под действием давления и вибрации – уменьшение объема на основании экспериментальных данных принято 3,5 %, что составило $0,1614 \text{ м}^3$.

4. Снижение водоцементного отношения (В/Ц) спрессовываемого цементного теста при отжатии избыточной воды, превышающей объем, необходимый для затворения цемента, в окружающий дренирующий грунт, представленный преимущественно песками. С учетом уменьшения В/Ц от начального до 0,22 при инъекции цементного раствора под давлением увеличение объема сваи составит 0,39 и $0,2854 \text{ м}^3$ для свай с классами бетона соответственно С16/20 и С25/30.

Суммарный расчетный расход бетона принятых классов на одну сваю составил соответственно $5,1618$ и $5,057 \text{ м}^3$, что точно отвечает данным, приведенным в сводной ведомости устройства свай, и указывает на необходимость пересмотра действующей нормы допустимого перерасхода бетона с увеличением ее с 17 до 41 процента.

Способы учета источников и стоков при расчете тепловлажностного режима ограждающих конструкций методом конечных элементов

Лешкевич В.В., Крушевский Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Совместный перенос тепла и влаги в ограждающих конструкциях описывается следующей системой дифференциальных уравнений

$$c_T \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda_T \nabla T) + \varepsilon_T \rho c_\theta \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (1) \quad c_\theta \rho \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \operatorname{div}(\lambda_\theta \nabla \theta) + \operatorname{div}(\lambda_\theta \delta_\theta \nabla T) \quad (2)$$

Решение указанной системы уравнений с помощью метода конечных элементов требует приведения их к виду $k_1 \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \operatorname{div}(k_2 \nabla \varphi) + Q$.

Соответственно, для решения задачи тепломассопереноса необходимо на каждом временном шаге вторые слагаемые в правых частях уравнений (1) и (2) представлять в виде константы.

В практических расчетах второе слагаемое правой части уравнения (1) можно принять равным нулю исходя из следующих соображений:

- комплексный критерий $\left(\frac{t_0}{2(t_{n2} - t_{n1})} \varepsilon K i_m Lu K o \right)$ большинства строительных материалов значительно меньше единицы [1];
- в расчетах применяются теплофизические характеристики материалов с влажностью, близкой к эксплуатационной [2];
- скорость изменений поля температуры значительно более высокая по сравнению с полем влажности [2].

При использовании в методе конечных элементов линейных базисных функций вычисление дивергенции градиента не представляется возможным. Выходом из ситуации в данном случае является применение теории сопряженных аппроксимаций Дж.Одена [3], что позволяет по градиенту температуры внутри конечного элемента получить значения его в узлах, после чего вычисление дивергенции полученного векторного поля не вызывает затруднений.

Литература:

1. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: Издательство АН БССР, 1961. – 519 с.
2. Александровский, С.В. Долговечность наружных ограждающих конструкций / С.В. Александровский. – Москва: НИИ строительной физики РААСН, 2003. – 332 с.
3. Оден, Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред/ Дж. Оден; Перевод с английского под ред. Э.И. Григолюка. – Москва: Мир, 1976. – 464 с.

Теплотехнические характеристики лёгких стеновых панелей из пенополиуретана

Протасевич А.М., Калиниченко Е.С., Лешкевич В.В.
Белорусский национальный технический университет

Рассматриваемые легкие пенополиуретановые панели используются для строительства индивидуальных жилых домов малой этажности (1-2 этажа).

Основой панелей является металлический каркас замоналиченный в слое пенополиуретана. Наружная поверхность покрывается полимерно-цементной штукатуркой по стеклосетке. Внутренний слой панелей представляет собой стекломagneиный лист (магнетитовая плита).

Авторами выполнен расчет приведенного сопротивления теплопередаче указанных панелей.

Для расчета температурных полей конструкция разделена на расчетные участки (зоны). С помощью разработанной компьютерной программы выполнен расчет двухмерных и трехмерных температурных полей участков и определено их сопротивление теплопередаче.

Приведенное сопротивление теплопередаче всей панели определено по формуле:

$$R_{np} = \sum_{i=1}^{i=n} F_i / \sum_{i=1}^{i=n} \frac{F_i}{R_i},$$

где F_i – площадь i -го расчетного участка, м²;

R_i – сопротивление теплопередаче i -го расчетного участка, м² °C/Вт;

n – число расчетных участков.

Приведенное сопротивление теплопередаче панели составило $R_{np} = 3,67 \text{ м}^2 \text{ °C} / \text{Вт}$.

Сопротивление теплопередаче панели «по глади» $R_{gl} = 5,22 \text{ м}^2 \text{ °C} / \text{Вт}$.

Коэффициент теплотехнической однородности панелей составляет $r = 0,703$.

Суммарное количество узлов использованной расчетной сетки составило более 5 млн.

По результатам анализа расчетов для улучшения теплотехнических показателей панели производителю рекомендовано при возможности использовать каркас из материалов с меньшим коэффициентом теплопроводности; в частности – несущие каркасы из дерева и стеклопластика.

**Оптимизация теплотехнических характеристик
ограждающих конструкций с помощью численного моделирования
полей температуры**

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Теплотехнические характеристики ограждений во многом определяют не только расход энергетических ресурсов на отопление и долговечность самих конструкций, но также и формирование условий для положительного либо отрицательного воздействия на здоровье человека (уровень теплового комфорта в помещении и проч.).

Наиболее исчерпывающая информация о характеристиках ограждающих конструкций на этапе проектирования может быть получена при использовании численного моделирования процессов переноса в ограждениях на основе решения исходных дифференциальных уравнений. Численные эксперименты позволяют анализировать локальные характеристики, а также динамику их изменения. Исходными данными для моделирования служат объективные данные (теплофизические свойства материалов, геометрия слоев, включений и т.п.). Поэтому дополнительным достоинством данного метода является независимость результатов (например, интегральных тепловых потоков) от неоднозначно трактуемого различными исследователями понятия «приведенное сопротивление теплопередаче». В то же время, пока еще сохраняется необходимость определять данную характеристику по результатам численных экспериментов: 1) для оценки соответствия теплозащитных характеристик ограждения нормативным значениям; 2) для нормативного расчета потерь теплоты на основе одномерного стационарного подхода. По мере совершенствования компьютеров и все более широкого распространения численного моделирования будет наблюдаться тенденция ухода от традиционных методик теплотехнических расчетов, что потребует адаптации нормативной базы.

Численное моделирование полей температуры в конструкциях широко используется при решении следующих задач: 1) устранение «мостиков холода» и повышение степени теплотехнической однородности; 2) исключение выпадения конденсата водяных паров на поверхности и внутри ограждения; 3) определение теплозащитных характеристик конструкции; 4) расчет теплового потока, проходящего через ограждение; 5) анализ функционирования конструкции в нестационарных условиях и др.

По сравнению с другими видами моделирования использование вычислительных экспериментов позволяет с наименьшими затратами времени и средств оптимизировать конструкцию ограждения.

Исследование теплотехнических характеристик узлов и сопряжений ограждающих конструкций спортивно-развлекательного комплекса «Чижовка» в г. Минске

Байлук Н.Д., Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Цель исследования – определить возможность выпадения конденсата водяных паров на внутренней поверхности сопряжений ограждающих конструкций и дать рекомендации по исключению данного явления.

Работа выполнена с использованием программного комплекса собственной разработки, а также пакета вычислительной гидродинамики. В публикации представлен анализ результатов численного исследования двух характерных сопряжений конструкций.

Рассмотрен фрагмент наружной стены, выполненной из керамзитобетонных блоков, с размещенной внутри металлической трубой (250×9). Труба проникает снаружи вплоть до внутреннего слоя штукатурки. Внутри трубы – замкнутое воздушное пространство. При расчетных условиях температура на внутренней поверхности стены в зоне расположения трубы снижается до минус 0,8°С. Возникает опасность образования инея. Рекомендовано заполнить внутреннее пространство трубы в месте прохода через стену теплоизолирующим материалом, а также расположить тепловую изоляцию между торцом трубы и внутренним слоем отделки (минимальный выход изоляции за пределы торца трубы – 250 мм).

Исследован также узел прохода несущей металлической конструкции (двутавровая балка) через наружную стену, выполненную из сэндвич-панелей. На данный двутавр опирается профилированный металлический лист конструкции кровли. Выявлены два проблемных участка. Первая проблема: минимальная температура на внутренней поверхности профлиста составляет минус 18°С (узкая полоса поверхности в месте примыкания сэндвич-панели). Причиной столь значительного снижения температуры является контакт торца сэндвич-панели с наружным воздухом в месте выпуклости вверх профлиста. Для устранения проблемы следует заполнить теплоизоляционным материалом имеющийся открытый «воздушный карман» между торцом сэндвич-панели и профлистом. Вторая проблема: металлические конструкции, контактирующие с двутавром, проходящим через стену, имеют температуру поверхности ниже температуры точки росы (9°С) в зоне 0,3 м от места прохода двутавра. Необходимо изолировать поверхность двутавра со стороны наружного воздуха и (или) покрыть изоляцией внутренние поверхности, имеющие температуру ниже температуры точки росы (захватив дополнительно 0,5 м смежных поверхностей).

Влияние тепlopоступлений от солнечной радиации на микроклимат помещений общественных зданий

Борухова Л.В., Шибeko A.C.

Белорусский национальный технический университет

При расчёте воздухообмена для ассимиляции избытков явной теплоты находят суммарные тепlopоступления в помещение. Для общественных зданий они представляют собой сумму тепlopоступлений от людей; искусственного освещения; оборудования, установленного в помещении; а также тепlopоступлений через заполнение световых проёмов и массивные ограждения.

Анализируя методику расчёта тепlopоступлений через заполнения световых проёмов, можно выявить существенный её недостаток: это расчёт тепловых потоков радиационной составляющей относительно одинарного остекления, т.к. в существующих ныне пособиях по расчёту значения коэффициентов относительного проникания солнечной радиации для многих видов остекления не приводятся. При использовании же солнечного фактора – отношения поступающей в помещение теплового потока солнечной радиации к тепловому потоку падающего излучения – идёт привязка к конкретному варианту остекления, а не приведению одинарного остекления к нему. Солнечный фактор как одна из характеристик приводится в документации на остекление.

В рамках расчёта требуемого воздухообмена был произведён расчёт тепlopоступлений при различных ориентациях наружной стены с остеклением и различных соотношениях площади окна к площади стены, а также исследовано влияние соотношения размеров на тепlopоступления от солнечной радиации в помещении. С увеличением отношения ширины к высоте растут и тепlopоступления от солнечной радиации, причём наиболее интенсивный рост характерен для области значений отношений от 0 до 1.

Уменьшения доли тепlopоступлений от солнечной радиации можно добиться, во-первых, применением стёкол с малой пропускательной способностью, во-вторых, установкой солнцезащитных устройств.

Результаты расчётов воздухообмена показали, что требуемая для ассимиляции избытков явной теплоты кратность воздухообмена в тёплый период составляет в зависимости от ориентации фасада $3 \dots 8 \text{ ч}^{-1}$, что в $2 \dots 5$ раз превышает существующую кратность воздухообмена.

Сравнивая существующий опыт проектирования с западным, в частности, с немецким, где кратность воздухообмена для офисов в тёплый период рекомендуется принимать до 14 ч^{-1} , можно сделать вывод о том, что существующие кратности воздухообмена нуждаются в корректировке.

Область применения и методика расчета текстильных воздуховодов

Борухова Л.В., Герасёва М.А.

Белорусский национальный технический университет

Текстильные воздуховоды являются наиболее рациональным способом воздухораспределения в помещениях с повышенными гигиеническими требованиями, значительным выделением пыли и тепла. Тем не менее, на территории Республики Беларусь они не получили широкого распространения, ввиду отсутствия отечественных производителей. Однако, на текущий момент в г. Минске открылось собственное производство, поэтому возникла необходимость в разработке методики расчета.

Текстильные воздуховоды равномерной раздачи – это по своей сути воздухораспределители, которые берут на себя функции транспорта и раздачи приточного воздуха. Воздухораспределение может осуществляться через воздухопроницаемый материал либо через микроперфорацию (отверстия диаметром 0,2-0,4 мм) и перфорацию (отверстия диаметром более 4 мм) при условии применения воздухо непроницаемого материала.

Расчетам воздуховодов равномерной раздачи посвящены работы Г.Н.Максимова, В.Н. Талиева, К.К.Баулина, которые заключаются в аналитических методах интегрирования уравнения Бернулли в дифференциальной форме:

$$\Delta p_x + \frac{\rho w_x^2}{2} = \Delta p_0 + \int_0^x \frac{\lambda}{d_s} \frac{\rho w_x^2}{2} dx \cdot$$

Существующая методика построена на применении в расчетах коэффициента расхода воздуха, характеризующего отношение действительного расхода воздуха к теоретическому, который бы имел место в отсутствии сжатия струи и сопротивления. Поэтому, экспериментальную часть исследований можно свести к определению коэффициента расхода воздуха для текстильных воздуховодов. Для этого необходимо определить коэффициенты шероховатости для различных текстильных материалов и коэффициенты местных сопротивлений для различных видов перфораций.

Сравнение текстильных воздуховодов с аналогичными системами воздухораспределения (стальными перфорированными воздуховодами) выявило ряд неоспоримых преимуществ, таких как, низкие капитальные затраты, гигиеничность, функциональная гибкость, короткие сроки и простота монтажа. Очевидные достоинства текстильных воздуховодов говорят о необходимости создания общедоступной методики с целью интенсификации процесса их внедрения на стадии проектирования и определения наиболее эффективных модификаций для производства.

**Теплоснабжение зданий повышенной этажности
на базе использования природного газа**

Протасевич А.М., Волчек Е.А.

Белорусский национальный технический университет

По нормативным требованиям в высотном здании помимо централизованных источников теплоснабжения требуется предусматривать автономные источники энергоснабжения, которые могут размещаться как в самом здании, так и в отдельно стоящих объектах. Для этих автономных источников многофункционального высотного комплекса (МВК) традиционно принято, что основным энергоносителем является природный газ.

В Республике Беларусь использование природного газа для энергоэффективного энергоснабжения возможно при строительстве только наземных автономных энергосооружений. Одной из основных задач проектирования и строительства высотных зданий состоит в обеспечении их энергоэффективности, т.е. экономного расходования энергии в их инженерных системах. Приоритетным направлением в данном вопросе является использование современных технологий энергоснабжения, в частности организации местного теплоснабжения высотных зданий с использованием природного газа. Анализ данного направления выполнен на примере проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ жилых зданий повышенной этажности, построенных в Московском районе города Минска.

Было проведено исследование экономической эффективности использования крышной котельной для обслуживания проектируемых жилых зданий повышенной этажности по сравнению с наземной котельной аналогичной тепловой мощности. В результате, хотя суммарные инвестиции в наземную котельную для всех потребителей ниже стоимости крышной котельной аналогичной тепловой мощности из-за сложности строительно-монтажных работ на высоте, однако показатель сравнительного срока окупаемости равен 1 году, что ниже нормативного для предприятий энергетического комплекса, который составляет 5 лет.

В декабре 2002 года была принята Сводная программа внедрения системы поквартирного отопления жилых домов, в которой установлены объемы ввода общей площади квартир в каждой области. По данным ГПО «Белтопгаз» в Гомельской области она начата с 1999 года. Используется оборудование марок BOSCH, VISSMAN, ARISTON, ГЕФЕСТ.

Решение некоторых проблем, связанных с газификацией жилых домов с поквартирным отоплением предусмотрено введением нового нормативного документа ТКП 45-4.03- 267-2012 «Газораспределение и газопотребление. Строительные нормы проектирования».

Энергоэффективное многокомпонентное твёрдое топливо на основе малоиспользуемых отходов

Хрусталёв Б.М., Пехота А.Н.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь нет в достаточном количестве собственных топливно-энергетических ресурсов. Однако опыт таких стран как Япония, Дания, Финляндия, Швеция, и др. показывает, что экономика может динамично развиваться за счёт внедрения передовых технологий, использования местных видов топлива и вторичных ресурсов. Среди широкого разнообразия образующихся отходов имеются малоиспользуемые горючие отходы, которые могли бы найти применение в качестве твёрдого топлива многокомпонентного (ТТМ), которое может стать альтернативным местным энергетическим источником в единой энергетической системе Республики Беларусь. Проведённый анализ образования в Республике Беларусь различных горючих отходов (нефтесодержащих, древесных, сельскохозяйственных и других), а также существующие технологии переработки, утилизации отходов, показал необходимость разработки и внедрения эффективной технологии и оборудования, по переработке малоиспользуемых горючих отходов в топливо многокомпонентное.

Для решения этих проблем, нами подобрано технологическое оборудование, в соответствии с теорией планирования эксперимента и факторного анализа получена математическая модель позволяющая получать оптимальные эко-энергетические составы, разработан технологический процесс производства многокомпонентного топлива.

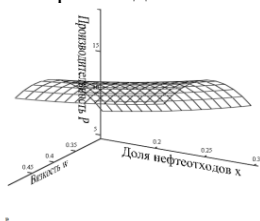


Рисунок 1. График зависимости производительности от влажности и доли нефтепродуктов

Совместное рассмотрение уравнения регрессии, описывающей зависимость производительности установки от влажности смеси и доли в ней нефтепродуктов, и формул, связывающих экологические параметры котельной установки при сжигании в нем твёрдого топлива многокомпонентного и доли этом топливе нефтепродуктов, позволяет рассчитать оптимальный с энергетической и экологической точек зрения состава топлива многокомпонентного.

Такое комплексное решение проблемы переработки малоиспользуемых отходов позволяет использовать вторичные ресурсы, а также без дополнительных экономических затрат по переоборудованию котельной производить альтернативное топливо многокомпонентное с составом, обеспечивающим экологические и энергетические требования котельной.

К вопросу о выборе схемы подключения внутридомовой системы газоснабжения.

Артихович В.В.

Белорусский национальный технический университет

В жилые здания газ поступает по газопроводам от городской распределительной сети. Они состоят из абонентских ответвлений (вводов), подводящих газ к зданию, и внутридомовых газопроводов, которые транспортируют газ внутри здания и распределяют его между отдельными газовыми приборами. Ответвления от внутриквартирных газопроводов могут осуществляться в каждую секцию жилого дома. Может быть один цокольный ввод, размещаемый на углу или посередине здания, с установкой отключающего устройства (крана). Газопровод в этом случае прокладывается по фасаду здания на уровне второго этажа и вводится в лестничные клетки на первом этаже или непосредственно во все кухни на втором этаже.

Во внутренних газопроводах жилых зданий можно транспортировать газ только низкого давления. Газопроводы внутри зданий и наружные надземные выполняются из стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262. Подземные газопроводы монтируются из полиэтиленовых труб ПЭ80 SDR11

Нами рассмотрены оба варианта вводов газопроводов в трех – шестисекционные девятиэтажные жилые дома с целью сопоставления по материало- и капиталозатратами.

Для этого был выполнен гидравлический расчет внутридомовых газопроводов для рассматриваемых случаев. В кухнях квартир установлены 4-х горелочные газовые плиты «Гефест» модели 3100 и газовые счетчики G1,6 завода Вавилова. Использовался природный газ с плотностью $0,737 \text{ кг/м}^3$ и низшей теплотой сгорания 36145 кДж/м^3 . Выполнялись разводки газопроводов на планах жилых домов, составлялись аксонометрические и расчетные схемы газопроводов. Расчетный перепад давления от врезки внутридомового газопровода в квартальную сеть до наиболее удаленного прибора принимался 600 Па с учетом потерь давления в газовом приборе (для плиты $40\text{-}60 \text{ Па}$). Потери давления в газовом счетчике принимались равными 100 Па .

Результаты расчетов показывают, что устройство ответвлений от квартирного газопровода в каждую секцию жилого дома позволяет сэкономить стальных труб по сравнению с одним вводом и прокладкой газопровода по фасаду здания от 140 кг (для 3-х секционного жилого дома) до 400 кг (для 6-ти секционного жилого дома), или от $1 \text{ млн. } 370 \text{ тыс.рублей}$ до $3 \text{ млн. } 400 \text{ тыс.рублей}$.

К вопросу учета расхода теплоты в жилых зданиях

Копко В.М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время расчеты за тепловую энергию по приборам учета (счетчикам) проводятся практически для всех потребителей. Счетчики устанавливаются у всех коммунально-бытовых потребителей. Казалось бы, при наличии счетчиков потребленный объем учитывается наиболее точно. Однако появляются дополнительные организационно-технические проблемы, игнорирование которых может свести «на нет» все преимущества применения приборов учета.

Неверный учет не позволяет свести балансы на любом участке трубопроводов и установок от источников энергии до квартир в пределах суммарных норм точности измерений и реальных КПД установок. Общие материальные потери от неверного учета и сбережения энергоносителей иногда достигают значительных величин. Население Беларуси иногда вынуждено потреблять и оплачивать за воду в несоответствующем объеме. Например, в Минске норма потребления установлена в 260 л/сутки на 1 чел.

Приборы учета могут быть групповыми или индивидуальными, и возникающие проблемы при использовании тех или других различны. Например, применение индивидуальных счетчиков выгодно конечным пользователям, но при этом возникают трудности учета для организации, осуществляющей контроль, производящей начисления и собирающей оплату. В большинстве случаев не удается ежемесячно получать достоверные показания. А неверные показания и начисления приводят к тому, что потребленный объем не равен отпущенному объему поставщиков. Кроме того, затраты на эксплуатацию и контроль за счетчиками возрастают, и в тарифах они часто не учитываются.

При применении групповых счетчиков (многоквартирные жилые дома – более 20 квартир) потребленный объем должен быть равен отпущенному объему, и использование таких счетчиков выгодно организации, производящей начисление. Но на практике потребленный и отпущенный объемы также не равны, так как не всегда учитываются перерасчеты по прошлому времени.

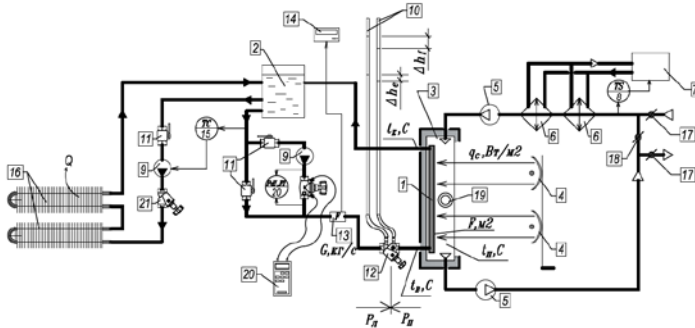
Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь утверждена соответствующая Инструкция о порядке оплаты населением жилищно-коммунальных услуг (Постановление № 13 от 24.05.2004, которое зарегистрировано в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 11.06.2004, № 8/11101). В дальнейшем были постановления Министерства «О внесении дополнений и изменений...» в эту Инструкцию.

Экспериментальное исследование водонагревательного гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя

Покотилов В.В., Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Была разработана и смонтирована экспериментальная установка (рис.1), на основании которой были проведены исследования гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя. С помощью натурных измерений при стационарных условиях теплообмена были определены данные для последующего расчета эффективности гелиоколлектора.



- 1 – плоский гелиоколлектор, 2 – бак-аккумулятор, 3 – термостатическая камера,
- 4 – галогенные лампы, 5 – вентилятор, 6 – воздухоохладитель, 7 – холодильная установка, 8 - регулятор температуры в термостатической камере, 9 – насос циркуляционный, 10 – пьезометрические трубки, 11 – шаровый кран,
- 12 – балансовый клапан с измерительными штуцерами с краном для слива,
- 13 – ультразвуковой датчик расходомера, 14 – электронный блок ультразвукового расходомера, 15 – регулятор температуры двухпозиционный, 16 – водоохладитель (в виде двух конвекторов, соединенных последовательно), 17 – воздушная заслонка (в закрытом положении), 18 – воздушная заслонка на байпасе (в открытом положении), 20 – компьютер для измерения перепада давления и расхода,
- 21 –вентиль для изменения расхода воды.

Рис. 1. Схема лабораторной установки.

Обработка результатов экспериментов показала, что при естественной циркуляции теплоносителя традиционная зависимость эффективности гелиоколлектора не отражает реальную. Поэтому для корректного определения эффективности предлагается следующая зависимость (где в качестве дополнительных параметров введена характеристика сопротивления, геометрические размеры системы, параметры теплоносителя):

$$\frac{q_{\Pi}}{q_c} = f\left(\frac{\theta_{\Pi} \cdot g \cdot h^{1.5}}{\theta_{\kappa} \sqrt{S \cdot F^2 \cdot q_c \cdot \nu}}\right) = f(B).$$

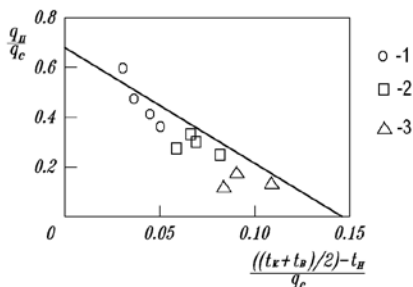
Экспериментальное исследование водонагревательного гелиоколлектора при насосной циркуляции теплоносителя

Рутковский М.А.

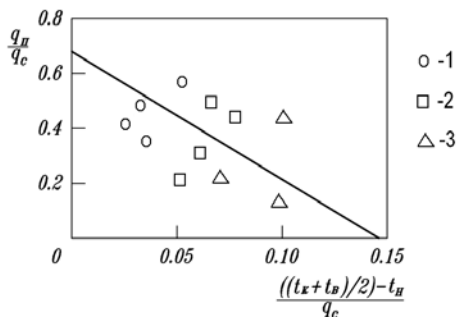
Белорусский национальный технический университет

На одной и той же экспериментальной установке были проведены исследования с насосной и естественной циркуляцией теплоносителя. При насосной циркуляции при стандартном двухпозиционном регулировании работы насоса не имелось возможности обеспечить требуемый потенциал за счет присутствия пауз в работе гелиосистемы. При таком режиме работы системы не использовалась практически половина падающей солнечной энергии. Одинаковый результат был получен при различных значениях интенсивности падающего солнечного излучения в площади испытываемого гелиоколлектора. При дальнейших исследованиях работы гелиосистемы при насосной циркуляции теплоносителя был сделан вывод о том, что традиционная зависимость определения эффективности гелиоколлектора вполне справедлива, что подтвердилось результатами экспериментов.

Рис. 1. Результаты экспериментов при насосной циркуляции. 1 – 326 Вт/м²; 2 – 428 Вт/м²; 3 – 571 Вт/м².



Однако при испытаниях в таких же условиях гелиосистемы с естественной циркуляцией теплоносителя результаты экспериментов не подтвердили традиционную зависимость для определения эффективности гелиоколлектора. Поэтому был сделан вывод о том, что при естественной циркуляции теплоносителя использовать традиционную формулу некорректно, и в качестве определяющих параметров



эффективности гелиоколлектора должны быть использованы дополнительные величины.

Рис. 2. Результаты экспериментов при естественной циркуляции. 1 – 326 Вт/м²; 2 – 428 Вт/м²; 3 – 571 Вт/м².

Отопление усадебного дома тепловым насосом типа «воздух–вода»

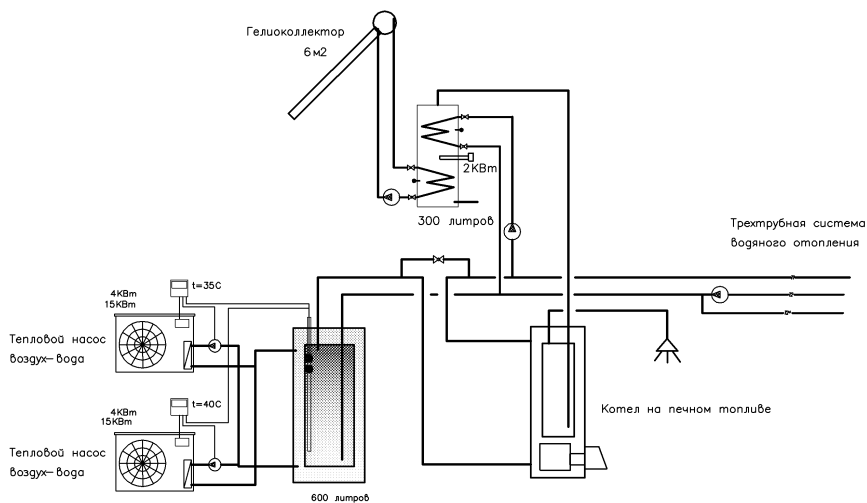
Покотиллов В.В., Липская С.А., Ларионенко К.В.

Белорусский национальный технический университет

Тепловые насосы типа «воздух-вода» могут работать при диапазоне температур от -20° до $+20^{\circ}\text{C}$, с коэффициентом мощности не менее 3,0. При производстве тепла 75% энергии берется из окружающей среды, а остальные 25% – это электрическая энергия, необходимая для работы компрессора теплового насоса.

Преимуществами использования теплового насоса являются: потребляются возобновляемые ресурсы (тепло окружающей среды); возможность совмещения отопления, охлаждения и нагрева воды; сокращение потребления энергии.

Мы предлагаем использование теплового насоса типа «воздух-вода» в комбинации с гелиоколлектором.



На рисунке показана принципиальная схема теплоснабжения, предлагаемая нами для снижения стоимости, повышения надежности работы и упрощения эксплуатации теплотребляющих систем усадебного дома.

Тепло- и массоперенос в пневмоопорных сооружениях

Акельев В.Д., Костевич М.Ф., Медведева-Липовка А.С.
Белорусский национальный технический университет

Пневматические строительные конструкции – мягкие оболочки, во внутреннем замкнутый объём которых воздухонагнетательными установками подаётся воздух, чем достигается их устойчивость и несущая способность. Различают два основных типа: воздухоопорные, в которых слабо сжатый воздух подаётся непосредственно под оболочку сооружения, и воздухоносимые, где сильно сжатый воздух наполняет только несущие элементы пневматических строительных конструкций.

Воздухоопорные оболочки устраивают однослойными и двухслойными (представляют собой оболочку в оболочке). В такой конструкции пространство между оболочками заполняется воздухом, что обеспечивает существенное снижение теплопотерь и соответственно расходы на отопление, а также защиту от образования конденсата на внутренней поверхности оболочки в холодное время и перегрева в жаркое время года. При снегопаде воздух между оболочками сдувается и вследствие этого обеспечивается подогрев наружной оболочки и таяние на ней снега. Большие поверхности оболочек воздухоопорных сооружений подвергаются солнечной радиации, с которой связано отопление, охлаждение и естественное освещение помещений под оболочкой. Эти задачи, в свою очередь, связаны с такими свойствами материалов оболочек, как отражение, поглощение и пропускание радиационных потоков, характеризующихся соответствующими коэффициентами, показывающими, какая доля солнечной энергии отражается оболочкой, поглощается ею или проникает сквозь нее. Существенной характеристикой также является паро- и воздухопроницаемость материала оболочек, когда возможно увеличение влажности в сооружении, образование конденсата на внутренней поверхности оболочек. Применение воздухоопорных сооружений во многих случаях связано с созданием в них нормируемых температурно-влажностных условий. Малая толщина однослойной оболочки воздухоопорного сооружения является причиной интенсивного охлаждения воздуха в помещении зимой, конденсатообразования, перегрева летом, которая требует нестандартного решения, поскольку имеет место температурный и влажностный градиент. Естественный температурно-влажностный режим данных сооружений имеет особенности, обусловленные специфическими свойствами их конструкций. Относительная влажность воздуха в таких сооружениях вследствие постоянного поступления в них наружного воздуха обычно мало отличается от атмосферной.

К вопросу обеспечения воздухообмена в помещениях при использовании современных энергоэффективных окон

Якимович Д.Д, Короткий В.Н, Черванева Е.А.
Белорусский национальный технический университет

Необходимости обеспечения притока наружного воздуха в помещения, с целью обеспечения воздухообмена, посвящено множество материалов. В качестве средств (или устройств) подачи воздуха в помещения с естественной вентиляцией, на сегодняшний день, используются следующие основные способы:

- подача воздуха через разгерметизированные оконные притворы (проветривание или микропроветривание);
- подача воздуха через клапана, установленные как в конструкции окон, так и непосредственно в наружных стенах;
- подача воздуха через систему каналов в оконной коробке из профиля ПВХ, с одновременным подогревом встречным тепловым потоком и последующей подачей через регулируемый клапан в верхней части оконного заполнения;
- подача воздуха через межрамное пространство в окнах с отдельными переплетами, с одновременным подогревом встречным тепловым потоком и последующей подачей через регулируемый клапан (клапана) в верхней части оконного заполнения.

Хотелось бы обратить особое внимание на последний способ подачи наружного воздуха. Этот способ вызывает особенный интерес, т.к. позволит, в отличие от других способов, обеспечить подачу больших объемов воздуха при малом аэродинамическом сопротивлении и, что самое примечательное, с одновременным подогревом наружного воздуха встречным тепловым потоком, т.е. окно становится помимо светопрозрачного заполнения еще и теплоутилизатором, т.к. для подогрева воздуха используется возвратное тепло, которое так или иначе было бы потеряно в окружающую среду через остекленную поверхность. В условиях натурного эксперимента подогрев наружного воздуха составил 15°C (с -5°C до +10°C). Изменения величины теплового потока через остекленную часть не произошло. Конструкция окна была следующей: наружная рама – с одинарным остеклением, внутренняя рама – с однокамерным стеклопакетом. Для определенной части населения хорошим аргументом при выборе окон будет тот факт, что окна такой конструкции уже используются в североевропейских странах. Так же дополнительным преимуществом окон является то, что для подогрева приточного наружного воздуха используется тепло, которое, так или иначе, теряется в окружающую среду.

Состояние ограждающих конструкций ледовых арен

Сомова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня в Беларуси эксплуатируется 29 ледовых арен, еще 3 в стадии строительства. И в каждом комплексе имеется проблема борьбы с образованием тумана и конденсацией влаги на ограждающих поверхностях.

Для того, чтобы избежать конденсации влаги на наружных ограждениях ледовой площадки при температуре поверхности льда -3°C , температура точки росы в помещении должна поддерживаться на уровне от $+4$ до 5°C . Температура воздуха в помещении ледового стадиона обычно варьируется от $+12^{\circ}\text{C}$ при отсутствии зрителей до $+18^{\circ}\text{C}$ при их наличии. Приведенное термическое сопротивление перекрытий должно быть не менее $5\text{ м}^2\text{К/Вт}$, для стен – не менее $4,2\text{ м}^2\text{К/Вт}$.

Для оценки состояния ограждающих конструкций необходимо определить тепловые потоки через ограждения, термическое сопротивление ограждений, температуру внутренней поверхности ограждающих конструкций и сравнить ее с температурой точки росы в условиях эксплуатации.

Определение величин тепловых потоков и температуры внутренней поверхности ограждений производилось с помощью тепловизионной съемки поверхностей ограждений, позволяющей рассчитать условия конденсации водяного пара на ограждающих конструкциях. Испытания проводились на 2-х ледовых аренах (ледовом дворце на ул. Притыцкого и ледовом дворце на проспекте Дзержинского, г. Минск). Из анализа тепловизионной съемки ограждений ледовой площадки на ул. Притыцкого следует, что основные места возникновения максимальных тепловых потоков соответствуют стыкам наружных сэндвич-панелей с перекрытием, места возможной конденсации влаги находятся на балках перекрытия. При температуре внутренней поверхности ниже $10,5^{\circ}\text{C}$ происходит образование тумана. На ледовой площадке дворца на пр. Дзержинского условия образования тумана находятся в более широком диапазоне температур внутренней поверхности ограждений из-за заниженного термического сопротивления перекрытия ледовой арены, полученное значение приведенного термического сопротивления не превышает $3,8\text{ м}^2\text{К/Вт}$, что недостаточно. На ледовой арене невозможно поддержание заданного влагосодержания в $4-5\text{ г/кг}$ и значения точки росы в $4-5^{\circ}\text{C}$ при нормируемой температуре внутреннего воздуха 12°C . Приходится поддерживать температуру в пределах $7-8^{\circ}\text{C}$; при более высоких температурах внутреннего воздуха образуется туман.

Влияние экранирования на снижение теплового потока через теплоизоляционный слой из микромодулей

Сизов В.Д., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В продолжение изучения возможности применения микромодулей в качестве теплоизоляционного слоя в конструкциях наружных ограждений исследований были проведены теоретические исследования теплопередачи через микромодули, дополненные экранами из алюминиевой фольги.

Общеизвестно, что при малой толщине воздушных прослоек конвективный перенос теплоты в них практически отсутствует. В этом случае теплопередача осуществляется излучением (q_p) и теплопроводностью (q_k).

Для расчета суммарной теплопередачи воспользуемся следующими данными: наружная температура – $6,9^\circ\text{C}$, температуры в слоях ограждения между микромодулями $t_1 = 17,17^\circ\text{C}$ и $t_2 = -5,42^\circ\text{C}$, толщина микромодуля слоя $\delta_r = 0,15$ м, $\lambda_r = 0,025$ Вт/м²°C. При этих исходных данных суммарный тепловой поток составляет

$$q_{\Sigma} = q_p + q_k = 6,64 \text{ Вт/м}^2.$$

При наличии между плоскостями двух экранов из алюминиевой фольги тепловой поток составит величину

$$q_{\text{общ}} = q'_{\text{рад}} + q_{\text{п}} = 0,96 + 3,76 = 4,72 \text{ Вт/м}^2.$$

Для расчетной температуры отопительного периода $t_n^{\text{о.п.}} = -1,6^\circ\text{C}$, температуры на поверхностях микромодуля составят $t_1 = 17,04^\circ\text{C}$, $t_2 = -0,57^\circ\text{C}$, а величины теплового потока будут равны соответственно 5,229 и 3,716 Вт/м².

При этом тепловом потоке термическое сопротивление микромодулей составит:

$$R = \frac{t_1 - t_2}{q} = \frac{17,04 + 0,57}{3,716} = 4,74 \text{ м}^2 \cdot \text{гр./Вт}, \text{ а без учета влияния экранов}$$

это же сопротивление составит: $R = \frac{17,04 + 0,57}{5,229} = 3,37 \text{ м}^2 \cdot \text{гр./Вт}$, т.е. тер-

мическое сопротивление увеличилось в $\left(\frac{4,74}{3,37}\right) = 1,4$ раза и толщину микро-

модулей можно уменьшить на величину $\delta = \lambda \cdot (R_1 - R_2) = 0,04 \cdot (6,08 - 4,32) = 0,07$ м и общая толщина конструкции может составить $\delta = 230$ мм вместо расчетной толщины в $\delta = 300$ мм.

Влияние примесей теплоотдающей жидкости на коэффициент теплопередачи в рекуперативных теплообменниках

Сизов В.Д., Тоболич В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Для использования тепловых ресурсов в учреждениях санаторного типа применяются различные схемы утилизации тепла с применением теплообменников и тепловых насосов. Наиболее простым является вариант утилизации тепла сточных вод в пластинчатых теплообменниках. Особенностью сточных вод лечебных корпусов санаториев и водолечебниц является высокая степень их жесткости (это вода от минеральных ванн и хлорированная вода бассейнов).

Железо, медь и марганец обладают высокой степенью жесткости, но присутствуют в воде в достаточно малых количествах. Кальция и магния в воде присутствует гораздо больше. Проходящая через различные устройства жесткая вода, особенно подогретая, вызывает выделение на внутренних поверхностях теплообменного оборудования твердого, трудноотделимого осадка - накипи (водного камня). Слой накипи значительно ухудшает теплообмен. Отложения имеют термическое сопротивление, значение которого прямо пропорционально толщине слоя накипи.

Осаждаясь, накипь также меняет шероховатость поверхности, тем самым, меняя гидродинамические свойства потока. Течение жидкости у поверхности теплообмена становится все более ламинарным. В ламинарном потоке, теплопередача происходит за счет теплопроводности (гораздо более эффективна теплопередача в турбулентном потоке, там она осуществляется также и за счет конвекции).

При турбулентном течении число Нуссельта это функция от критерия Рейнольдса $Nu = f(Re)$, и коэффициент теплоотдачи связан с гидравлической вязкостью потока: $\alpha = f(\nu)$. Гидродинамическая вязкость потока ν зависит от физико-химических свойств жидкости. Чем большая концентрация примесей солей в жидкости, тем большая ее вязкость, и более затруднены условия теплообмена в жидкости.

Коэффициент теплоотдачи α имеет повышенные значения на начальном участке течения и далее снижается до некоторого постоянного значения, определяемого только физическими свойствами жидкости.

Таким образом, наличие большого количества примесей в жидкости оказывает негативное влияние на теплообмен. Кроме того, соли формируют агрессивную среду, приводя к очаговой коррозии. Все это диктует необходимость тщательной обработки (очистки) воды, до входа ее в теплообменное оборудование и своевременную очистку теплообменников.

Физико-математическая модель течения влажного насыщенного пара с учетом степени сухости.

Кудрявцев П.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается равновесное движение сжимаемой двухфазной однокомпонентной смеси в наклонном теплоизолированном трубопроводе при наличии теплообмена с окружающей средой. В качестве исходных уравнений используется система одномерных дифференциальных уравнений сохранения массы, закон изменения импульса (второй закон Ньютона) и сохранения энергии (первое начало термодинамики). На их основании выводится уравнение падения давления по длине трубы в зависимости от степени сухости (рассмотрен прямой участка трубопровода).

После на основании закона сохранения энергии, выражений для изменения энтальпии и потенциальной энергии за контрольный промежуток времени, изменения кинетической и потенциальной энергии получаем выражение для падения температуры по длине трубопровода в зависимости от степени сухости.

Полученная система из двух уравнений представляет собой систему одномерных дифференциальных уравнений, описывающих процесс движения двухфазной смеси в трубопроводе постоянного диаметра при теплообмене с окружающей средой. Эта система дополняется расчетными соотношениями для теплофизических свойств жидкой и газовой (паровой) фаз – энтальпии, плотности, вязкости, поверхностного натяжения и другими, а также формулами для расчета коэффициентов гидравлического сопротивления, истинных объемных концентраций фаз и коэффициента теплопередачи от потока к окружающей среде. При этом величины истинного объемного содержания для каждой из фаз (жидкой и газообразной) и коэффициента Дарси следует определять в зависимости от структуры течения, а коэффициент теплопередачи – в зависимости от конструкции изоляции и способа прокладки трубопровода.

Решение полученной системы для конкретного случая достигается численными методами. В качестве такового выбран метод последовательных приближений – значение величины на последующем участке записывается через рекуррентное соотношение.

Перед началом расчета задаются точностью, после чего значения давления и энтальпии, отличающиеся от полученных в предыдущем приближении на меньшую величину, являются решением системы уравнений и используются во втором приближении для расчета параметром последующего участка.

Филидович А.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на территории Республики Беларусь функционирует система газопроводов, которая включает в себя 7 магистральных трубопроводов, 235 газораспределительные станции, а также Осиповичское, Прибугское и Мозырское подземные хранилища газа (ПХГ).

В газовых магистралях, проходящих по территории Беларуси, природный газ транспортируется под давлением 35-55 атмосфер в зависимости от удаления от компрессорной станции. Столь высокое давление газа в магистралях принимается из чисто экономических соображений в целях достижения оптимального соотношения между пропускной способностью газопровода и расходом энергии на перекачку газа. При этом объем потребления электроэнергии составляет около 170 млн. кВт.ч в год.

Для поставки газа непосредственно потребителю необходим обратный процесс, редуцировать газ с магистрального давления 35-55 атмосфер до давления 3-12 атмосфер. Снижение давления газа от магистрали до потребителя в настоящее время на всех ступенях осуществляется путем дросселирования с полной потерей избыточной механической энергии, ранее затраченной на сжатие газа в компрессорах. Но ее можно использовать для получения электроэнергии и холода. Многие европейские успешно используют данную технологию, устанавливая на газопроводах-отводах, параллельно действующим газораспределительным станциям (ГРС), турбодетандерные установки. По конструкции они представляют собой одноили многоступенчатую турбину с неподвижными направляющими соплами и подвижными лопатками, расположенными на вращающемся роторе. Будучи соединенными с электрогенератором они позволяют получать электроэнергию и промышленный холод.

В Республике Беларусь эта технология используется на энергоисточниках ГПО «Белэнерго»: Минской ТЭЦ-4, Гомельской ТЭЦ-2, Лукомльской ГРЭС. В тоже время, масштабы газификации позволяют широко применять турбодетандерные установки, так как газопроводов-отводов с установленными на них ГРС на территории Республики Беларусь насчитывается 335 единиц. По выполненным оценкам ресурс внедрения детандергенераторов в Беларуси составляет более 100 МВт, что равносильно величине в 43 тыс. тонн условного топлива в год.

Автоматизированные системы отопления с естественной циркуляцией теплоносителя

Ковшер М.А.

Белорусский национальный технический университет

Системы отопления с естественной циркуляцией теплоносителя не находят на сегодняшний день широкого применения в строительстве ввиду ограниченности их применения. Системы отопления, где движущей силой выступают природные физические законы, следует применять в небольших домах усадебного типа с тепловой нагрузкой до 50 кВт. Радиус действия систем составляет до 30 метров.

В наше время современных технологий полностью автоматизированные системы отопления с насосной циркуляцией теплоносителя являются приоритетными. Но мы не задумываемся, что зависимость от бесперебойного питания электрической энергии возрастает всё больше. Также большая удалённость коттеджей от центров городов с такими системами ставит большие вопросы в обеспечении быстрого и качественного сервиса автоматизированных систем. Применение систем отопления с естественной циркуляцией теплоносителя не решит сразу все эти проблемы, но уже обеспечит меньшую энергозависимость, и в случае наступления неблагоприятных явлений (обесточивание электрических сетей из-за природных катаклизмов и т.п.) обеспечит комфортные параметры микроклимата в наших домах.

Преимущества систем отопления с естественной циркуляцией теплоносителя:

- саморегулирование;
- комфорт, отсутствие шума;
- сравнительная долговечность;
- надёжность и гибкость;
- применение с альтернативными источниками энергии;
- энергоэффективность.

Стоит отметить, что системы отопления с естественной циркуляцией теплоносителя просты и надёжны в эксплуатации, долговечны в работе, а применение их в комбинации с альтернативными источниками энергии позволяет обеспечивать дому высокую энергоэффективность и позволяет свести к минимуму риски, связанные с отсутствием электричества, тепла и холода. В то же время бесшумность работы системы и её саморегулирование в купе с работой автоматических регуляторов позволяет обеспечить комфортные параметры микроклимата в зависимости от наружной температуры и пожеланий жильцов дома.

К вопросу проектирования дымовых труб

Питиримов В. В.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование и строительство дымовых труб на сегодняшний день осуществляется в соответствии с техническими нормативными правовыми актами и пособием «Тепловой расчет котельных агрегатов» (Нормативный метод) под редакцией Н.В. Кузнецова. При проектировании необходимо учитывать комплекс теплофизических характеристик (температура точки росы удаляемых дымовых газов, коэффициент избытка воздуха, коэффициенты теплоотдачи у внутренней и внешней поверхностей дымовой трубы), которые определяют условия и срок эксплуатации дымовых труб. Следует отметить, что существующая методика расчета не учитывает влияние температуры дымовых газов на коэффициент теплопроводности материалов входящих в состав конструкции дымовой трубы.

Для определения характера влияния и свойств удаляемых дымовых газов на материалы дымовой трубы необходимо знать состав и массовый объем продуктов сгорания. В работе представлены результаты определения массовых составов дымовых газов в соответствии с действующими ТНПА при сжигании природного газа, дров и мазута топочного из расчета тепловой мощности котельного агрегата в 1,0 МВт.

Предложена и рассмотрена конструкция дымовой трубы, которая состоит из стеклопластика (внутренний слой), утеплителя из каменной ваты оштукатуренного по металлической сетке с последующей окраской в 4 слоя.

Представлены результаты (2 варианта) теплотехнических расчетов данной конструкции дымовой трубы. 1 вариант: коэффициент теплопроводности теплоизолирующего материала не зависит от температуры дымовых газов и является величиной постоянной. 2 вариант: коэффициент теплопроводности зависит от температуры дымовых газов и выражен определенной зависимостью.

По результатам расчетов построены графики распределения температурных полей по сечению дымовой трубы для 2-х вариантов. Построены графики распределения парциальных давлений водяного пара. Показано, что в предлагаемых конструкциях дымовых труб отсутствуют зоны конденсации, сделан подход к определению толщины эффективного слоя теплоизоляции. В дальнейшем необходимо провести исследования и разработать рекомендации по проектированию и строительству дымовых труб из стеклопластика.

Планирование эксперимента в исследованиях по обезжелезиванию воды

Михайлик Л.Г., Вабищевич Д.Г.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ в течение ряда лет проводятся исследования по обезжелезиванию воды фильтрованием с использованием математического планирования эксперимента, что позволяет оптимизировать основные технологические параметры процесса. При двухфакторном эксперименте факторами варьирования могут быть, например, исходное содержание железа и скорость фильтрования при одинаковой высоте слоя загрузки. Функцией отклика является остаточное содержание железа. Реализуется ортогональное центральное композиционное планирование второго порядка. Пример характеристик плана приведен в таблице.

Таблица – Основные характеристики плана эксперимента

Область экспериментирования (условные обозначения)	Исходное содержание железа, мг/л	Скорость фильтрования, м/ч
Основной уровень (0)	2	5
Интервал варьирования (I)	1	2
Верхний уровень (+1)	3	7
Нижний уровень (-1)	1	3

В каждом опыте должно быть не менее двух повторных измерений. Математическая обработка опытных данных с целью получения уравнения регрессии и проверки его адекватности осуществляются по [1,2]. Полный план эксперимента состоит из девяти опытов со строго определенными комбинациями факторов варьирования и их значений в соответствии с условиями, приведенными в таблице. Уравнение регрессии представляет собой многочлен второй степени:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{12} X_1 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2,$$

где X_1 и X_2 – факторы варьирования (исходное содержание железа и скорость фильтрования воды);

B_0 – свободный член;

$B_1, B_2, B_{12}, B_{11}, B_{22}$ – коэффициенты.

Полученное уравнение позволяет определить область оптимума.

Литература:

1. Саутин С.И. Планирование эксперимента в химической технологии. – Л.: Химия, 1975.

2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М., 1971.

УДК 624

Фильтрующие материалы в водоподготовке

Михайлик Л.Г., Вабищевич Д.Г., Кулешова Л.В.
Белорусский национальный технический университет

Самый распространенный метод водоподготовки – фильтрование, при котором вода очищается от содержащихся в ней загрязнений при прохождении через слой фильтрующего материала. В зависимости от происхождения фильтрующие материалы подразделяются на природные, видоизмененные природные и синтетические. К материалам природного происхождения относятся кварцевый песок, колотый гранит, антрацит и др. Видоизмененные получают в результате специальной обработки природных материалов, например, путем обжига получают полуобожженный доломит, обработкой угля высокими температурами и давлением – активированный уголь, нанесением адсорбционно-каталитической пленки с помощью химических реагентов – модифицированные материалы; высокотемпературной обработкой глины – керамзит и т.д. Искусственные фильтрующие материалы являются продуктом химического синтеза, например, иониты, полимерные материалы.

Наиболее применяемым в мире фильтрующим материалом является кварцевый песок, к которому предъявляются достаточно жесткие условия по механической прочности, химической стойкости, а также по гранулометрическому составу. В нашей стране месторождений песка такого качества практически нет, а с загрузками из других пород имеются иные трудности, например, доломит «цементируется», затрудняя промывку фильтров и уменьшая их пропускную способность.

На кафедре «Водоснабжение и водоотведение» в течение длительного времени проводятся исследования по изучению различных фильтрующих материалов. В частности, изучение брусита выявило возможность с его помощью не только удалять железо, но и повышать рН воды и ее щелочность; выявлен диапазон температур для полуобжига доломита, в результате которого он резко улучшает свои технологические свойства. Одновременно выявлено, что полимерная плавающая загрузка работает недостаточно эффективно. Загрузка *АкваМандикс* при своей высокой способности удалять железо и марганец в результате промывки дает промывные воды черного цвета из-за большого содержания марганца, что серьезно усложняет эксплуатацию. Проведен цикл лабораторных исследований по обезжелезиванию воды фильтрованием через цеолитовую загрузку, что

выявило ее эффективность. Предусмотрены полупроизводственные исследования на действующем водозаборе в г. Минске для уточнения технологических параметров обезжелезивания и обезмарганцевания воды.

УДК 621.31

Оценка напряженно-деформированного состояния внутренней защитной оболочки АЭС

Повколас К.Э., Маркевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Локализация радиоактивного материала в пределах АЭС достигается посредством нескольких барьеров и уровней. Одним из главных барьеров являются строительные конструкции герметичного ограждения реакторного отделения – защитные оболочки.

Для оценки напряженно-деформированного состояния внутренней защитной оболочки при различных условиях её эксплуатации выполнены расчеты двумя методами:

- с использованием программного комплекса LIRA-9.6;
- с использованием разработанной авторами на языке Csharp программы "CONTAINMENT".

Особенности и новизна разработанной программы – в учете всех конструктивных особенностей защитной оболочки реакторного отделения АЭС проекта «АЭС-2006», состоящей из цилиндрической части и полусферического купола.

Для оболочек вращения, нагруженных осесимметричной нагрузкой, наиболее характерным является безмоментное напряженное состояние. В сечениях оболочки возникают только меридиональные и кольцевые усилия. Краевой эффект возникает в местах сопряжения цилиндрической части с днищем, а также купольной части с цилиндрической. Краевая задача решена методом сил.

Общее решение задачи получено путем суммирования результатов решения по напряженному состоянию безмоментному и вызванному краевыми силами.

Расчет напряженно-деформированного состояния защитной оболочки АЭС, выполненный по программе "CONTAINMENT", дает результаты, близкие к полученным при использовании программного комплекса "LIRA", основанного на методе конечных элементов (разброс до 17 %), что приемлемо для практических расчетов.

Разработанная программа имеет доступный и простой интерфейс и позволяет быстро выполнять огромные объемы вычислений.

Энергоэффективные технологии

Равновесный состав продуктов торрефикации биомассы и его зависимость от режимных параметров

Пальченко Г.И., Хутская Н.Г., Лейченко Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Соотношение массы влаги W , включая собственную влагу древесины (жидкость) и водяной пар (газовый агент конверсии), и горючей массы древесины B варьировалось в расчетах в пределах $W/B = 0-1.5$, что соответствует влажности древесины на рабочую массу $W^p = 0-60\%$. Исходная температура влажной древесины принималась 300 К, пара – 573–773 К.

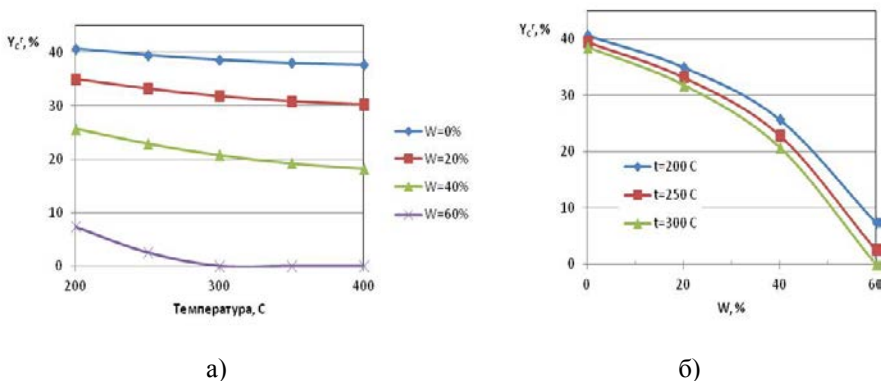


Рисунок 1– Влияние влажности сырья (а) и температуры (б) на массовый выход твердого углерода (на горючую массу) при торрефикации древесины при давлении 0.12 МПа

На рисунке 1 приведены расчетные значения массового выхода твердого (связанного) углерода (на горючую массу исходной древесины)

$$Y_C^r = \frac{X_C M_C (B + W)}{\sum X_i M_i B}, \quad (1)$$

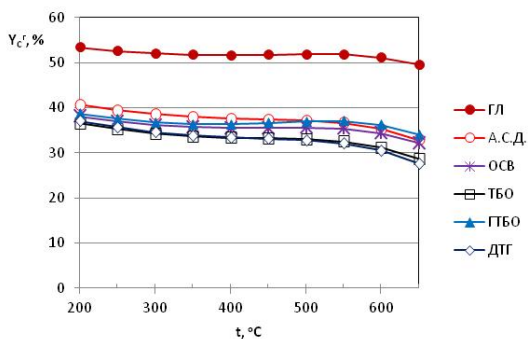
где B и W – горючая масса древесины и суммарная масса влаги в исходной смеси, кг; X_C и X_i – мольные доли твердого углерода и i -того компонента в продуктах конверсии. Как видно из рисунка 1, выход твердого продукта, максимальный для а.с.д. ($W = 0$) – 40–38 %, слабо снижается с ростом температуры и давления и резко – с увеличением влажности сырья. При $W \geq 60\%$ связанный углерод в продуктах конверсии практически отсутствует, что можно связать с паровой газификацией углерода.

Равновесный состав продуктов термохимической конверсии углеродсодержащих отходов

Пальченко Г.И., Хутская Н.Г.

Белорусский национальный технический университет

Приведены результаты расчетов равновесного состава продуктов торрефикации и пиролиза органических отходов в зависимости от основных режимных условий процесса – температуры, давления и влажности. Расчеты выполнены с помощью программы *NASA CEA* методом минимизации свободной энергии Гиббса для равновесной смеси газовых и конденсированных компонентов. Выход углерода при пиролизе горючих твердых бытовых отходов (ГТБО) с влажностью 8% выше, чем из абсолютно сухих твердых бытовых отходов (ТБО), при этом низшая теплота сгорания пиролизного газа соответствует среднекалорийному газу. Углекислотное дутье способно повысить выход углерода до 45–55 % за счет снижения теплотворной способности газа (ниже 5 МДж/м³ при массовой доле CO₂ в реагирующей смеси 60 %). На рисунке 1 проведено сравнение массового выхода твердого углерода (на горючую массу) для условий сухого пиролиза (в отсутствие парового и углекислотного агентов) всех исследованных видов сырья при давлении, близком к атмосферному ($p = 0.12$ МПа). Из этих данных видно, что гидролизный лигнин (ГЛ) является наиболее перспективным видом сырья для производства твердого биотоплива, способным обеспечить выход связанного углерода 51 ± 2 % во всем исследованном диапазоне температур. Это на 10–15 % выше, чем из абсолютно сухой древесины и на 15–20 %



выше, чем для остальных топлив.

Рис.1 - Сравнение массового выхода твердого углерода (на горючую массу) при сухом пиролизе исследованных видов топлива при $p = 0.12$ МПа

ОСВ – осадки сточных вод, ГТБО – гранулированные

твердые бытовые отходы, ДТГ – древесные топливные гранулы, ГЛ – гидролизный лигнин, А.С.Д. – абсолютно сухая древесина ($W=0$).

Влияние зазора на аэродинамическое сопротивление последовательно расположенных плохобтекаемых объектов

Чорный А.Д.¹, Дударева И.Г.²

¹Белорусский национальный технический университет, ²Белорусский государственный университет

В настоящей работе рассматривается задача, связанная с определением влияния величины зазора на аэродинамические характеристики плохобтекаемых объектов в виде параллелепипедов, установленных на поверхности последовательно друг за другом. Изучение производится методами компьютерного моделирования трехмерных пристеночных течений с учетом их турбулентного характера, наличия пограничных слоев у поверхностей и вихревых структур как в зазоре, так и в турбулентном следе.

Результаты рассмотренной задачи важны с точки зрения решения прикладной задачи по оценке ситуаций движения автотранспортных средств (АТС) в тандеме, в плотном дорожном потоке, а также при проектировании компоновок автопоездов. Известно, что расход топлива АТС связан с механическими, тепловыми и гидравлическими потерями в двигателе и трансмиссии, с преодолением сопротивления качению колес, аэродинамического сопротивления, а также расходом топлива, связанного с дорожным маршрутом (подъем, спуск, повороты) [1; 2].

Для грузового автомобиля относительные расходы топлива по видам сопротивления распределяются следующим образом: 38% и 10% – на преодоление сопротивления в двигателе и трансмиссии, соответственно; 28% – на преодоление сопротивления качению колес; 24% – на преодоление аэродинамического сопротивления [2].

Поэтому поиск путей снижения аэродинамического сопротивления АТС и формирование оптимальных форм их аэродинамической конструкции в настоящее время является по-прежнему актуальным.

Литература:

1. Евграфов А.Н., Высоцкий М.С. Аэродинамика колесного транспорта – Минск: НИРУП "Белавтотракторостроение", 2001. – 368 с.
2. Техническая эксплуатация автомобилей : Учебн. для вузов / Е.С. Кузнецов, В. П. Веронов, А. П. Болдин и др.; Под ред. Е. С. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1991. – 413 с.

Потенциал для развития солнечной энергетики в Беларуси

Червинский В.Л., Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

За последние годы можно наблюдать рост интереса к возобновляемым источникам энергии. Но интерес носит чаще всего лишь теоретический характер: окупится ли проект, достаточно ли у нас в Беларуси солнечной энергии? Если сравнить карту суммарной годовой инсоляции Беларуси с аналогичными картами стран Центральной и Западной Европы, то можно сделать вывод о сходстве климатических условий нашей республики и, к примеру, Германии, Чехии, Польши – стран, где эффективность применения гелиоэнергетики доказана практическим опытом не одного года. Что касается сравнения количества солнечных дней (часов в год), то здесь мы имеем даже несколько лучшие показатели по отношению к вышеуказанным странам. Поступление солнечной энергии увеличивается в период с апреля по сентябрь. В этот период возрастает продолжительности дня и число ясных дней, что увеличивает приход прямой радиации. Установки для нагрева воды могут использовать не только прямое солнечное излучение, но также и рассеянное, когда солнечные диск закрыт облаками. Её мощность значительно ниже, но этим значением энергии нельзя пренебрегать. Рассеянное излучение даёт дополнительные часы полезной работы установки. Для рассеянного излучения характерно его относительное постоянство в течение года. Если прямая радиация почти в десять раз изменяет своё значение за 12 месяцев,



то рассеянная – чуть больше, чем в два. На диаграмме можно проследить за соотношением поступающей радиации на территорию республики в течение года.

Рисунок 1. Мощность прямого и рассеянного излучения

Применение мембранного газоразделения при получении биогаза для повышения его качества

Милаш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Анаэробная переработка отходов животноводства и растениеводства приводит к минерализации азота и фосфора – основных слагаемых удобрений, обеспечивая их лучшую сохранность, тогда как при традиционных способах приготовления органических удобрений методами компостирования безвозвратно теряется от 30 до 40% азота.

Для стабилизации состава получаемого биогаза и доведение его до качественного, самостоятельного альтернативного источника энергии возможно при использовании мембранного газоразделения, что позволит расширить сферы применения биогаза. Метод разделения, основанный на использовании селективных мембран, находит применение в технологических схемах биогазовых установок.

Мембранные технологии позволяют качественно извлекать из газовой смеси заданный компонент, используя мембранную абсорбцию в противоточном режиме между жидкой и газовой фазами разделенных мембраной в мембранном контакторе. К тому же мембранные методы в большинстве случаев являются более дешевыми и экологически чистыми.

В настоящее время мембранное разделение является одной из наиболее интенсивно развивающихся отраслей технологии разделения газов. Наиболее перспективным представляется использование мембранной абсорбции для очистки газовых смесей от кислых примесей, осушки воздуха, а также для оксигенации, озонирования и удаления газов из жидкостей.

В связи с этим разработка и исследование технологии для анаэробной переработки органических отходов с применением очистки биогаза методом мембранного газоразделения и получения смеси газов, обогащенной метаном, является актуальной задачей, решение которой будет способствовать совершенствованию технологий получения биогаза.

Применение моделирования процесса массопереноса в жидкой и газовой фазах мембранно-абсорбционной газоразделительной системы позволят оптимизировать параметры ее работы в составе системы комплексной переработки органических отходов.

Литература:

1. Повышение эффективности биогазовых установок за счет применения мембранно-абсорбционных газоразделительных систем: Автореф. дисс. / Шамшуров, Д. Н.

Повышение эффективности работы энергетического оборудования

Милаш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из направлений повышения энергоэффективности в стране является повышение эффективности потребления энергоресурсов на тепловых электростанциях и в котельных для производства электрической и тепловой энергии.

Значительный потенциал повышения эффективности работы тепловых электростанций видится в правильном выборе состава работающего оборудования для конкретных нагрузок диапазона эксплуатации электростанций, с последующим оптимальным распределением загрузки этого оборудования.

К примеру, на Минской ТЭЦ-3 за счет оптимизации состава работающего оборудования, перераспределения отопительной нагрузки между городскими источниками удельный расход топлива на производство электроэнергии снижен с 208,3 грамма условного топлива на один киловатт-час до 187,2 грамма. Удельный расход условного топлива на производство тепла снижен с 175,37 килограмма условного топлива на 1 Г кал до 170,89 килограмма.

Решение поставленной задачи сводится к определению для всего возможного диапазона отпуска тепла и электроэнергии от ТЭС отдельных поддиапазонов, в пределах которых требуется определить оптимальные составы работающего оборудования с учетом:

- величины отопительной и электрической нагрузки;
- величины начальных и конечных параметров пара;
- загрузки пиковых источников отпуска тепла и электроэнергии;
- особенностей схемы отпуска тепла и электроэнергии;
- особенностей схемы подачи пара на собственные нужды;
- распределения загрузки оборудования по отпуску тепла паром 8 и 13 атмосфер;
- теплового и электрического графиков работы ТЭЦ.

С использованием данного подхода имеется возможность провести дальнейшую оптимизацию хозяйственной деятельности энергетических объектов.

Использование такого подхода позволит целенаправленно повысить эффективность производства на предприятиях энергетической отрасли, планировать и оптимизировать производство энергии в филиалах и приобретать ее у избыточных энергосистем.

Использование теплоты грунта для теплоснабжения подземных сооружений

Янцевич И.В.

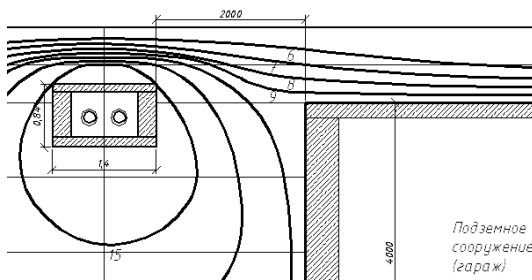
Белорусский национальный технический университет

При подземной прокладке трубопроводов тепловых сетей в грунте возникает температурное поле, значение которого в каждой точке можно определить по уравнению

$$t_{x,y} = t_0 + (t_{в.кан} - t_0) \frac{1}{2\pi\lambda_{зп}} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}}$$

Средняя за отопительный период температура грунта на глубине прокладки трубопроводов 1,6 м для областей Республики Беларусь составляет 4-5°C. Среднегодовые температуры воды в подающем и обратном трубопроводе водяных тепловых сетей составляют соответственно 65 и 50°C при температурном графике 95-70°C. Зная температуру в каждой конкретной точке сечения, можно оценить возможность использования нагретого грунта в полезных целях, например для поддержания требуемой температуры в каком-либо подземном или полуподземном сооружении.

Благодаря смежному расположению подземного сооружения и теплотрассы (рисунок), учитывая минимально допустимые расстояния между теплотрассой и сооружением, можно повысить температуру воздуха в помещении на 4°C, или сэкономить энергию, требуемую для поддержания в нем более высокой температуры. При утилизации теплоты, теряемой теплопроводами, возможно использование тепловых насосов.



Литература:

1. Голяк С.А., Сикерин И.Е. Оценка температурных полей подземных теплопроводов с целью утилизации теряемой теплоты.
2. Методика расчета потерь тепловой энергии в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации. – Мн., 2006.

Повышение энергоэффективности здания за счет системы естественного освещения

Янцевич И.В., Шандроха-Янцевич А.Э.
Белорусский национальный технический университет

Преимущество дневного света – его доступность и отсутствие стоимости, главная же проблема заключается в том, чтобы управлять им эффективно. Системы естественного освещения должны реализовать: передачу максимального количества дневного света в помещение, его равномерное распределение и практически полный отказ от искусственного освещения в светлое время суток; ограничение поступления излишков солнечного излучения, приводящих к чрезмерной тепловой нагрузке в помещениях здания; снижение слепящего воздействия света; сохранение визуального контакта человека с внешней средой.

В большинстве случаев при естественном освещении главной проблемой является избыток дневного света. Стандартные методы защиты помещения от яркого света снижают слепящее воздействие света от окна, но при этом уменьшается уровень естественного освещения внутри комнаты.

Защитить помещение от прямых солнечных лучей и перенаправить рассеянный дневной свет вглубь помещения позволяют разнообразные интеллектуальные системы: установка ламелей, использование материалов с высокой степенью отражения, устройство атриума в центре здания, установка на крыше призматических систем или гелиостатов, использование световых проемов с подвижным элементом, применение световой трубы для освещения подземных сооружений и др.

Эффективное естественное освещение позволяет снизить до минимума дополнительное искусственное освещение, уменьшить в летний период энергопотребление системы кондиционирования, устраняющей избытки теплоты внутри помещения.

Это, в свою очередь, приводит к экономии электроэнергии, т.е. ограничивает поступление в атмосферу углекислого газа, выбрасываемого при выработке электричества.

Литература:

1. Данлер А. Основные принципы конструирования и расчета естественного освещения /А. Данлер, Я. Мазуренко. – Современная светотехника. – 2009 – №1. – С. 24-26.
2. Кириленко А.И. Энергоэффективное освещение/ А.И. Кириленко, И.В. Янцевич; Методическое пособие к лекционному курсу «Основы энергосбережения». – Мн.: БГПА 2000. – 27 с.

Исследование форма капли магнитной жидкости на пластине

Баштовой В.Г., Аль-Джаиш Таха

Белорусский национальный технический университет

Представленная работа посвящена изучению формы поверхности капли магнитной жидкости и ее распаду во внешнем однородном магнитном поле. В ходе поведения экспериментальных исследований использовались магнитные жидкости на основе керосина МК-52 и МК-72 с намагниченностью насыщения 52 и 72 кА/м. При проведении экспериментов величина напряженности магнитного поля во времени оставалась постоянной, а изменялся объем капли магнитной жидкости. На горизонтальной поверхности в однородном поле фиксированной величины шприцом генерировалась капля магнитной жидкости некоторого начального объема V_0 . После этого объем капли постепенно увеличивали до некоторой критической величины, при которой происходил распад капли на два независимых объема. Форма капли фиксировалась фоторегистрацией. Объем капли оставался постоянным, изменялась величина напряженности магнитного поля. На горизонтальной поверхности генерировалась капля некоторого объема в магнитном поле с начальной величиной напряженности поля H_0 . Для каждого объема изменялась величина напряженности поля до тех пор, пока не происходил распад капли на два независимых объема. Эксперименты показали, что распад капли наблюдается как при увеличении, так и при уменьшении поля до некоторого нижнего и верхнего критического значения. В результате эксперимента получены зависимости высоты капли жидкости от критических значений напряженности магнитного поля H . Полученные зависимости представлены на рисунке 1.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

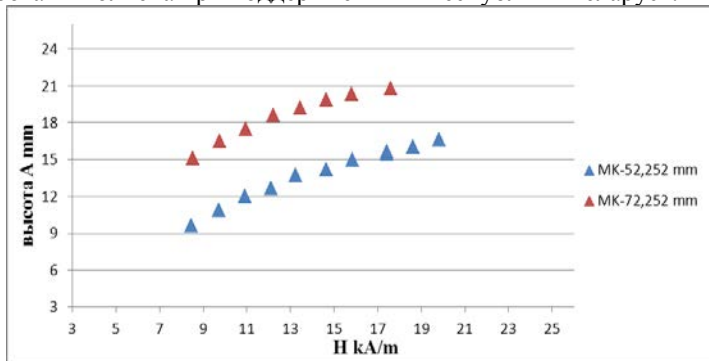


Рисунок 1. Сравнение высоты капли магнитной жидкости

Зависимость выхода твердого углеводорода от температуры в реакторе и времени протекания процесса пиролиза древесины под давлением

Г.И. Пальченок¹, Н. Г. Хутская¹, С.В. Василевич², Н.С. Лейченок¹

¹Белорусский национальный технический университет,

²РНУП «Институт энергетики НАН Беларуси»

Экспериментальная установка представляет собой стальной цилиндрический реактор ($l = 200$ мм, $d_{\text{вн}} = 50$ мм), помещенный в муфельную печь с системой контролируемого разогрева. Внутри реактора помещается древесное сырье, к реактору крепится предохранительный клапан, который соединен с системой отвода газов.

В результате ряда проведенных экспериментов была установлена зависимость выхода твердого углерода (на сухую массу) от продолжительности пиролиза и от температуры (Рисунок 1). Из графика видно, что при среднем давлении 0,5 МПа максимальный выход твердых продуктов пиролиза составляет 42 – 44,7 % при температурах 250 – 350 °С [1]. Это на 5 % больше, чем при пиролизе древесины при давлении 0,7 – 1 МПа [2]. Снижение давления и сокращение времени протекания пиролиза (до 1 часа) не влияют на массовый выход твердых продуктов пиролиза.

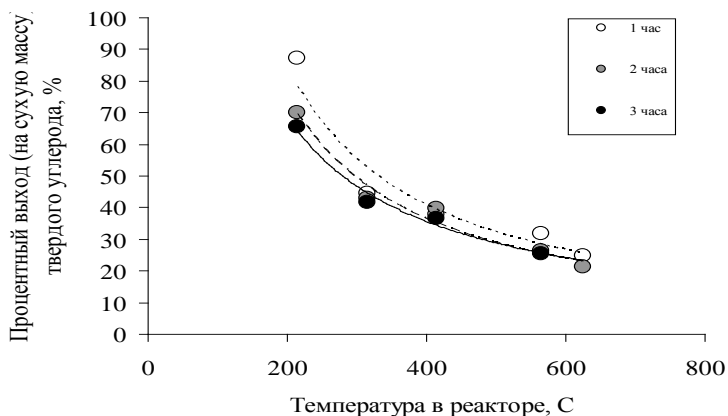


Рисунок 1

Литература:

1. Заявка на изобретение «Способ получения древесного угля» № а 2012 1781 от 20.12.2012;
2. Patent 5,551,958 US 1996 / М. J. Antal, Jr. Process for Charcoal production from woody and herbaceous plant material.

Моделирование магнитожидкостной опоры

Баштовой В.Г., Климович С.В. Моцар А.А., Рекс А.Г.
Белорусский национальный технический университет

Универсальным объектом для создания магнитожидкостных виброзащитных устройств может служить капля магнитной жидкости с находящимся внутри нее источником магнитного поля (постоянным магнитом или электромагнитом).

Такая капля является устойчивой благодаря притяжению магнитной жидкости к магниту, обладает жесткостью, т.е. собственной частотой колебаний, легко перемещается в пространстве и может располагаться в зазорах различной конфигурации. Кроме того, рассматриваемая система позволяет легко осуществлять управление ее перемещением с помощью внешних воздействий, обеспечивает диссипацию энергии при ее движении в каналах за счет вязкостных свойств и способна нести значительную нагрузку (порядка 10^4 Н/м²), определяемую характеристиками магнита и магнитной жидкости. Перечисленные свойства рассматриваемой системы позволяют использовать ее в качестве упруго-демпфирующего элемента виброзащитных устройств, а также в качестве элементов магнитожидкостных опор и подвесов.

В ходе работы осуществлялось моделирование магнитожидкостной опоры. Капля магнитной жидкости, покрывающая постоянный магнит, помещалась между двумя горизонтально расположенными плоскими пластинами. Одна из пластин была жестко закреплена, вторая имела возможность совершать перемещение в вертикальной плоскости под действием внешней воздействующей силы. В рассматриваемом случае для перемещения пластины ее нагружали грузами. Перемещению пластины препятствовала объемная магнитная сила, уравнивающая внешнюю силу (силу тяжести грузов). Перемещение пластины ставилось в соответствие силе тяжести. В эксперименте использовался набор жидкостей с различной величиной намагнитченности насыщения, кроме того варьировался объем капли жидкости.

Результаты экспериментов позволили определить максимальную нагрузку, которую способна нести рассматриваемая система, а также рассчитать жесткость системы магнит-магнитная жидкость.

Результаты исследований могут быть полезны для разработки демпфирующих устройств, опор и подвесов на основе магнитных жидкостей.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Исследование влияния магнитофореза и броуновской диффузии на работу магнитожидкостного устройства

Рекс А.Г., Климович С.В.

Белорусский национальный технический университет

Для исследования процессов магнитофореза и броуновской диффузии в магнитной жидкости (МЖ)*, была взята модель магнитожидкостного опоры-демпфера (МОД) как устройства, в котором данные процессы, происходящие во времени в МЖ, влияют на эффективность его работы. Исследования выполнены на модели МОД, приведенной, на рисунке 1. Кювета с магнитной жидкостью на основе трансформаторного масла Мтр-39 (2), расположена на основании (1), в кювете находится постоянный феррит-бариевый магнит (3) марки 2БА геометрическими размерами $10 \times 20 \times 5$ мм, с напряженностью магнитного поля $H_{\max} = 61,7$ кА/м и градиентом поля $grad H = 10687,1$ кА/м². К магниту прикреплен поршень из немагнитного материала (4) с площадкой, на которую устанавливался вес набором гирь (7), поршень проходит через направляющие, закрепленные на крышке кюветы (6). Регистрация положения магнита в объеме МЖ осуществлялось измерением положения координаты вершины маяка (5) закрепленного на поршне, катетометром КМ-8 (8), с точностью до 0,01 мм. Во времени в объеме МЖ происходит перекоцентрация магнитных частиц в область наибольшего неоднородного магнитного поля (постоянный магнит). В объеме МЖ в кювете концентрация частиц уменьшается также как ее намагниченность. Выталкивающая магнитная сила уменьшается, магнит погружается вниз, до наступления условия равновесия. Экспериментальные зависимости абсолютного перемещения нагруженного поршня с магнитом во времени, приведены на рисунке 2. Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

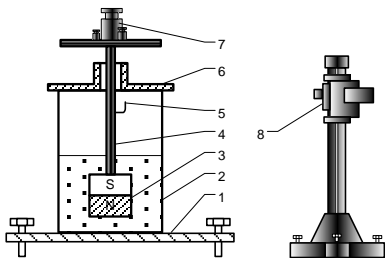


Рисунок 1

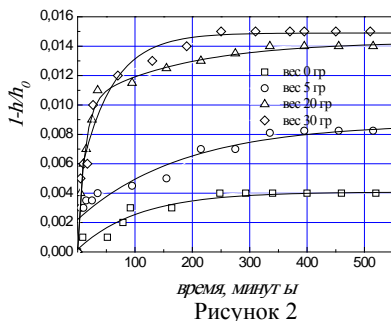


Рисунок 2

*Работа выполнена под руководством Баитового В.Г.

Исследование пародинамического термосифона

Аникейчик А.В., Жук Н.П.

Белорусский национальный технический университет

Тепловая труба – элемент системы охлаждения или обогрева, принцип работы которого основан на фазовых превращениях легкокипящей жидкости в закрытой системе. Тепловые трубки бывают двух видов: с пористым покрытием и гладкостенные. В гладкостенных трубках сконденсировавшаяся жидкость возвращается в зону испарения под действием силы тяжести. Тепловые трубки с пористым наполнителем (фитили, пористая керамика) могут работать практически в любом положении, поскольку жидкость возвращается в зону испарения по порам материала под действием капиллярных сил.

Пародинамический термосифон является двухфазной тепловой трубой, принцип работы которого основан на том, что в емкостном баке происходит испарение воды в результате подвода теплоты извне (использование электрического нагревателя или иных источников). Затем в виде пара теплоноситель поднимается в холодную часть установки, где конденсируется, тем самым передавая теплоту в окружающую среду. Конденсат под действием силы тяжести стекает по специальному каналу обратно в ёмкостной бак, где вновь нагревается и испаряется. Исследование пародинамического термосифона подразумевает под собой проведение серии экспериментов, целью которых является определение наиболее оптимальных условий работы установки. Для этого проведена работа по мониторингу и фиксации измеряемых величин: температурное распределение по поверхности конденсатора; изменение давления внутри системы; продолжительность выхода на стационарный режим работы; потребляемая электрическая мощность на нагрев. Один эксперимент по времени длился 90 минут, фиксация данных производилась 2 раза в минуту. Всего проведено 3 серии по 3 эксперимента. Серии отличаются углом наклона конденсатора (исследуется влияние угла наклона на распределение пара в конденсаторе, а также скорости удаления сконденсировавшейся воды). Первая серия проводилась при открытом запорном клапане (т.е. при атмосферном давлении), вторая серия при естественном вакууме, третья – после принудительного вакуумирования установки. В результате проведённых экспериментов накопилось более 15000 измеренных величин, которые в последующем будут обрабатываться и анализироваться для нахождения наиболее эффективного угла наклона и давления внутри системы с целью оптимизации работы пародинамического термосифона.

Разработка стенда для испытания регуляторов температуры

Жук Н.П., Метельский А.В.

Белорусский национальный технический университет

С целью качественного проведения лабораторных работ необходимо разрабатывать современные учебные стенды, с помощью которых студент сможет технически грамотно разобраться в конструкции механизмов и приборов, непосредственно увидеть и главное поучаствовать в настройке различных элементов машин и механизмов.

В холодильной технике существует необходимость поддерживать температуру объекта в заданных интервалах, для этих целей существует большое многообразие регуляторов температуры, в частности в холодильной камере. Для испытания такого рода приборов автоматики и задуман специальный стенд. Стенд по своей сути является уменьшенной моделью реальной холодильной установки, которая предназначена для охлаждения морозильной камеры. В целом установка состоит из полностью комплектного компрессорно-конденсаторного агрегата и воздухоохладителя, находящегося в самой камере. Для визуального контроля происходящих процессов внутри морозильной камеры некоторые стенки планируется сделать прозрачными. В лицевой части камеры находится дверь, чтобы можно было проводить осмотр, ощутить низкую температуру в камере и для помещения в камеру различных пищевых продуктов.

Из приборов автоматики применяем несколько различных современных контроллеров, регуляторов температуры для стандартных морозильных камер, а также для бытовых холодильников. Также планируется осуществление оттайки испарителя горячими парами со стороны нагнетания, а также с помощью электронагревателей, для анализа эффективности этого процесса при применении технически разных способов оттайки. Перечень операций, который учащийся может осуществить с помощью разрабатываемого стенда: контроль изменения температуры и относительной влажности в камере; настройка разнообразных по конструкции регуляторов температуры на требуемые параметры; настройка и управление процессом оттайки воздухоохладителя; управление работой отдельных элементов холодильной машины (вентиляторы, трубчатые электронагреватели, соленоиды, клапаны и т.п.).

В целом применение стенда позволит повысить уровень усвоения изучаемого материала учащимися, и быть более подготовленными к будущей профессиональной деятельности.

Описание схемы одоризационного блока

Ю.К. Кривошеев

Белорусский национальный технический университет

Блок состоит из расходной емкости, фильтра жидкого одоранта, поплавкового регулятора уровня, с балансирным счетчиком расхода одоранта, термостабилизированного одоризатора с системой терморегуляции, страховочной емкости. На газопроводе установлено сужающее устройство (диафрагма), создающее необходимый перепад давлений. Для этой цели может быть использовано стандартное измерительное сужающее устройство. Одорант по трубопроводу через фильтр поступает в камеру регулятора уровня, поддерживающего постоянным уровень одоранта в испарительной камере. Параллельно фильтру проходит байпас, который позволяет бесперебойно вести одоризацию при обслуживании или неисправностях фильтра. Необходимые для этой цели переключения осуществляются вентилями. Камера поплавкового регулятора уровня снабжена балансирным счетчиком расхода одоранта. Поплавковый регулятор уровня также шунтирован байпасом, позволяющим при неисправностях регулятора уровня отключить его, и подавать одорант, минуя регулятор, непосредственно в одоризатор. Необходимые для этого переключения осуществляются вентилями. В таком режиме поддержание постоянного уровня одоранта осуществляется за счет перетекания излишков одоранта, поступающего в одоризатор через сливной патрубок в страховочную емкость. При этом регулировочным клапаном, наблюдая скорость поступления одоранта в емкость по мерному стеклу, можно установить расход одоранта через байпас так, чтобы он лишь ненамного превышал его максимально возможный расход для данного газопровода. Таким образом, уровень одоранта будет поддерживаться постоянным независимо от расхода его на одоризацию при любом расходе газа в газопроводе и при этом лишь сравнительно небольшая часть одоранта переливается в страховочную емкость. Страховочная емкость служит также для предотвращения перелива жидкого одоранта непосредственно в газопровод при неисправностях поплавкового клапана, связанного с нарушениями его герметичности (заклинивание, попадания твердых частиц и т.п.). Термостабилизация одоризатора осуществляется терморегулятором, получающим сигнал от датчика температуры одоризатора, и управляющим электронагревателем, который нагревает одорант и газовую фазу в одоризаторе через промежуточный масляный теплоноситель.

Выбор конструктивной схемы одоризатора

Ю.К. Кривошеев, А.С. Зверок

Белорусский национальный технический университет

Сравнение габаритных параметров двух конструктивных схем одоризатора, работающих в условиях ламинарного или турбулентного режимов, показывает, что по этим критериям схема ламинарного режима предпочтительнее, чем схема турбулентного режима. Последняя, кроме того, конструктивно более сложна в связи с необходимостью компенсации больших перепадов давления на газодинамическом тракте. К недостаткам схемы ламинарного режима можно отнести наличие в ней фитильного элемента. В процессе работы он может загрязняться неиспаряющимися отложениями из загрязнений, имеющихся в одоранте (твердые частицы, масла и т.п.). Однако недостатки подобного рода присущи испарительным одоризаторам любого типа, и в значительной мере могут быть нейтрализованы применением конструктивных схем, предусматривающих возможность периодического слива отстоя из испарительной камеры и промывки ее одорантом, сливаемым затем в режиме ручной (капельной) одоризации в газопровод. Применение сменных фильтров на трубопроводе подачи жидкого одоранта также позволяет существенно снизить актуальность этой проблемы.

В то же время конструктивная схема одоризатора турбулентного режима ввиду необходимости разделения перегородками отдельных прогонов газового тракта для предотвращения "выдува" жидкого одоранта из него газовым потоком очень неудобна для реализации слива отстоя одоранта из испарительной камеры. При этом пришлось бы подводить сливной патрубок к каждому прогону отдельно, что усложняет и удорожает конструкцию. Кроме того, в одоризаторе, работающем по испарительной схеме и с испарением одоранта из нескольких изолированных или односторонне сообщающихся объемов, возникает ряд проблем при работе на многокомпонентных одорантах.

Таким образом, в качестве базового варианта одоризатора может быть выбрана конструктивная схема ламинарного режима, что свидетельствует о возможности реализации недорогого, простого и надежного одоризатора испарительно-конвективного типа. Детальные расчеты основных параметров одоризатора при экстремальных режимах его работы позволяют с высокой степенью надежности гарантировать работоспособность устройства. Разработанный эскизный проект одоризатора обладает высокой степенью проработки и требует лишь сравнительно небольших дополнительных доработок.

Динамика структурообразования в магнитных жидкостях

Лабкович О.Н., Сулоева Л.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе экспериментально исследованы временные зависимости вязкого трения в магнитных жидкостях (МЖ) в постоянном магнитном поле, связанные с процессами структурообразования. Показано влияние углеродных нанотрубок на эти процессы. Исследования проводились на модифицированном вискозиметре фирмы Хааке. Исследовалась МЖ на трансформаторном масле и магнетите с намагниченностью насыщения 50 кА/м (ММ_{тр}-50). С помощью электронного микроскопа определялись диаметры частиц магнетита, они соответствовали $10 \div 20$ нм. МЖ находилась в радиальном зазоре между цилиндрами, внутренний цилиндр вращался. Однородное радиальное магнитное поле в зазоре – 200 кА/м, скорость сдвига $300 \div 1860$ с⁻¹. Кривая течения магнитной жидкости ММ_{тр}-50 имела нелинейный характер, свойственный псевдопластичным жидкостям: $\tau = \Delta\tau + \eta\dot{\gamma}$, где $\Delta\tau$ – начальные напряжения, определяемые образованием структур из частиц магнетита во внешнем магнитном поле и их разрушением при сдвиге. На рисунке 1 показана существенная зависимость относительного приращения вязких напряжений ($\Delta\tau/\tau$) от времени выдержки (t) МЖ в радиальном магнитном поле (кривая 1). Временные зависимости процессов структурообразования в МЖ сильно зависят от предыстории: времени и интенсивности перемешивания, соотношения магнитодипольных и поверхностных сил взаимодействия частиц, вязкости жидкости носителя. При введении в МЖ углеродных нанотрубок ($d = 5$ нм, $l = 500$ нм) весовой концентрацией – 0,05% во всем интервале времени выдержки (до 100 часов) наблюдалось снижение вязких напряжений на 20% (кривая 2).

Полученные результаты могут быть полезны при оценке потерь на трение в магнитожидкостных подшипниках и уплотнителях, имеющих стояночный режим работы.

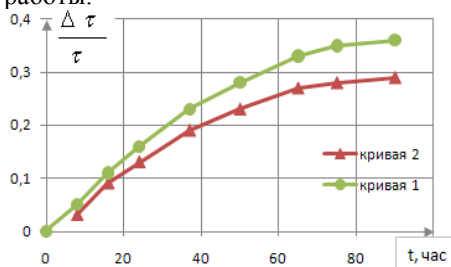


Рисунок 1

К вопросу исследования свойств магнитожидкостной «пробки» для фиксации бронхиального свищаБалабанова О.В.², Климович С.В.¹¹ Белорусский национальный технический университет,² Учреждение здравоохранения «10-я городская больница г. Минска»

Целью работы является изучение возможности использования магнитной жидкости для закрытия эмпиемы плевры со свищом. Данное заболевание в легком в результате гнойного воспалительного процесса вызывает в плевральной полости образование воздушной полости, где может скапливаться гной (полость эмпиемы плевры), ликвидировать которую сложно. Сейчас для лечения предлагается окклюзия (закупорка) сообщающегося с дефектом бронха различными материалами при помощи процедуры бронхоскопии. Эти пломбы плохо фиксируются в просвете бронха и при воздействии силы (кашель или действие подключенного вакуума) смещаются и не выполняют свою функцию. Капля магнитной жидкости может быть удержана с помощью укрепленных извне источников магнитного поля в нужном месте. Воздействие силы кашля, дыхательных движений, и вакуума не вызовут смещения магнитожидкостной пробки. Контроль положения капли в бронхе можно контролировать рентгенологически, поскольку она рентгена контрастна. Для определения давления $p_{рв}$ создаваемого при резком выдохе (кашле) были проведены замеры у различных испытуемых, разных возрастных групп и физического состояния. По полученным результатам замеров усредненный показатель максимального давления резкого выдоха находится диапазоне $p_{рв}^{max} = 6820 \div 11784$ Па, усредняя скорость резкого выдоха в диапазоне $v_{рв}^{max} = 3,26 \div 5,86$ м/с. Для проверки возможности перекрытия свища магнитожидкостной пробкой брался горизонтальный канал известной конфигурации $d=15$ мм. В нем помещалась капля магнитной жидкости между постоянными магнитами. Величина напряженности магнитного поля близка к однородной в зазоре между магнитами, а по краям магнитов поле ослабевает и имеется градиент поля $\Delta H/\Delta x$ направленный вдоль зазора к его центру. С одной стороны канал сообщается с атмосферой, а с другой на каплю действует сила давления. Силе давления противодействует объемная магнитная сила. В эксперименте использовалась магнитная жидкость на основе трансформаторного масла марки ММТр-43. Критическое давление прорыва p_k впервые 30 минут установки пробки составляло 7260 Па.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь под руководством Баштового В.Г. и Рекса А.Г. с участием Моцара А.А.

УДК 538.4

Синтез магнитных жидкостей на различных дисперсионных средах

Сулоева Л.В.¹, Баштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Моцар А.А.¹, Кужир П.П.²,
Полунин В.М.³, Шабанова И.А.³

¹Белорусский национальный технический университет,

²Университет Ниццы-София Антиполис (Франция),

³ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (Россия)

Магнитные жидкости находят широкое применение в медицине, приборостроении, радиотехнике и представляют собой устойчивый коллоид, состоящий из магнитной феррофазы (магнетит, кобальт, железо и т.д.), жидкости-носителя (вода, углеводороды, минеральные и кремнийорганические масла, фторорганические жидкости и т.д.) и поверхностно-активного вещества (ПАВ).

Способ получения магнитных жидкостей оказывает огромное влияние на их физико-химические свойства такие как, вязкость, плотность, намагниченность насыщения, агрегативная устойчивость и т.д. Поэтому достаточно важным является выбор способа получения магнитной жидкости, который обеспечивал бы их качество.

Представляет интерес синтез магнитных жидкостей методом эмульгирования, позволяющий ускорить процесс их получения и увеличить их намагниченность насыщения и седиментационную устойчивость, как в магнитных, так и в центробежных полях. При разработке методики синтеза магнитных жидкостей методом эмульгирования использовалась эмульсия смеси ПАВ и жидкости-носителя в водной смеси солей железа, полученная методом взбалтывания.

Магнитные жидкости, полученные методом эмульгирования, обладают высокой намагниченностью насыщения (70-90 кА/м), а также устойчивы к действию центробежных, магнитных и гравитационных сил. Разработанный метод позволил увеличить производительность синтеза магнитных жидкостей более чем в 1,5-2 раза.

Литература:

1. А.с. № 568598, МКИ С01G49/08, 1975.

2. А.с. № 833545, МКИС01G49/08, Н01F1/28, 30.05.81.

Два типа ветроустановок в зависимости от оси вращения ветроколеса

Червинский В.Л., Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Ветроустановки, в зависимости от оси, вдоль которой происходит вращение ветроколеса, могут быть разделены на две группы.

В турбинах с горизонтальной осью вращения ветроколеса (ТГОВ) главный вал и электрогенератор находятся на вершине башни, и ветроколесо должно быть повернуто к ветру. В большинстве конструкций имеется коробка передач, преобразующая небольшую частоту от вращения лопастей во вращение с большой частотой, которая нужна для выработки электроэнергии.

В турбинах с вертикальной осью вращения ветроколеса (ТВОВ) главный вал расположен вертикально. Ключевым моментом является то, что генератор и/или коробка передач могут быть установлены возле земли. Такие турбины не нужно поворачивать к ветру.

Сложностью, однако, является крепление, т.к. нужно учитывать, что турбина будет работать в области турбулентных воздушных потоков возле поверхности земли.

Некоторые преимущества ТГОВ:

- лопасти расположены на расстоянии от центра тяжести, что способствует лучшей устойчивости;
- высокая башня ветроустановки позволяет иметь доступ к ветрам большей скорости.

Некоторые преимущества ТВОВ:

- их проще установить, потому что большинство составляющих расположено вблизи земли;
- лопасти расположены вертикально, поэтому нет необходимости в установке отклоняющих устройств;
- на вершинах холмов или возле дорог более мощные ветры регистрируются у земли. В этих местах ТВОВ, расположенные у земной поверхности, дают больше мощности, чем ТГОВ, улавливающие ветры на высоте;
- небольшая высота может оказаться полезной там, где по каким-то причинам нельзя устанавливать высокие объекты.

УДК 54.05

Перспективы использования доломита в качестве катализатора для конверсии смол

Василевич С.В., Жапнов К.Л.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенными неметаллическими катализаторами для конверсии смол в процессе газификации биомассы являются обожженные доломиты (кальциево-магниева руда с общей химической формулой CaMgCO_3 , которая содержит примерно 20 мас. % MgO , 30% CaO и 45% CO_2 с примесями окислов железа и других металлов).

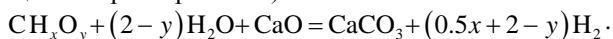
Они относительно дешевы и считаются безвредными при захоронении на свалках. Применение доломитов вызывают особый интерес в Белоруссии, т.к. здесь имеются значительные природные запасы этого сырья, годовая добыча которых составляет свыше 3 млн. т.

Химическая формула доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Разложение доломита на $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ и CO_2 происходит в интервале температур 700–900 °С.

В случае непрерывного ввода оксида кальция (обоженного доломита) в реактор паровой конверсии (газификации) биомассы в нем протекают следующие реакции: эндотермическая реакция паровой конверсии, экзотермическое парогазовое замещение, экзотермическая адсорбция диоксида углерода.

Непрерывное удаление CO_2 из продуктов конверсии в результате адсорбции сдвигает равновесие реакции в сторону увеличения выхода водорода и уменьшения концентрации CO .

В идеальном случае равновесный процесс газификации описывается следующим суммарным уравнением реакции (образованием углеводородов, кокса и сажи, а также смолы в результате неравновесности реальных процессов пренебрегается):



Единственным газообразным продуктом процесса является водород. Твердый продукт реакции (CaCO_3) должен непрерывно выводиться из реактора и, по возможности, регенерироваться с получением оксида кальция и CO_2 .

УДК 54.05

Исследование процесса истирания доломита в псевдооживленном слое

Василевич С.В., Жапнов К.Л.

Белорусский национальный технический университет

Доломит может быть использован в качестве катализатора для

конверсии смол в процессе газификации биомассы. Он становится активными в отношении конверсии смол в результате обжига – эндотермической декомпозиции при температуре 800-900°C с переходом в оксидную форму CaO-MgO и дегазации CO₂.

В результате обжига уменьшается удельная поверхность доломитов, и они становятся менее прочными.

Обоженные доломиты показали высокую эффективность в отношении конверсии смол при температурах ≥ 900 °C (до 99%).

В процессе обжига после полного выхода CO₂ масса частиц доломита снижается более чем на 50%.

Скорость истирания частицы доломита определяется как

$$W_{\text{ист}} = k_{\text{ист}} \cdot \rho = (m_0 - m) / (F \cdot t), \text{ кг/м}^2\text{с},$$

где $k_{\text{ист}}$ – константа скорости истирания, м/с; ρ – плотность доломита, кг/м³; m_0 – начальная масса частицы доломита, кг; m – текущая масса частицы доломита, кг; F – площадь поверхности частицы доломита, м²; t – время, с.

По результатам проведенных экспериментов были определены экспериментальные зависимости для скорости потери массы: $(m_0 - m) / m_0 \cdot t = 0,0001 \cdot (m_0^{-1,0957} - 0,01 \cdot m_0^{-2,4503} \cdot \ln(t))$.

Константа скорости выражается как

$$k_{\text{ист}} = 0,0001 \cdot (m_0^{-1,0957} - 0,01 \cdot m_0^{-2,4503} \cdot \ln(t)) \cdot V / F,$$

где V – объем частицы доломита.

Если допустить, что частица доломита имеет сферическую форму с диаметром d , то $k_{\text{ист}} = 1,67 \cdot 10^{-5} \cdot d \cdot (m_0^{-1,0957} - 0,01 \cdot m_0^{-2,4503} \cdot \ln(t))$.

С учетом истирания количество доломита, необходимого для пополнения слоя в единицу времени, определяется как

$$m = 0,0001 \cdot (1 - 0,01 \cdot m_0^{-1,4503} \cdot \ln(t)), \text{ кг/с},$$

где m_0 – начальная масса доломита в реакторе, кг.

Истираемость доломита создает необходимость разработок установок для газификации древесной биомассы с непрерывной подачей доломита в необходимом объеме.

УДК 548.4:621.3.049.774

Адаптивная система управления торцевым электромеханическим преобразователем специального назначения

Бубличенко С.В., Бова А.Р.

Восточнукраинский национальный университет имени Владимира Даля
(г. Луганск, Украина)

Операция резки слитков сапфира на пластины, являясь начальной

стадий технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем, оказывает большое влияние на экономичность процесса в целом.

В связи с этим, актуальным является разработка устройств активного контроля и управления процессом резки, с помощью которых возможно реализовать алгоритмы оптимального адаптивного управления аналитическим модулем резки монокристаллов сапфира на основе торцевых электродвигателей с ротором без механических опор.

Наиболее эффективным подходом для решения проблемы оптимального адаптивного управления является использование гибридных нейронных сетей (нейронечеткие системы).

Анализ последних исследований показал, что в настоящее время повышение быстродействия адаптивных систем управления систем обеспечивается за счет:

- построения и использования многопроцессорных систем параллельной архитектуры;
- разработки и реализации алгоритмов параллельных вычислений на соответствующем аппаратном обеспечении (нейрочипах);
- комбинированного использования генетических алгоритмов и методов минимизации, для которых характерна сверхлинейная скорость сходимости.

В работе приведены упрощенные математические модели (в первую очередь линеаризованные), а решение задач выполняется, как правило, в режиме on-line для обеспечения хорошей обусловленности задачи различными методами. В частности, – при обеспечении учета сложной поверхности функции качества и адаптации к изменениям влияния технологических факторов на процесс алмазной резки слитков сапфира использованы рекуррентные нейронные сети типа Хопфилда–Лагранжа, в которых реализуется распараллеливание вычислительного процесса.

Информационные системы и технологии

Вероятностный анализ непрерывно-дискретной стохастической системы

Лобатый А.А., Бенкафо А.С.

Белорусский национальный технический университет

Одной из основных проблем стоящих перед разработчиками непрерывно-дискретных систем управления (НДСУ) является выбор и обоснование математических моделей, позволяющих синтезировать НДСУ, и проводить всесторонний анализ, исследуя их свойства в различных условиях работы. Для проведения предварительного проектирования и оптимизации системы, исследования её характеристик используются так называемые аналитические модели, отражающие основные, наиболее важные свойства системы, позволяющие решать широкий круг задач анализа и синтеза.

Представляет практический интерес моделирование НДСУ с помощью динамической аналитической модели, построенной на основе дифференциальных уравнений.

В векторно-матричной форме стохастическое динамическое уравнение в форме Ланжевена, описывающее динамику процессов, происходящих в НДСУ.

В данное уравнение входят следующие составляющие.

$A(X, t)$ - векторная функция, отображающая наличие непрерывной составляющей процесса $X(t)$; $B(X, t)$ - матричная функция, отображающая дискретную составляющую с амплитудной модуляцией; $\nu(X, t, T)$ - вектор дискретных воздействий, отображающий дискретную составляющую с частотной модуляцией, T - период дискретизации.

Если $B(X, t) = 0$ и $\xi(t)$ - вектор белых шумов процесс $X(t)$ будет непрерывным марковским. Если $B(X, t) \neq 0$, то при условии рассмотрения стохастических интегралов в симметризованной форме Стратоновича это означает, что каждый δ -импульс в момент t_k вызывает скачкообразные изменения амплитуды i -й составляющей процесса $x_i(t)$ на величину c_{ik} .

Полученное для рассматриваемой модели обобщенное уравнение для апостериорной плотности вероятности фазовых координат является основой для составления алгоритмов фильтрации, экстраполяции и идентификации НДСУ.

Предлагаемый подход дает возможность при разработке НДСУ определять оптимальную структуру и параметры непрерывной части НДСУ при заданном критерии качества.

Параметрическая оптимизация регулятора при наличии неопределённостей

Лобатый А.А., Аль-Машхадани М.А.

Белорусский национальный технический университет

Задача синтеза регуляторов рассматривается в классе нелинейных нестационарных систем, поведение которых описывается дифференциальными уравнениями высокого порядка. Применим сеточно-параметрический метод оптимизации, который основан на базе численных методов решения дифференциальных уравнений (ДУ).

Рассматривается математическая модель системы управления, которая в векторно-матричной форме представлена в виде ДУ, которое решается по разностной схеме Эйлера вида

$$Y(t_{k+1}) = Y(t_k) + h \cdot F(X(t_k), Y(t_k), P),$$

где $X(t_k)$ и $Y(t_k)$ - векторы-функции входа и выхода, а $P = [p_1, p_2, \dots, p_r]^T$ - вектор параметров системы. При этом разностная схема численного решения ДУ представляется в таком виде, что выходные сигналы Y_i зависят не только от t_k , но и от параметров p .

Задача состоит в определении таких значений p_1, \dots, p_r , при которых минимизируется функционал:

$$J(p_1, p_2, \dots, p_r) = \sum_{k=1}^N [y(t_k, P) - y_y(t_k)]^2 \rightarrow \min_p,$$

где $y_y(t_k)$ – эталонное (требуемое) значение выходного сигнала.

При рассмотрении многомерных систем управления, когда число изменяемых параметров велико рекомендуется пользоваться символьными вычислениями.

Алгоритм синтеза регулятора имеет следующий вид:

- 1 - выбор структуры и места включения регулятора;
- 2 - выбор эталонного входного и выходного сигналов;
- 3 - нахождение математической модели системы управления с регулятором, имеющим изменяемые параметры $P = (p_1, p_2, \dots, p_r)$;
- 4 - нахождение с помощью символьных вычислений сеточной функции $y(t_1, P), y(t_2, P), \dots, y(t_N, P)$ в явной форме, зависящей от параметров P ;
- 5 - построение функционала $J(P)$;
- 6 - определение параметров регулятора методами математического программирования;
- 7 - определение выходного сигнала скорректированной системы и сравнение ее с эталонной.

Комплексирование измерителей с помощью фильтра Калмана-Бьюси

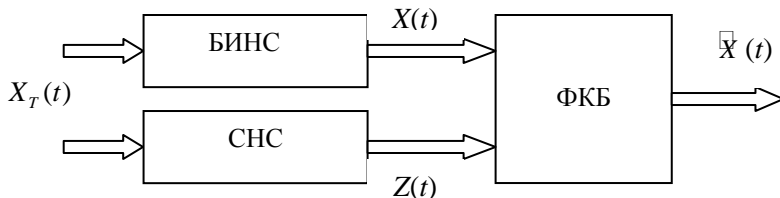
Бенкафо А.С.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Рассматривается применение фильтра Калмана-Бьюси (ФКБ) для комплексирования различных измерителей навигационных параметров беспилотного летательного аппарата (БЛА). Основой системы управления БЛА является КОН – комплекс ориентации и навигации, основными поставщиками информации которого являются: БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система; СНС – спутниковая навигационная система. В общем случае все они работают с погрешностями различной физической природы, которые можно представить в виде суммы случайных постоянных (систематических ошибок), белых шумов и «цветных» шумов (случайных процессов с известными корреляционными функциями).

ФКБ удобно использовать для комплексирования различных измерителей. При отсутствии дополнительного измерителя $Z(t)$ ФКБ даёт оптимальное приближение оценки $\hat{X}(t)$ не к теоретическому (опорному) процессу $X_T(t)$, а к случайному процессу $X(t)$.

На рисунке представлена структурная схема комплексирования БИНС и СНС. В результате комплексирования измерителей производится компенсация систематических ошибок, входящих в процесс $X(t)$ (выходной сигнал БИНС), за счёт использования дополнительных измерений $Z(t)$ (выходной сигнал СНС), а также частичное сглаживание шумов входных шумов БИНС $\xi(t)$ и СНС $\zeta(t)$.



В качестве вектора $\xi_{A \in I \bar{N}} = [\xi_{1A}, \dots, \xi_{nA}]^T$ рассматриваются математические модели инструментальных погрешностей БИНС. В качестве вектора $Z = [z_1, \dots, z_m]^T$ выступают показания дополнительных измерителей, например СНС. При этом модели погрешности измерений сводятся к белым шумам в пределах заданных диапазонов.

Сравнительный анализ регуляторов системы управления

Аль-Машхадани М.А.

Белорусский национальный технический университет

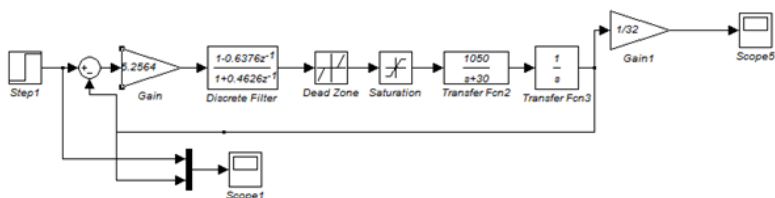
Для управления отклонением оптической системы относительно корпуса беспилотного летательного аппарата (БЛА) необходимо иметь привод, работающий в условиях случайных воздействий, которые проявляются в виде турбулентности воздушного потока, особенно в случаях, когда используется БЛА малых размеров. Это накладывает на привод оптической системы особые требования по обеспечению точности и качества переходных процессов при реализации требуемого угла отклонения оптической системы.

Для эффективного управления оптической системой был разработан оптимальный цифровой регулятор, Z-передаточная функция которого имеет вид

$$W(z) = K_0 \frac{1 + b_1 Z^{-1} + b_2 Z^{-2}}{(1 - Z^{-1})(1 + a_1 Z^{-1})}$$

Коэффициенты K_0 , b_1 , b_2 , a_1 вычисляются по известным формулам.

На рисунке представлена реализация разработанного регулятора с помощью пакета MATLAB-Simulink.



Пуём имитационного математического моделирования было проведено сравнение разработанного регулятора с классическим ПИД-регулятором.

Сравнение работы регуляторов в одинаковых условиях показало, что оба регулятора обеспечивают требуемые характеристики переходного процесса, что имеет большое значение для объекта управления, функционирующего при существенном изменении внешних воздействий, обусловленных маневрированием БЛА на траектории полёта и флуктуациями воздушного потока. При этом цифровой регулятор имеет некоторое запаздывание в формировании сигнала управления, которое при высоком быстродействии микроконтроллера незначительно по сравнению с инерционностью механического привода оптической системы БЛА.

УДК 621.391.25

Параметрическая модель для расчета напряженно-деформированного состояния причального устройства морской нефтедобывающей платформы

Мирзаванд Мохсен Али, Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании морской добывающей платформы встает вопрос о разработке конструкции причального устройства (рисунок 1, слева).

Данная конструкция изготавливается из конструкционной стали. Характеристики стали: плотность = 7850 кг/м^3 , коэффициент Пуассона равен 0,3, модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Расчеты ведутся в единицах СИ.

На рисунке 1 представлена полная схема конструкции. Причальное устройство крепится к остову платформы. Схема нагружения, соответствующая взаимодействию корпуса судна с причальным устройством, задается таблично и представлена на рисунке 2.

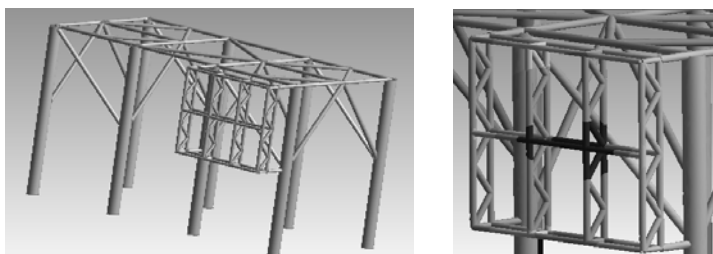


Рисунок 1. Геометрическая модель остова с причальным устройством

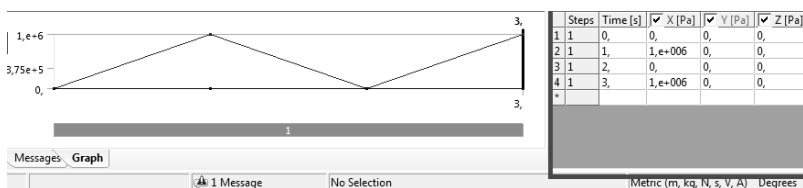


Рисунок 2. Табличное задание нагрузки

Деформированное состояние представлено на рисунке 1 справа.

Модель позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние конструкции, ее долговечность и выполнять оптимизационные расчеты с целью снижения материалоемкости.

Выбор режима нагружений остова морской платформы в процессе ее демонтажа

Красновская С.В.¹, Мирзаванд Мохсен Али¹, Соловьев А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет,

² Южный федеральный университет (Россия, г. Ростов-на-Дону)

По завершении эксплуатации морской добывающей платформы встает вопрос о демонтаже конструкции. Особый интерес представляет способ демонтажа, основанный на использовании генераторов ударных волн, создающих необходимую подъемную силу для извлечения свай платформы из дна, так как при своей эффективности он позволяет существенно уменьшить ущерб, наносимый биосфере морей.

Генераторы ударных волн крепятся на одном уровне по периферии несущих элементов опорного блока с последующим одновременным инициированием ударных волн.

В качестве генераторов ударных волн используют реактивные заряды, оснащенные твердым топливом.

При реализации данного подхода ударные волны должны обеспечить такую подъемную силу, чтобы учесть следующие условия:

1) не допустить разрыва элементов монтажа в месте крепления реактивных зарядов, поскольку процесс передачи усилий в сваи обладает инерционностью;

2) вытянуть из грунта сваи, не допустив засасывания в грунт вновь из-за проявления эффекта смачивания.

Было заявлено, что наилучшие условия для демонтажа свай создаются, когда импульс подъемной силы длится не более 15-25 секунд, что соответствует скорости истечения струи газа реактивного снаряда, равной примерно 0,3 - 0,7 м/с.

Исследовалась возможность демонтажа одной из опор остова конструкции выше упомянутым методом.

Задача решалась плоская осесимметричная. Целью ставилось определить закон действия ударных волн, создающих подъемную силу, достаточную для извлечения свай из грунта.

Нагрузка прикладывалась по косинусоидальному закону и варьировалась в предложенных пределах от 0,3 до 0,7 м/с после достижения первого пикового значения от начала расчета.

Взаимодействие свай и грунта требовало решения контактной задачи с трением при использовании нелинейных расчетов.

УДК 621.391.25

Моделирование водоотводного лотка методом конечных элементов

Соловьев А.Н.¹, Напрасников В.В.², Скалиух А.С.¹

¹Южный федеральный университет (Россия, г. Ростов-на-Дону),

²Белорусский национальный технический университет

В работе излагается последовательность этапов по созданию конечно-элементной модели для расчета напряженно-деформированного состояния водоотводного лотка (рисунок 1). Лоток испытывает нагрузки со стороны грунта, приложенные к боковым поверхностям. На рисунке 2 представлена конечно-элементная сетка для полной модели.



Рисунок 1. Вид водоотводного лотка

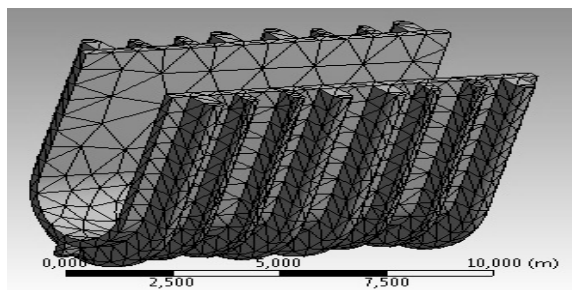


Рисунок 2. Конечно-элементная сетка

Поскольку модель является параметрической, удастся выбрать рациональные толщины основных стенок и ребер жесткости для обеспечения заданных пределов на перемещения стенок при выполнении прочностных требований. Модель может использоваться для оптимизационных расчетов.

Конечно-элементная модель спортивного тренажера при динамических нагрузках

Боровок О.А., Ермилов В.В., Напрасникова Ю.В., Петраш Н.С.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается модель спортивного тренажера, конечно-элементная расчетная схема которого представлена на рисунке 1 (слева), а изменение величины приложенной силы в зависимости от времени на рисунке 1 (справа).

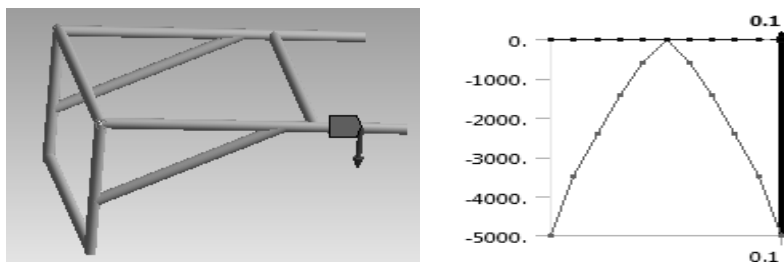


Рисунок 1. Конечно-элементная модель спортивного тренажера.

Оказалось, что максимальной величины перемещения достигают в моменты времени $5e-3$ с и $1.5e-2$ с и составляют, как видно на рисунке 2, $2.2744 \cdot 10^{-2}$ м.

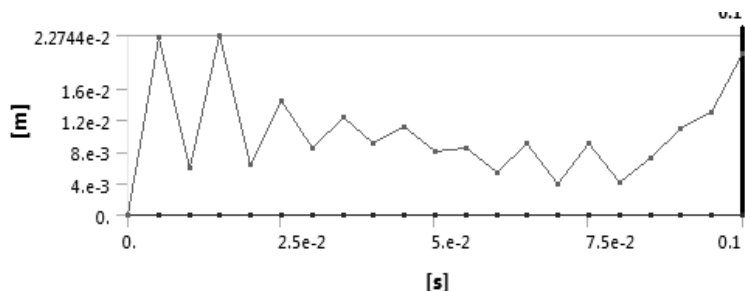


Рисунок 2. Изменение перемещений во времени.

Созданная модель позволяет выполнить оптимизационные расчеты, по которым можно сделать вывод, что рациональные координаты расположения опор являются 0.6м по оси Z и 0.3м по оси Y.

УДК 621.391.25

Исследование напряженно-деформированного состояния элементов двухкузовного полуприцепа при динамических нагрузках

Шахнова Т.А., Камран Каземпур Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается построение геометрии и анализ напряженно-деформированного состояния рамы двухкузовного полуприцепа с учетом поддрессорирующих элементов на основе платформы ANSYS Workbench. Лицензионная учебная версия комплекса любезно предоставлена компанией ANSYS Inc.

Конечно-элементная модель рамы полуприцепа представлена на рисунке 1.

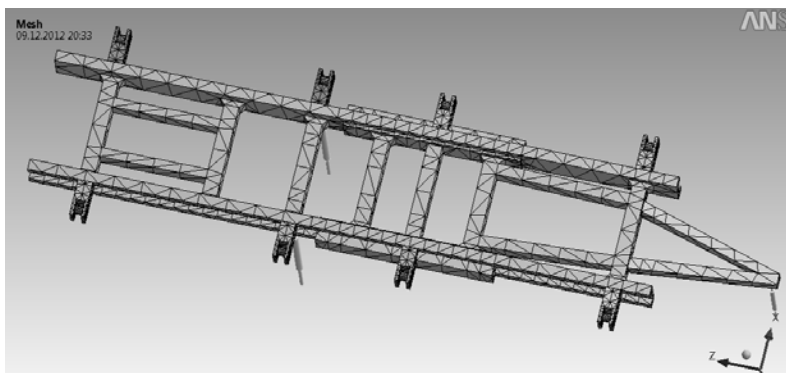


Рисунок 1. Конечно-элементная модель рамы полуприцепа

Ко дну каждого кузова бала приложена нагрузка, равная 11368 Па, что является максимально допустимой нагрузкой полуприцепа 9554. Вся конструкция жестко закреплена относительно земли тремя опорами. Моделирование опор было выполнено с помощью пружинного соединения (рама-земля).

Особенностью крепления кузовов к раме является использование двух видов соединений: пружинного (тело-тело) и шарнирных соединений.

Использование этого типа соединения позволило рассмотреть напряженно-деформированное состояние полуприцепа при различных углах наклона кузова.

Выполненное моделирование позволило выявить места с наибольшей концентрацией напряжений.

Предложенная модель может служить основой для проведения дальнейших оптимизационных расчетов

УДК 621.391.25

Оценка суммарного потока тепла с заданной поверхности в среде конечно-элементного моделирования с использованием языка APDL

Майсей Е.В., Петровский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Во многих ситуациях при решении задач по расчету теплоотводящих систем возникает необходимость определения их эффективности, оцениваемой по величине суммарного теплового потока, исходящего с поверхности в окружающее пространство.

При построении конечно-элементной модели такой системы необходимо создать макрос, позволяющий вычислять величину теплового потока с произвольной поверхности.

В ходе выполнения работы была построена методика получения величины, характеризующей эффективность радиатора с использованием языка APDL пакета конечно-элементного моделирования ANSYS. Также была разработана последовательность действий для расчета эффективности радиатора произвольной геометрии, которая применима к другим возможным конструкциям.

На основе ее использования получено значение потока тепла с поверхности радиатора, часть подошвы которого подогревается источником тепла с заданной температурой.

Распределение температур в материале этого радиатора, представлено на рисунке 1.

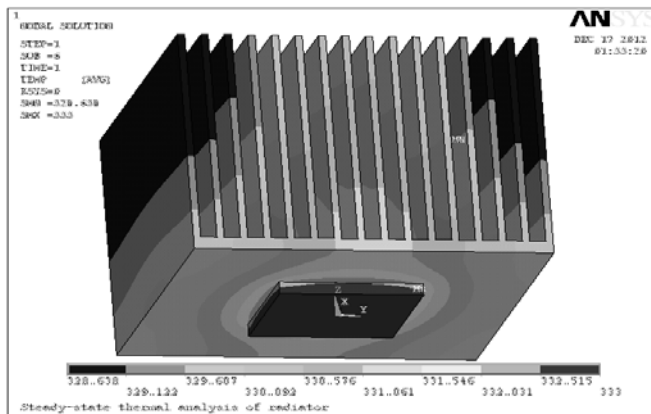


Рисунок 1 Распределение температур в материале радиатора
УДК 004.91+347.78.031

**О разработке Интернет-системы для поддержки процесса
дистанционного обучения в рамках Гродненского филиала кафедры
«Информационные системы и технологии» Международного
института дистанционного образования БНТУ**

Рудикова Л.В., Борисевич Е.А., Стефанович А.Р.
Белорусский национальный технический университет

Интернет-система дистанционного образования представляет собой комплекс программно-технических средств, методик и организационных мероприятий, которые позволяют обеспечить доставку необходимой информации обучающимся посредством сети, а также проверку знаний, полученных в процессе обучения.

В рамках Гродненского филиала кафедры «Информационных систем и технологий» Международного института дистанционного образования БНТУ ведется разработка Интернет-системы для поддержки дистанционного образования.

Построена диаграмма вариантов использования для Интернет-системы, на которой представлены общие группы пользователей и основные функции для разрабатываемой системы. Все основные функции доступны только авторизованным пользователям, где доступность функционала зависит от прав пользователя. Каждому преподавателю и новому зачисленному студенту предоставляется авторизованный доступ к системе и функционал, распределенный по ролям. На основании анализа предметной области была также построена концептуальная модель данных для хранения информации обо всех необходимых аспектах, связанных с учебной деятельностью, которая поддерживается посредством Интернета.

Для реализации предлагаемой Интернет-системы выбрана трёхуровневая архитектура, которая включает следующие компоненты: клиентское приложение, серверное приложение, сервер базы данных.

В приложении реализованы следующие возможности: зачисление студентов на дистанционную форму обучения; создание, подготовка и публикация дистанционных курсов; публикация важных новостей и планирование событий; обеспечение он-лайн занятий с использованием он-лайн чата для большей интерактивности всех участников; организация виртуальных классов для общения студентов, студентов с преподавателем.

Использование Интернет-системы в процессе дистанционного образования должно закрепить положение кафедры в качестве регионального научного и учебно-методического учреждения и вывести

его на международные стандарты качества образовательных услуг и научных исследований.

УДК 621.391.25

Методика оценки прочности корпуса приборного отсека на основе конечно-элементного моделирования

Белый А.М., Напрасникова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В работе выполнено исследование напряжённо деформированного состояния корпуса РИВЛ в режимах реальной эксплуатации. Корпус предназначен для защиты приборов, которые будут устанавливаться машины специального назначения.

Одним из требований, предъявляемых к корпусу, является упругое поведение его материала при падении прибора с высоты, регламентированной существующими стандартами.

Корпус изготавливается из алюминия Д16-Т (европейская маркировка 2024). Это сплав нормальной прочности (Al-Cu-Mg (Дюраль)).

Трёхмерная модель корпуса подготовлена с использованием пакета конечно-элементного моделирования в SolidWorks. В этом пакете предусмотрен двойной подход при решении задач с ударным нагружением: в качестве параметра, определяющего характер динамического нагружения, может выступать или высота падения испытуемого объекта, или скорость в момент удара.

Необходимыми условиями для подготовки задачи является указание направления действия силы тяжести и выбор опорной грани объёмной модели, относительно которой происходит воздействие.

Результаты моделирования представлены на рисунке 1. Оказалось, что предложенный вариант конструкции корпуса не только сохраняет удовлетворяющие стандартам характеристики прочности, но и имеет запас при ударных нагрузках.

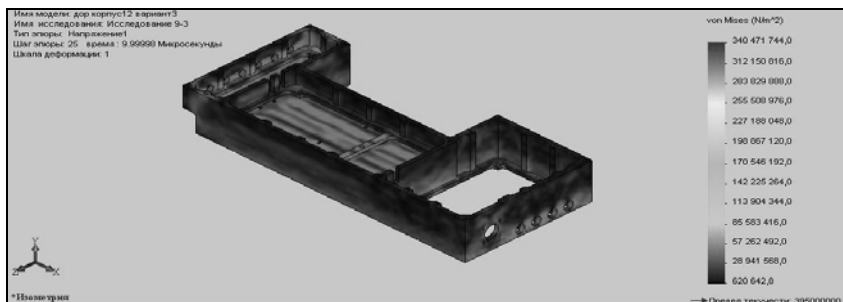


Рисунок. 1 Картина распределения напряжений в материале корпуса

УДК 004.416.6

Оптимизация структуры Веб-сайтов с использованием каскадных таблиц стилей

Симакович И.А.

Белорусский национальный технический университет

Вопрос скорости загрузки веб-страниц привлекает внимание всех веб-разработчиков уже очень давно — практически с того момента, как в HTML-документе появились картинки, и веб-страницы вышли на уровень взаимодействия с пользователями, а не только предоставления им необходимой информации.

CSS-выражения (англ. *CSS expressions*) были впервые представлены в Internet Explorer 5.0, который позволял назначать JavaScript-выражение в качестве CSS-свойства.

Следующий код позволит выставить позицию элемента в зависимости от того, какого размера окно браузера.

```
#myDiv {  
  position: absolute;  
  width: 100px;  
  height: 100px;  
  left: expression((document.body.offsetWidth > 110 ?  
  document.body.offsetWidth - 110 : 110) + «px»);  
  top: expression(document.body.offsetHeight - 110 + «px»);  
  background: red;  
}
```

Проблема с этими выражениями заключается в том, что они вычисляются гораздо чаще, чем многие могли бы ожидать. Они вычисляются не только во время визуализации страницы и изменения размеров окна, но также при скроллинге и даже когда пользователь просто водит мышкой по странице. Это несложно отследить — достаточно добавить счетчик в искомое выражение.

Единственный способ избежать огромного числа вычисления CSS-выражений — использование одноразовых выражений, когда после проведения всех необходимых вычислений они устанавливают свойство CSS-стиля к какому-то конечному статическому значению, заменяя им CSS-выражение. В том случае, если необходимо динамически изменять свойство CSS-стиля по мере пребывания пользователя на странице, мы можем применить прием с обработчиками событий в качестве альтернативы. Если избежать использования CSS-выражений на странице

не удастся, то нужно помнить, что они могут вычисляться тысячи раз и тем самым повлиять на производительность всей страницы.

УДК 004.021

Оптимизация топологической структуры сети

Сасов М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Задача оптимизации топологической структуры одна из основных задач, которую необходимо решать на этапе проектирования распределенных корпоративных сетей передачи информации. Ошибки в топологическом проектировании сети приводят к значительным экономическим потерям в связи с высокой стоимостью прокладки или аренды междугородных каналов связи (десятки и сотни тысяч долларов в месяц).

С математической точки зрения задача синтеза топологии сети является сложной задачей нелинейного программирования большой размерности, для которой отсутствует единый эффективный метод решения.

Пусть N - число центров коммутации (ЦК) корпоративной сети. Предполагается, что известны места размещения ЦК (географические координаты) и тарифы на аренду каналов связи между всеми парами ЦК $\|C(i, j)\|, ij = 1, 2, \dots, N$.

Синтезируемая топология сети должна удовлетворять следующим ограничениям:

- Между каждой парой центров должно быть не менее двух непересекающихся по узлам маршрутов;
- Длина кратчайшего (основного) маршрута между каждой парой ЦК не должна превышать заданной величины d ;
- Вероятность связанности сети (надёжность) должна быть не менее заданной величины p .

Необходимо построить топологию сети минимальной стоимости при соблюдении описанных выше ограничений.

Корпоративная сеть передачи информации может быть представлена графом $G = (V, E)$, вершины которого соответствуют ЦК и ребра – каналам связи. Обозначим $N = |V|$ число вершин ЦК и $M = |E|$ число ребер графа G (число каналов связи).

Весам ребрам графа G приписаны неотрицательные веса $C(x, y)$ стоимости аренды каналов между центрами, соответствующими вершинам x и y . Под стоимостью графа понимается сумма весов, входящих в G ребер (обозначается $C(G)$). Наконец, обозначим через V множество всех основных подграфов графа G_0 .

Решение данной задачи методом полного перебора требует просмотра вариантов топологических структур, причем просмотр заключается в генерации каждого варианта и проверке соответствующих условий.

УДК 621.391.8

Методы параметризации речевого сигнала на основе анализа синхронизированного с частотой основного тона в системах конверсии голоса

Захарьев В.А., Петровский А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Системы конверсии голоса предназначены для преобразования параметров речевого сигнала (РС), характеризующих одного диктора, в параметры другого, без изменения лингвистической составляющей самого сообщения. Первый диктор называется исходным, второй – целевым. Процесс конверсии подразумевает изменение акустических, фонетических и просодических характеристик исходного диктора в характеристики целевого согласно определенному набору правил, представляющему собой модель конверсии голоса.

Для построения эффективных систем конверсии необходимо совершенствование существующих методов анализа сигнала.

Поскольку РС является сложным частотно-модулированным сигналом, классические методы анализа, основывающиеся на предпосылке о его фрагментарной стационарности не всегда адекватны.

Необходимо использование современных методов обработки, учитывающих изменения параметров речевого сигнала в пределах фрейма анализа.

В докладе приведён обзор и сравнение двух методов параметризации речевого сигнала на основе математических моделей представления речевого сигнала.

В частности, обсуждается использование моделей на базе ДПФ, синхронизированной с частотой основного тона (ЧОТ), а также адаптивной интерполяции и спектрального взвешивания (STRAIGHT).

Обе эти модели основаны на представлениях о многокомпонентности речевого сигнала, представляя РС как суперпозицию гармонической составляющей и остаточного сигнала. Разница между двумя моделями заключается в способе описания двух данных составляющих, а также способах поиска параметров модели.

В первом случае анализ ведётся с использованием модифицированного ДПФ учитывающего изменение ЧОТ в пределах фрейма.

Во втором – используются специальные виды временных и частотных окон.

УДК 621.391.8

Построение многоголосого синтезатора речи по тексту на базе системы текстонезависимой конверсии голоса

Захарьев В.А., Петровский А.А.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Повсеместное внедрение средств вычислительной техники в различные сферы человеческой деятельности делает разработку речевого интерфейса для взаимодействия с ЭВМ очень актуальной задачей.

Одной из обязательных составляющих речевого интерфейса является система синтеза речи по тексту (ССРТ). Поэтому от качества её реализации зависит и общее качество работы речевого интерфейса, а, следовательно, и общий уровень удовлетворения потребностей пользователя системы.

На данном этапе развития ССРТ ставится вопрос уже не столько об обеспечении хороших уровней основных характеристик систем этого класса, таких как разборчивость синтезируемой речи, сколько о более сложных и комплексных характеристиках.

Например, естественность синтезируемой речи, возможность поддержки различных языков синтеза и голосов дикторов (так называемые многоголосые ССРТ).

Последний аспект требует особого подхода и внимания, поскольку перенастройка системы на нового диктора требует больших материальных и временных затрат от разработчиков системы.

В докладе рассмотрен возможный путь решения задачи построения многоголосого синтезатора речи с использованием системы конверсии голоса.

Конверсия голоса – это процесс преобразования параметров речевого сигнала, характеризующих исходного диктора, в параметры целевого, без изменения лингвистической составляющей самого сообщения.

Конверсия подразумевает изменение акустических, фонетических и просодических характеристик исходного диктора в характеристики целевого согласно определенному набору правил.

Предложенный авторами подход позволяет рассматривать два этих вида систем не просто как их суперпозицию, а как интеграцию системы конверсии и системы синтеза речи по тексту для максимального

использования возможностей обеих видов систем, и повышения их качества работы.

УДК 004.771

Методика выбора квазиоптимального решения по заданному критерию с использованием модели динамического программирования

Кондратёнок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Цель доклада – представить результаты оценки возможности использования модели динамического программирования при выборе формы разработки, подачи и изучения учебного материала.

Задача рассматривалась для систем дистанционного обучения, т.е. систем, в которых непосредственное взаимодействие *обучающие-обучающиеся* минимизировано.

Оценку предпочтительности той или иной методики выбора формы разработки, подачи и изучения учебного материала можно проводить с использованием следующих критериев:

Критерий 1 – Обеспечение максимального объема изученного материала за фиксированное время обучения;

Критерий 2 – Обеспечение минимального времени изучения заданного (фиксированного) объема материала.

При этом в докладе выделены 3 компонента:

- обучающиеся (студенты);
- профессорско-преподавательский состав (ППС);
- учебный материал (форма его представления).

Проекты же – это варианты решения задачи.

Для осуществления динамического моделирования в докладе предложена таблица, систематизирующая данные по проектам решения задачи для каждого из компонентов.

Рассматриваемые проекты:

- «просмотр» учебного материала (в виде анимаций, видеокурса лекций и т.д.);
- освоение только предлагаемого преподавателем материала (в виде презентаций, текстов лекций),
- изучение учебного материала с привлечение справочной литературы;
- изучение учебного материала с использованием справочной литературы и информации из Интернета.

В докладе представлены результаты применения методики определения параметров системы дистанционного обучения по критерию обеспечения максимального объема изученного материала за фиксированное время обучения с использованием модели динамического программирования.

УДК 004.771

Методы моделирования в системе дистанционного обучения

Кондратёнок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Решение сложных задач управления в образовательной системе сейчас практически невозможно без предварительного моделирования процессов обучения. С другой стороны, в образовании наметилась тенденция подготовки специалистов с большей долей самостоятельной познавательной деятельности обучаемого. Данная тенденция привела к активному использованию в образовательном процессе новой формы обучения - дистанционного обучения (ДО) на основе современных информационных технологий (LMS - Learning Management System - системы дистанционного обучения или СДО).

Цель доклада - представить результаты анализа методов моделирования учебного процесса в СДО.

Выбор вида модели определяется характером процесса и задачей управления. Цель моделирования - проанализировать возможность оптимизации процесса по заданному критерию.

К основным типам моделей, применяемых для решения задач управления в образовательной системе, относят аналитические и

графовые. К графовым относятся различные варианты семантических сетей, когнитивные карты, сети Петри, цепи Маркова.

В докладе рассмотрены основные особенности сетей Петри, отмечена их асинхронность во времени, что не предоставляет возможным моделирование процесса освоения материала группой обучаемых при «смешанном» обучении.

Также затронут вопрос использования для моделирования цепей Маркова. Отмечена при этом сложность марковской модели функционирования системы, а также необходимость учета фактора неопределенности анализируемых переменных и случайности событий, из-за чего традиционно используемый для учета стохастической неопределенности вероятностный подход не всегда применим из-за недостатка статистической информации о состоянии сложной системы.

Анализ результатов проведенных исследований позволил сделать вывод, что процесс обучения целесообразно описывать при помощи полумарковских процессов, которые являются одним из эффективных инструментов анализа функционирования систем, базирующемся на вероятностном подходе и оценке вероятностей нахождения системы в различных состояниях.

УДК 621.319

**Методика оптимизации алгоритма совместной обработки
решений об обнаружении летательного аппарата
пространственно-разнесенными датчиками**

Мелец А.Ф., Нефёдов Д.С.

Республиканское производственное унитарное предприятие
«Завод точной электромеханики»,

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Многодатчиковые системы пассивной локации (МСПЛ), построенные на базе разведывательно-сигнализационных приборов (РСП, датчиков), широко используются для обнаружения наземных и воздушных объектов. Наряду с совершенствованием алгоритмов обработки сигналов в датчиках, актуальной является задача совместной обработки информации, получаемой ими в пространственно-разнесенных точках. Совместная обработка, использующая пространственные отличия полезных сигналов и естественных помех, позволяет повысить тактико-технические характеристики МСПЛ.

По аналогии с многопозиционной радиолокацией, объединение информации в МСПЛ можно осуществлять на уровне сигналов или уровне единичных замеров [1]. Достоинствами объединения единичных замеров

являются снижение требований к пропускной способности линий передачи данных, увеличение количества датчиков, простота технической реализации, высокая скрытность работы, большая надежность и живучесть системы.

Если единичными замерами являются частные решения об обнаружении объекта пространственно-разнесенными датчиками, алгоритм совместного обнаружения представляет собой суммирование этих решений и сравнение суммы с порогом. Эффективность данного алгоритма зависит от количества датчиков в системе, вида решающего правила и вероятностных характеристик каждого датчика. Оптимизируют алгоритм путем выбора правила принятия решения об обнаружении.

В докладе рассмотрена методика оптимизации алгоритма совместного обнаружения ЛА в электростатической МСПЛ. С использованием разработанной методики определено правило принятия решения об обнаружении ЛА, позволяющее по сравнению с однопозиционным обнаружением, увеличить расстояние между датчиками в среднем в 1,8 раза.

Литература:

1. Черняк, В.С. Многопозиционная радиолокация – М.: Радио и связь, 1993. – 418 с.

УДК 621.396.1.001.24

Пространственно-временная обработка сигнала в бортовых радиолокационных станциях с синтезированной апертурой антенны

Гриднев Ю.В., Пальцев В.А.
ФТИ НАН Беларуси,

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Существуют различные критерии оптимальности при синтезе систем обработки сигналов радиолокационных систем (РСА) (критерий Неймана-Пирсона, максимального отношения сигнал/шум и т.д.).

При любом из подходов задача синтеза приводит к тому, что оптимальное устройство должно формировать сигнал радиоимпульсов посредством процедуры обработки принимаемого сигнала с точностью до постоянного множителя.

В качестве опорной функции выбирается взвешенная функция, с точностью до начальной фазы комплексно-сопряженная с сигналом, отраженным от одиночной точечной цели. Процесс дискретной обработки, аналогично, разделяют на последовательность элементарных операций: демодуляцию, взвешивание, накопление и вычисление модуля.

В рассматриваемых системах воздушного базирования обработка сигнала осуществляется на основе известных принципов раздельной обработки, таких как междуканальная обработка отраженного сигнала в антенне и междупериодная – в приемном устройстве.

Кроме того, как и в известных радио-локационных системах, так и в рассматриваемых РСА не учитываются пространственно-временные (ПВ) корреляционные связи сигнала цели и сигнала пассивной помехи, что не позволяет адекватно (полностью) обработать принятый сигнал. Следовательно, для улучшения качества обработки полезного сигнала, при синтезе РСА необходимо применять принципы единой ПВ обработки отраженного сигнала на фоне пассивных коррелированных помех.

Таким образом, в структурную схему РСА необходимо после системы внутрипериодной обработки (согласованный фильтр дальности) добавить ПВ систему обработки, которая бы осуществляла единую междупериодную и междуканальную обработку принятого сигнала.

Учет ПВ корреляционных связей полезного сигнала и сигнала пассивной помехи позволит увеличить отношение сигнал/шум, что приведет к увеличению дальности обнаружения цели, точности измерения ее координат, повысит качество распознавания объектов на фоне земной поверхности.

УДК 681.3

LMS – автоматизированные системы управления обучением

Попова Ю.Б., Яцынович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Система управления обучением (англ. Learning Management System, LMS) представляет собой программный продукт для управления, хранения документации, осуществления контроля, сбора отчетности и обеспечения электронного обучения в рамках образовательных курсов или учебных программ [1].

Понятие «система управления обучением» (LMS) включает в себя как системы управления образовательными курсами и учебной документацией, так и программное обеспечение для проведения онлайн и/или смешанных курсов для учащихся через Интернет с функциями совместной работы в сети. LMS является базисом, который охватывает все аспекты процесса обучения и предоставляет инфраструктуру для таких задач, как обеспечение и управление учебным содержанием, оценка обучения, определение целей обучения, отслеживание прогресса в достижении этих целей, сбор и предоставление данных для контроля процесса обучения организации в целом [2].

Надежная LMS должна предоставлять следующий набор функций: централизовать и автоматизировать администрирование; использовать самообслуживание и предоставлять услуги, не требующие сторонней помощи; организовывать и обеспечивать обучение в максимально быстрые сроки; консолидировать образовательные начала и идеи на масштабируемой веб-платформе; поддерживать существующие стандарты образования; персонализировать контент и повторное использование знаний [1].

Большинство LMS являются веб-ориентированными и построены с использованием таких платформ разработки, как Java/J2EE, Microsoft .NET или PHP . Как правило, они используют такие системы управления базами данных, как MySQL, Microsoft SQL Server или Oracle в качестве слоя хранения данных.

Литература:

1. Ellis, Ryann K. Field Guide to Learning Management Systems, ASTD Learning Circuits – 2009.

2. Szabo, Micheal; Flesher, K. CMI Theory and Practice: Historical Roots of Learning Management Systems. Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2002 (White Paper) (Montreal, Canada: In M. Driscoll & T. Reeves (Eds.)): P. 929–936. ISSN 1-880094-46-0.

УДК 621.311.7:621.382

Особенности фазового способа управления двухфазным асинхронным двигателем при питании обмоток одно- и многократными ШИМ-последовательностями

Симаньков В.И.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью
«ОКБ ТСП»

Существуют различные цифровые способы управления двухфазным асинхронным двигателем (частотный, широтный, фазовый, временной и др.), которые отличаются регулируемыми параметрами и формой напряжений питающих обмотки двигателя. В литературе сведений и рекомендаций по применению каждого из способов крайне мало. Поэтому был исследован цифровой фазовый способ управления двигателем, обмотки которого питаются напряжениями однократной или многократной ШИМ-последовательностями с замыканием и без замыкания обмоток в процессе регулирования.

Для исследований был создан испытательный стенд содержащий, задающее устройство, усилительно-преобразовательное устройство, двухфазный двигатель, исполнительный механизм, нагрузку и цифровой

датчик положения. На стенде проверены различные алгоритмы управления двигателем, сняты диаграммы напряжений и токов обмоток двигателя, построены их спектры, сняты и построены регулировочные характеристики, измерено энергопотребление привода.

Замыкание обмоток двигателя при регулировании снижает энергопотребление на 50% (при номинальной скорости для однократной ШИМ), улучшает спектральный состав напряжений и токов обмоток двигателя (коэффициент несинусоидальности $K_{НС}$ напряжения увеличивается на 7,3%, а тока на 3,3%), улучшает линейность регулировочной характеристики (в некотором случае снижает на 32,2 % максимальное абсолютное отклонение), обеспечивает подъем на 13,2 град ФЧХ в области малых частот (при однократной ШИМ), уменьшает постоянную времени и коэффициент усиления привода на 38,4%. Использование многократной (четырёхкратной) ШИМ, дополнительно увеличивает $K_{НС}$ напряжения на 4,2%, а тока на 2,7%.

В среде MATLAB разработана специальная программа, позволяющая определить параметры передаточной функции привода, содержащего ДАД, которые необходимы для расчета цифровых корректирующих устройств системы. Результаты исследований доведены до инженерной практики и ориентированы на использование современных информационных технологий.

УДК 621.311.7:621.382

Особенности временного способа управления двухфазным асинхронным двигателем при питании обмоток одно- и многократными ШИМ-последовательностями

Стрижнев А.Г., Шихов А.А., Симаньков В.И.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью
«ОКБ ТСП»

В докладе рассмотрена сущность временного способа управления двухфазным асинхронным двигателем, обмотки которого питаются напряжениями в виде однократной или многократной ШИМ-последовательностями с замыканием и без замыкания обмоток в процессе регулирования. Для исследований был создан испытательный стенд, состоящий из задающего устройства, усилительно-преобразовательного устройства, двухфазного двигатель-генератора ДГ-2ГА, исполнительного механизма, нагрузки и цифрового датчика положения. С помощью стенда проверены различные алгоритмы управления двигателем, сняты временные диаграммы напряжений и токов обмоток двигателя, построены их спектры, сняты и построены регулировочные характеристики и измерено энергопотребление привода при регулировании скорости

двигателя. Особенностью временного способа управления является повышенная чувствительность электродвигателя в области малых сигналов и хорошая линейность характеристик во всем диапазоне регулирования. Применение замыкания обмоток в процессе регулирования позволяет снизить энергопотребление на 33%, улучшить спектральный состав напряжений и токов, питающих обмотки двигателя (коэффициент несинусоидальности $K_{НС}$ напряжения увеличивается на 13,3%, а тока – на 12,8%), улучшить линейность регулировочной характеристики двигателя (максимальное абсолютное отклонение снижается в некотором случае на 35,4%), обеспечить подъем ФЧХ в области малых частот на 12 град и уменьшить постоянную времени и коэффициент усиления передаточной функции в некотором случае на 37,7%. Использование многократной (четырёхкратной) ШИМ-последовательности дополнительно улучшает спектральный состав напряжений и токов (коэффициент несинусоидальности напряжения $K_{НС}$ увеличивается на 4,2%, а тока – на 2,7%). На основе экспериментально полученных данных и программы, разработанной в среде MATLAB, была определена передаточная функция привода, содержащего ДАД, и ее параметры, которые необходимы для расчета цифровых корректирующих устройств. Результаты исследований доведены до инженерной практики и ориентированы на использование современных информационных технологий.

УДК 621.382

Определение и компенсация влияний неуравновешенной нагрузки на работу цифровой следящей системы

Стрижнев А.Г., Ледник Г.В., Шихов А.А., Русакович А.Н.

Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью
«ОКБ ТСП»

Многие цифровые следящие системы (ЦСС) имеют неуравновешенную нагрузку (НН), которая оказывает отрицательное влияние на точность их работы. Определение НН традиционными способами с использованием информации от дополнительных датчиков момента или положения нагрузки является сложной и трудно реализуемой задачей. Применение известных механических способов для определения и устранения статической и динамической неуравновешенности нагрузки возможно только на стадии изготовления механизмов и деталей и требует наличия специального оборудования и контрольно-измерительной аппаратуры.

В докладе предлагается способ определения влияний НН на точность работы ЦСС и метод их компенсации. Для определения влияния НН на точность работы ЦСС систему переводят в тестовый режим работы. С помощью задающего устройства формируют тестовый сигнал a_i , который

подают на вход системы и в процессе ее работы записывают текущие значения ошибки c_i и угла φ_i поворота нагрузки. Используя полученные данные, строят графики и составляют аналитические выражения зависимостей текущей ошибки c_i в функции угла поворота φ_i . При работе ЦСС в диапазоне рабочих углов и наличии НН, ошибка слежения не остается постоянной, а изменяется. Для исключения влияния НН на приводной механизм предлагается следующий метод компенсации. Вначале изменяют структуру системы: дополнительно вводят цифровой вычислитель (ЦВ) и цифровой сумматор (ЦС).

На основе составленных аналитических выражений для c_i с помощью ЦВ и ЦС формируют управляющие сигналы q_i . В процессе работы системы контур управления их обрабатывает и устраняет нелинейность ошибки слежения. Проверка влияний НН на точность работы ЦСС и компенсация этих влияний проводилась на приводе вертикального наведения оптико-электронной системы.

В результате проверки было экспериментально подтверждено уменьшение диапазона изменений ошибки системы более чем в 4 раза.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности использования предложенного способа при определении влияний НН и высокой эффективности метода компенсации влияний НН на работу ЦСС.

УДК 681.3

Программная реализация эффективного кода Хаффмана

Коптевич Е.В., Пентегов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является разработка программного приложения для изучения студентами эффективного кодирования в рамках курса «Основы информационных технологий».

Эффективное кодирование данных по Хаффману применяется при сжатии фото- и видеоизображений (JPEG, стандарты сжатия MPEG), в архиваторах (PKZIP, LZH), в протоколах передачи данных MNP5 и MNP7.

Исходными данными для построения кода Хаффмана является таблица вероятностей букв алфавита. Далее на основании этой таблицы строится дерево кодирования Хаффмана (H-дерево) в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Буквы входного алфавита образуют список свободных узлов, которые располагаются в порядке убывания их вероятности;
2. Выбираются два свободных узла дерева с наименьшими весами;
3. Создаётся их родитель с весом, равным их суммарному весу;

4. Родитель добавляется в список свободных узлов, а два его потомка удаляются из этого списка;

5. Одной дуге, выходящей из родителя с большей вероятностью, ставится в соответствие бит 1, другой — бит 0;

6. Шаги, начиная со второго, повторяются до тех пор, пока в списке свободных узлов не останется только один свободный узел. Он и будет считаться корнем дерева;

7. Двигаясь от корня дерева до буквы алфавита можно записать соответствующую ей кодовую комбинацию.

В программе исходная вероятность букв задаётся в виде двумерного массива. При построении эффективного кода используются четыре многомерных массива – массив вспомогательных букв, массив битов, массив имён рёбер, массив путей дерева. По мере заполнения массива вспомогательных букв (шаги 2-6) заполняется массив имен ребер и массив бит. Затем для каждой букве по таблице битов и вспомогательных букв определяется код Хаффмана, а также параллельно строится дерево.

Разработанное приложение успешно используется при проведении лабораторно-практических занятий в Гродненском филиале кафедры «Информационные системы и технологии» Международного института дистанционного образования. Для удобства работы студентов приложения имеет справочную систему, которая содержит теорию построения кода Хаффмана и описание интерфейса.

УДК 621.391

Способ сжатия информации в автоматизированных системах.

Уласюк Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

В системах передачи данных от различных информационных систем, территориальная сосредоточенность пунктов сбора информации налагает жесткие технические требования к средствам передачи данных. Особо выделяются системы эксплуатационного контроля с обратными связями. Например, в интегрированной автоматизированной системе технологического контроля (ИАСТК) контроль за работой турбогенераторов на АЭС и их систем возбуждения и охлаждения осуществляется системой виброконтроля и защиты «Лукомль», контроллерами сбора аналоговой и цифровой информации, регистраторами РАС-ИТМ, а также системой централизованного контроля А701-03. Скорость передачи и достоверность информации внутри ЛВС предельно высока и достаточна для принятия оперативных действий. Циклический обмен данными между РСТК и первичными системами сбора аналоговой и дискретной информации осуществляется с

интервалами времени T , не превышающими 1(2) с. Общая скорость передачи данных в используемых сетях первичных интерфейсов (RS232, RS485...) на порядок меньше скорости в ЛВС и согласуется с помощью специального программного обеспечения.

Для выравнивания скоростных потоков сети первичных интерфейсов и ЛВС предлагается метод повышения пропускной способности каналов низкоскоростной сети до уровня ЛВС. Импульсы передачи данных в каждом канале далее рассматриваются как перекрывающиеся во времени импульсы.

Особенностью использования метода сжатия данных является многократное сжатие исходных данных до минимально возможного значения, которое определяется минимальным количеством узловых точек для интерполятора. Например, для числа узловых точек 3, децимации между ними 64 и разрядности одного отсчета 32 минимальное значение составляет 96 Бит.

С целью снижения временных затрат на многократные процедуры компрессии/декомпрессии указанные схемы можно реализовать на быстродействующих процессорах, созданных на основе перепрограммируемых логических матриц Spartan 6 LX150 FPGA, можно заменить побитный ввод информации на вход компрессора алгоритмом параллельно-последовательного ввода. В результате производительность компрессора увеличивается как минимум в 64 раза.

УДК 004.94:378

Построение программного обеспечения на основе непрерывной интеграции

Дадыкин А.К., Ермолаев А.А.

Белорусский национальный технический университет

Существует множество различных техник, облегчающих разработку и сопровождение программного обеспечения (ПО) в промышленных масштабах: тестирование, система управления версиями, система отслеживания ошибок, автоматизированная система сборки и развертывания и т.д. Непрерывная интеграция (Continuous Integration, CI) объединяет все эти компоненты в единое целое.

Непрерывная интеграция – это практика разработки программного обеспечения, которая заключается в выполнении частых автоматизированных сборок проекта для скорейшего выявления и решения интеграционных проблем.

Термин CI был введен Мартином Фаулером и Кентом Бекон. Данный термин был придуман ими для обозначения практики частой интеграции

проекта. В настоящее время СИ одна из практик, применяемых в семействе гибких методологий разработки ПО.

Когда большое число разработчиков совместно работают над сложными программными проектами, интеграция разных частей кода может превратиться в длительный процесс с непредсказуемыми результатами. Однако на проектах, где процесс разработки строится на основе методик СИ, проблемы и риски, связанные с интеграцией, сведены к минимуму.

В проекте, выполняемом одним человеком, интеграция ПО не является существенной проблемой, но при увеличении сложности проекта возникает необходимость в интеграции и проверке слаженной работы компонентов ПО. СИ снижает трудоёмкость интеграции и делает её более предсказуемой, за счет наиболее раннего обнаружения и устранения ошибок и противоречий.

В сущности, СИ гарантирует совместимость недавних изменений во вновь разработанном ПО с остальной частью ПО. На более высоком уровне СИ повышает коллективную ответственность группы разработчиков и снижает трудоемкость проекта, уменьшая объем ручного труда, выполняемого при каждой интеграции.

Если описать данную методику в несколько фраз, то это: “всегда есть рабочая версия”, “автоматизированная сборка”, “всегда известно, в каком состоянии прибывает проект”.

УДК 621.391.25

Уязвимость алгоритма формирования общего ключа с помощью искусственных нейронных сетей к простой и геометрической атакам

Голиков В.Ф., Брич Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Использование синхронизируемых искусственных нейронных сетей (ИНС) является одним из перспективных решений задачи формирования общего секретного ключа. Архитектура на стороне отправителя и получателя представляет собой двуслойный перцептрон (TRM-архитектура), состоящий из K внутренних перцептронов, каждый из которых имеет N входов. В случае простой атаки (атаки методом грубой силы) злоумышленник E знает значения входного вектора x_{ij} , выходов

Z^A на каждом шаге обучения; использует то же правило обучения, что и легитимный отправитель A (однако вместо значения Z^E использует Z^A). В случае геометрической атаки злоумышленник не пропускает итерацию,

при которой $Z^A \neq Z^B$, а корректирует значения своих весов по особому правилу. Для изучения особенностей сетей Кинцеля была разработана имитационная модель (консольное приложение) на языке высокого уровня Python 3.2. Приложение позволяет анализировать свойства ИНС и моделировать основные типы атак. Простая атака является наиболее эффективной при минимальных значениях параметров ИНС (количество персептронов, количество входов в персептрон, диапазон значений весов). При увеличении параметров N, K, L атака становится менее эффективной, однако все равно возможна ситуация, при которой $t_{learning}^{AE} \leq t_{learning}^{AB}$. Эффективность геометрической криптоатаки уменьшается с увеличением количества внутренних персептронов. Это объясняется тем, что одному выходному значению $Z^{\frac{A}{B}}$ соответствует комбинаций выходных значений внутренних персептронов $y_k^{\frac{A}{B}}$. Зависимость от диапазона значений весов и количества входов в персептрон выражена не настолько явно, однако с увеличением этих значений вероятность атаки незначительно снижается, поскольку конкретное $y_k^{\frac{A}{B}}$ может быть сформировано из нескольких комбинаций весов $w_k^{\frac{A}{B}}$.

УДК 621.391.25

Исследование процесса синхронизации искусственных нейронных сетей Кинцеля

Голиков В.Ф., Пивоваров В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Искусственная нейронная сеть (ИНС) представляет собой сеть элементов (искусственных нейронов), связанных между собой синаптическими соединениями. Математической моделью нейросети является персептрон.

ИНС считаются синхронизированными, если совпадают значения векторов весовых коэффициентов персептронов сетей (изначально значения принимаются различными и случайными). Подавая на входы персептронов одинаковые случайные вектора и сравнивая между собой выходные значения, можно корректировать значения весов. В результате многократного повторения эти величины в некоторый момент времени станут равными.

В процессе синхронизации двух сетей единственными данными, которые знают стороны А и В друг о друге, являются выходные величины Z^a и Z^b . Учитывая тот факт, что у двух синхронизированных ИНС всегда совпадают выходные величины на любом векторе синхронизирующих чисел \vec{x} , предлагается следующее решение задачи остановки процесса синхронизации. Процесс синхронизации двух ИНС можно прекращать в связи с тем, что сети будут синхронизированы с некоторой вероятностью, если достигнуто определенное количество последовательных совпадений выходных величин синхронизируемых ИНС. Причем среднее количество совпадений, при котором сети будут синхронизированными, зависит как от размерности вектора весовых коэффициентов, так и величины L – границы значений весовых коэффициентов.

Так как коррекция векторов весов обеих сетей происходит тогда и только тогда, когда обе выходные величины равны друг другу ($Z^a = Z^b$), а внутри данной сети корректируются веса только тех персептронов, выходная величина которых равна величине Z всей сети, то в процессе синхронизации могут появляться нерезультативные шаги, т.е. на определенных векторах синхронизирующих чисел синхронизация происходить не будет. Экспериментально была получена вероятность появления нерезультативного такта при нечетном количестве персептронов в сети при четном количестве персептронов в сети, где N – количество возможных состояний рассматриваемой сети. Для сокращения нерезультативных шагов предлагается посылать на вход сетей не один вектор синхронизирующих чисел, а сразу несколько.

УДК 62-531.7

Облачные технологии в обработке больших объемов информации

Казакевич К.В., Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Применение облачных вычислений является одним из стратегических направлений развития информационных технологий.

Первоначально концепция использования вычислительных ресурсов по принципу обеспечения повсеместного и удобного сетевого доступа по требованию к общему пулу конфигурируемых вычислительных ресурсов была предложена в 1960-е годы Джоном Маккарти, но массовое распространение приобрело в 2000-х годах благодаря использованию компаниями Google и Amazon в своих продуктах.

В работе проведен сравнительный анализ обработки больших объемов данных используя последовательные и параллельные подходы, рассмотрены преимущества и недостатки облачных технологий на примере использования сервиса Google App Engine, технологии

параллельных вычислений MapReduce и нереляционной базы данных BigTable.

MapReduce – модель распределённых вычислений, представленная компанией Google, используемая для параллельных вычислений над большими наборами данных в компьютерных кластерах (облаках).

Преимущество MapReduce заключается в том, что он позволяет распределенно производить операции предварительной обработки и свертки. Операции предварительной обработки работают независимо друг от друга и могут производиться параллельно.

В отличие от популярных СУБД, хранилище BigTable не является реляционной базой данных, в частности не поддерживает схему и не требует нормализации данных. Архитектура платформы поддерживает масштабирование без изменения кода. Нереляционный характер хранилища требует от разработчиков использования нетрадиционной архитектуры хранения и обработки данных.

УДК 621.318.681.3

Методы математического программирования

Раджух М.А.

Белорусский национальный технический университет

Математическое программирование – раздел прикладной математики, изучающий методы поиска экстремума функций используются при решении оптимизационных задач, в частности, при синтезе объектов, выполняемых оптимизационными методами.

По типу целевых функций математическое программирование подразделяется на линейное и нелинейное математическое программирование. Иногда в отдельную группу выделяют квадратичное, выпуклое и квазивыпуклое математическое программирование.

В зависимости от возможности нахождения алгоритмом локального либо глобального экстремума, они делятся на алгоритмы локального и глобального поиска. При поиске экстремума целевой функции целесообразно совместно использовать алгоритмы глобального и локального поиска.

Принцип максимума позволяет решать задачи управления, в которых на управляющие параметры наложены весьма общие ограничения, Благодаря этому принцип максимума является основным математическим приемом, используемым при расчете оптимального управления во многих важных задачах математики, техники и экономики.

При аналитическом конструировании оптимальных регуляторов математическая модель объекта управления описывается системой

обыкновенных дифференциальных уравнений, в которые входят следующие составляющие $\mathbf{x} = [x_1 \dots x_n]^T$ – вектор состояния системы, $\mathbf{u} = [u_1 \dots u_m]^T$ – вектор управления, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n$, $\mathbf{u} \in U \subseteq \mathbb{R}^m$, $m \leq n$, U - ограниченное множество.

Задано начальное состояние объекта управления

$$\mathbf{x}(0) = [x_1^0 \dots x_n^0]^T .$$

Заданы функционалы, определяющие критерии качества управления

$$J_i = G_i(\mathbf{x}(t_f)) + \int_0^{t_f} F_i(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t)) dt, \quad i = \overline{1, M},$$

где t_f – длительность процесса управления.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Вычисление векторов потокосцеплений и угловой скорости ротора по моделям асинхронного двигателя

Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет

В современных системах прямого и косвенного векторного управления асинхронным двигателем (АД) векторы потокосцеплений ротора, взаимоиндукции и статора не измеряют, а вычисляют по моделям. Существует много моделей для вычисления этих потокосцеплений. Например, вектор потокосцепления ротора может вычисляться по уравнениям ротора при наличии датчика скорости. Модель достаточно простая, но имеет недостаток, связанный с изменением активного сопротивления ротора в процессе работы. Более распространено вычисление вектора потокосцепления ротора по уравнениям статора АД в неподвижных осях координат $\alpha - \beta$. В эти уравнения входит более стабильное активное сопротивление статора.

Вектор потокосцепления взаимоиндукции можно вычислять по модели с использованием составляющих вектора потокосцепления ротора и вектора тока статора по осям координат $\alpha - \beta$, а также по уравнениям статора в осях $\alpha - \beta$, где входными величинами являются напряжение и ток статора.

Вектор потокосцепления статора всегда вычисляют по уравнениям статора. Во все модели вычисления потокосцеплений АД входит операция интегрирования, которая приводит к определенным трудностям, связанным с дрейфом нуля интегратора, влиянием шумов и изменением активного сопротивления статора. Погрешности интегратора особенно проявляются на низких частотах. Для уменьшения дрейфа нуля и влияния шумов в интеграторе применяют фильтр низких частот. С целью повышения точности вместо простых моделей используют наблюдатели-устройства, работающие с отрицательной обратной связью, которая снижает чувствительность к изменению параметров.

В бездатчиковых системах векторного управления АД вычисляют не только векторы потокосцепления, но и скорость ротора. Опять-таки имеется несколько вариантов вычисления скорости ротора АД. Все они включают составляющие вектора потокосцепления ротора по осям $\alpha - \beta$ и составляющую тока (иногда и напряжения) статора по одной оси. И здесь нестабильность параметров, особенно сопротивления ротора, вносит заметную погрешность в вычисления.

Современное состояние электроприводов горных машин для открытых разработок

Константинова С. В.

Белорусский национальный технический университет

Современные горные предприятия представляют собой предприятия с высоким уровнем механизации, на которых сосредоточено большое количество машин различного функционального назначения. На открытых разработках в качестве выемочных машин широко применяются экскаваторы, для которых наиболее отработанным и привычным для эксплуатации является электропривод по системе Г-Д.

Наряду с общепризнанными достоинствами эта система обладает рядом недостатков: наличие электромашинных преобразовательных агрегатов (износ подвижных частей вызывает необходимость в систематических профилактических ремонтах), значительные потери, большие массогабаритные показатели, недостаточное быстродействие. В связи с чем определилась общая тенденция замены такой системы главных приводов на систему ТП-ДПТ и ПЧ-АД. В настоящее время для электропривода экскаваторов перспективным является применение частотно-регулируемого ЭП переменного тока, в частности ПЧ с нерегулируемым входным выпрямителем, промежуточным звеном постоянного тока и выходным инвертором регулируемой частоты с формированием синусоидального выходного напряжения методом широтно-импульсной модуляции. Согласно проводимым исследованиям, внедрение этих систем на экскаваторах обеспечивает повышение производительности на 5-7%, уменьшение потребления электроэнергии на 20-25%, уменьшение эксплуатационных расходов на 10-15%, улучшение условий эксплуатации экскаватора в целом.

Основным препятствием для широкого применения на экскаваторах, в качестве привода главных механизмов, электропривода переменного тока (частотного) является повышенная сложность оборудования и недостаточная отработка изделий для тяжелых условий эксплуатации, дополнительная сложность в обеспечении тормозных режимов реверсивных электроприводов (например, при спуске груза), высокая стоимость по сравнению с электроприводами постоянного тока. Сравнительные расчеты, проведенные фирмой «Сименс» показали, что если принять стоимость комплекта для электропривода постоянного тока за 100%, то для переменного тока цена комплекта составит 150-170%. При этом цены комплектов электрических машин примерно равны.

Частотно-регулируемые электроприводы тягодутьевых машин

Шишмарев Д.И., Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Мощные тягодутьевые машины (ТДМ), к которым относятся дымососы и вентиляторы с производительностью более 130 тыс. м³/час, в основном оснащаются высоковольтным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором (АД КЗ). Достаточно много ТДМ выполняются с АД КЗ мощностью от 320 до 1000 кВт и номинальным напряжением 6 кВ.

В настоящее время для частотного регулирования скорости АД КЗ конкурентоспособными при модернизации электропривода ТДМ могут быть использованы следующие два вида высоковольтных преобразователей частоты (ВПЧ), которые подключаются между питающей сетью 50 Гц 6 кВ и статором электродвигателя:

1. ВПЧ с входным многообмоточным трансформатором и многоуровневым транзисторным инвертором напряжения, который содержит в каждой выходной фазе несколько транзисторно-диодных ячеек, соединенных последовательно для получения номинального напряжения 6 кВ;

2. ВПЧ с понижающим входным трансформатором 6/0,4 кВ, транзисторным преобразователем частоты низкого напряжения (на 0,4 кВ) и повышающим выходным трансформатором 0,4/6 кВ. Выходное напряжение низковольтного преобразователя частоты имеет сложный состав высокочастотных гармонический составляющих, поэтому перед выходным трансформатором обязательно устанавливают силовой синусный LC-фильтр (для устранения высокочастотных составляющих напряжения).

Такие ВПЧ, например, производит ЗАО «ЭРАСИБ» под марками «ЭРАТОН-В» (1-го вида) и «ЭРАТОН-ВНВ» (2-го вида) [1].

Частотно-регулируемый электропривод ТДМ может быть реализован также с высоковольтным асинхронным электродвигателем с фазным ротором (АД ФР) и преобразователем частоты в роторной цепи электродвигателя. ЗАО «ЭРАСИБ» производит такие ВПЧ под маркой «ЭРАТОН-ФР».

ОАО «Сибэнергомаш» (г. Барнаул) и ОАО «Тайра» (г. Новосибирск) производят комплектные частотно-регулируемые электроприводы для ТДМ с преобразователями частоты ЗАО «ЭРАСИБ».

Литература:

1. Официальный вебсайт электротехнической компании ЗАО ЭРАСИБ // <http://www.erasib.ru> .

**Методы расчета энергетических показателей электроприводов с
вентильными преобразователями**

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Преобразователи на полупроводниковых вентилях потребляют из питающей сети электрическую энергию дискретно, так как их вентили работают в ключевом (дискретном) режиме. При расчете энергетических показателей электроприводов с вентильными преобразователями используются следующие основные методы: 1) спектральный, 2) интегральный [1] и прямой [2].

По первому методу сначала определяют спектр выходного напряжения (воздействия) преобразователя в виде ряда Фурье, а затем по известным частотным характеристикам системы электропривода находят спектр токов (реакцию системы на спектр воздействия). По полученным спектрам напряжения и тока определяют интегральные энергетические показатели в форме соответствующих сумм. При этом замкнутые аналитические выражения удается получить лишь в простых случаях.

При использовании второго метода по заданным напряжениям сначала определяют мгновенные значения токов на отдельных интервалах проводимости вентилей, а затем определяют мгновенную мощность и интегральные (средние и действующие) значения токов. При этом аналитические выражения для искомым энергетических показателей системы электропривода получаются сложными, особенно при числе интервалов более трех в полупериоде выходного тока.

По третьему методу не требуется находить гармонических составов напряжения и тока (как в первом методе) или мгновенных значений токов (как во втором методе), а энергетические показатели определяют по аналитическим выражениям непосредственно через параметры напряжения (воздействия) и параметры системы электропривода, что позволяет проводить исследования в общем виде и быстро получать результаты при числовых расчетах. В [2] рассмотрено применение прямого метода к расчету энергетических показателей системы электропривода «инвертор напряжения – асинхронный двигатель».

Литература:

1. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
2. Зиновьев Г.С. Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей. – Новосибирск: Новосибирский университет, 1990. – 220 с.

Обеспечение пониженной скорости для крановых механизмов передвижения с помощью тиристорных и транзисторных устройств плавного пуска и торможения

Васильев Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Работа кранового механизма передвижения крана заключается в горизонтальном перемещении подвешенного на крюке груза на заданное расстояние с заданной точностью. В разомкнутых по положению системах асинхронных электроприводов (ЭП) крановых механизмов передвижения, к которым не предъявляются высокие требования к точности остановки, для обеспечения требуемой точности остановки целесообразно использовать двухступенчатое торможение с переходом от номинальной скорости на пониженную. Устойчивую пониженную скорость в таких ЭП можно получить с помощью квазичастотного управления асинхронным двигателем (АД), реализованного на базе устройства плавного пуска и торможения (УПП). При квазичастотном управлении подводимое к АД напряжение представляет собой серию положительных и отрицательных полуволн напряжения питающей сети, получающихся в результате модуляции напряжения каждой фазы сети некоторой знакопеременной переключающей функцией. Знак переключающей функции определяет полярность, а период – число положительных и отрицательных полуволн напряжения питающей сети за период модуляции, и, следовательно, частоту основной гармоники питающего напряжения.

Известно, что квазичастотное управление можно реализовать с помощью тиристорного регулятора напряжения (ТРН) со стандартной силовой схемой на шести тиристорах. Этот вопрос широко изучен и описан в научной литературе. Для уменьшения недостатков режима квазичастотного управления АД с помощью УПП на основе ТРН в ЭП крановых механизмов передвижения автором предлагается использовать УПП на основе импульсного регулятора напряжения (ИРН) с транзисторами. Возможно большее количество силовых схем таких регуляторов. Однако их исследование и сравнение показало, что наилучшими энергетическими и технико-экономическими показателями обладает схема ИРН на трех транзисторах в диагоналях однофазных диодных мостов с шунтирующим трехфазным диодным мостом и однонаправленным транзистором. Использование УПП на основе ИРН, выполненного по такой схеме, позволяет уменьшить по сравнению с ТРН в режиме квазичастотного управления пульсации тока, момента, колебания пониженной скорости, а также потери энергии и, соответственно, нагрев обмоток статора АД.

Применение контроллера нечеткой логики для расчета положения ротора вентильно-индукторного двигателя

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

Основными частями современного регулируемого электропривода являются силовой электрический преобразователь, электромеханический преобразователь и система управления. Особенностью вентильно-индукторного привода состоит в том, что вентильно-индукторный двигатель (ВИД) принципиально не работает без силового коммутатора, управляющие импульсы на который подаются в зависимости от углового положения зубцов статора и ротора. Управление углами включения и отключения фазных обмоток двигателя формируется по сигналам от датчика положения ротора. Такая реализация электропривода является в некоторых случаях неблагоприятной по ряду причин. В этой связи актуальной задачей является построение бездатчиковых электроприводов на основе ВИД.

Построение таких электроприводов возможно различными способами. Один из вариантов реализации бездатчиковых систем основан на косвенном вычислении углового положения на основе выражения:

$$\Psi_k = \int (U_k - i_k \cdot R_k) \cdot dt, \quad (1)$$

где U_k – напряжение питания k -й фазной обмотки двигателя; i_k – ток k -й фазной обмотки; R_k – активное сопротивление k -й фазной обмотки; Ψ_k – потокосцепление k -й фазной обмотки.

Далее по рассчитанному значению потокосцепления и измеренному значению тока по кривой $\psi(i, \theta)$, заданной в памяти управляющего устройства, определяется угловое положение зубцов. Такой способ определения углового положения является наиболее простым. Однако он требует задания в памяти управляющего устройства таблицы зависимости $\psi(i, \theta)$, которая для различных двигателей имеет свой вид. Это обстоятельство не позволяет использовать данный способ универсально. Для создания универсальной системы предлагается использовать не табличные значения кривой $\psi(i, \theta)$, а контроллер нечеткой логики (КНЛ). КНЛ представляет собой структуру, состоящую из блока фазификации, блока базы знаний и блока дефазификации. В блоке фазификации происходит преобразование входных величин сигналов задания в функции принадлежности КНЛ, которые в соответствии с лингвистическими выражениями базы знаний определяют функции принадлежности выходов. В блоке дефазификации функции принадлежности выходов преобразуются в выходные величины сигналов управления.

Исследование электромагнитных процессов в однофазном зарядном устройстве

Примшиц П. П., Мигдалёнок А. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время широко используются так называемые «инверторные» выпрямители, построенные по схеме выпрямитель – высокочастотный инвертор – трансформатор – выпрямитель. Наличие в данной схеме высокочастотного инвертора позволяет, за счёт уменьшения массогабаритных показателей трансформатора и фильтров, в целом существенно уменьшить массогабаритные показатели устройства. Данные схемы могут эффективно применяться в зарядных устройствах аккумуляторных батарей.

Для обеспечения заданных режимов работы может использоваться система автоматического управления (САУ), блок-схема которой представлена на рис. 1.

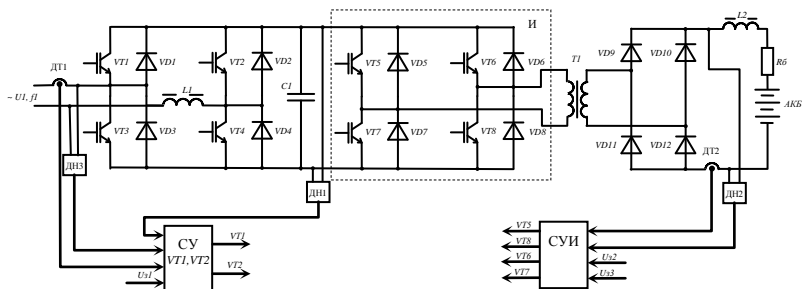


Рис. 1. Блок-схема САУ зарядного устройства

Система управления ключами $VT1, VT2$ (СУ $VT1, VT2$) обеспечивает стабилизацию напряжения на входе инвертора И на заданном уровне и построена по принципу подчинённого регулирования с контурами тока и напряжения. Система управления инвертором СУИ обеспечивает ограничение зарядного тока и напряжения на аккумуляторной батарее, и имеет аналогичную структуру.

Для оценки режимов работы установки была разработана имитационная модель и выполнено моделирование в системе Matlab Simulink. Полученные графики показывают, что система автоматического управления обеспечивает работу зарядного устройства в заданных режимах. Для уменьшения перерегулирования тока заряда батареи необходимо на вход САУ инвертора поставить задатчик интенсивности.

**Программно-алгоритмическое обеспечение устройства
идентификации электромагнитных параметров асинхронного
двигателя**

Однолько Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Процесс оценивания параметров асинхронного двигателя может быть исследован как методом имитационного моделирования на ЭВМ, так и путем проведения эксперимента. Для практической проверки, разработанных в [1] методов оценивания параметров схемы замещения АД необходима разработка программного модуля на основе предложенного в работе алгоритма идентификации с выбором соответствующей аппаратной поддержки.

Для программной реализации модуля идентификации можно успешно использовать микроконтроллер TMS320F28335 фирмы Texas Instruments. Программно-алгоритмическое обеспечение разрабатывается в этом случае на языке C/C++, в специализированной среде программирования CodeComposerStudio (CCS). Для визуализации получаемых процессов используется встроенная в CCS процедура осциллографирования.

Разработанные программные средства обеспечивают работу алгоритма идентификации в реальном времени за счет возникающих прерываний. Для этого нужно правильно сконфигурировать те периферийные регистры, которые отвечают за механизм прерываний процессора. Для реализации алгоритма предварительной идентификации [1] задействованы прерывания от АЦП, таймера центрального процессорного устройства и модуля широко-импульсной модуляции.

Корректность работы системы в этом случае можно оценить по осциллограмме изменения сигнала управления на соответствующих выводах микроконтроллера.

Проведение экспериментальных исследований доказало возможность удобной интеграции разработанного алгоритма предварительной идентификации АД [1] в программное обеспечение микроконтроллера управления электроприводом.

Литература:

1. Однолько, Д. С. Алгоритм полной параметрической идентификации для частотно-регулируемого асинхронного электропривода в режиме наладки / Д. С. Однолько // Информационные технологии и системы 2012: Материалы Междунар. науч. конф., Минск, 24 октября 2011 г. / БГУИР; Редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2011. – с. 288-289.

Управление по выходу в многодвигательном электроприводе

Опейко О.Ф., Логунов А. А.

Белорусский национальный технический университет

Многодвигательные электроприводы применяются в промышленных роботах, обрабатывающих станках, технологических линиях непрерывной обработки материала, в электротранспорте.

Обычно многодвигательный электропривод приводит в движение рабочие органы с несколькими степенями подвижности. Каждая степень подвижности оснащена регулируемым электроприводом.

Для многодвигательных электроприводов характерно, что управление каждым из электроприводов должно подчиняться общей цели управления. Обычно цель управления заключается в том, чтобы выходная регулируемая величина, которая может быть скалярной или векторной, изменялась по заданному закону или стабилизировалась на заданном уровне.

Во многих практически важных случаях выходные регулируемые величины измеряются датчиками. В станках и промышленных роботах это датчики положения, сил нормального давления. В технологических агрегатах непрерывной обработки датчиками измеряются скорость и растяжение материала. В многодвигательном тяговом электроприводе – скорость движения транспортного средства.

Известны следующие виды структур систем многомерного управления: это управление по состоянию, управление по выходу, управление по состоянию и по выходу.

Наличие датчиков выходных регулируемых величин позволяет выполнить синтез системы управления по выходу. Преимуществом управления по выходу является стабильность динамических свойств системы при наличии внешних и параметрических возмущений. Недостатком управления по выходу является необходимость вычисления производных от выходных величин и их использования для формирования сигналов управления электроприводами степеней подвижности, что во многих случаях снижает помехоустойчивость системы.

Эффективность использования производных от выходных величин в сигнале управления зависит от качества датчиков, соотношения инерционности привода и рабочего органа, быстродействия управляющего микроконтроллера.

Таким образом, управление по выходу имеет определенную область применения, и целесообразно, если обеспечивается необходимый уровень помехоустойчивости.

Основные концепции в проектировании современных ветроэнергетических установок

Санкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

За последнее десятилетие ветроэнергетические установки (ВЭУ) демонстрируют быстрый рост генерируемой электроэнергии и наибольший среди возобновляемых источников энергии. В конце 2012 г. суммарная мощность ВЭУ увеличилась до 282,43 МВт по сравнению с 23,9 МВт в 2002г [1]. До недавнего времени, основной электрической машиной для ВЭУ был асинхронный генератор с короткозамкнутым ротором (АГКЗ). В последние годы все чаще применяются установки с переменной скоростью вращения ветровой турбины. Это, в свою очередь, формирует спектр вопросов связанных с управлением такими установками. В ВЭУ существенную роль играют силовые электронные преобразовательные устройства (СЭПУ), являясь составной частью системы с переменной скоростью вращения для достижения высоких энергетических показателей. Даже в системе турбина – генератор с постоянной скоростью вращения, где ВЭУ подключается непосредственно к сети, для мягкого пуска используются тиристорные пускатели. СЭПУ используются для того чтобы привести в соответствие характеристики ВЭУ с требованиями сети включая частоту, напряжение, управление активной и реактивной мощностью, гармонический состав и т. д.

Общим подходом при преобразовании механической энергии при низкой скорости в электрическую является использование генератора со стандартной частотой вращения и мультипликатора. Наиболее распространенными генераторами в ВЭУ являются индукторные (асинхронные) и синхронные.

Доля энергии в режиме переменной мощности весьма значительна и составляет 45-60 % всей энергии вырабатываемой ВЭУ. Установки с переменной скоростью вращения способны работать с оптимальной скоростью как функцией скорости ветра. При этом СЭПУ способен управлять скоростью турбины так, чтобы реализовать алгоритм извлечение максимальной выходной мощности (МВМ).

Современные СЭПУ позволяют реализовать концепцию управления с МВМ для различных типов генераторов. В данной работе разобраны основные концепции в проектировании современных ВЭУ. Сделан анализ применяемых СЭПУ и способов управления режимом МВМ. Выявлены структуры ВЭУ с СЭПУ наиболее полностью отвечающие условиям эксплуатации в Республике Беларусь.

Оценка электрических потерь частотного электропривода

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Оценка электрических потерь электропривода НПЧ-АД производилась на основе Т-образной схемы замещения АД с учетом влияния высших временных гармоник напряжения и тока на работу двигателя. Для такого анализа необходимо сделать гармонический анализ кривой выходного напряжения НПЧ и определить величины временных гармоник тока, которые изменяются в зависимости от частоты выходного напряжения и от значения угла открывания тиристоров α .

При этом определялось такое амплитудное значение выходного напряжения U_{m2} для данной выходной частоты f_2 НПЧ, которое обеспечивает при угле открывания тиристоров $\alpha = 0$ и номинальном токе статора $I_1 = I_n$, постоянство потокосцепления статора $\psi_s = const$.

Определив действующие значения гармоник токов статора $I_1(k)$, токов ротора $I_2'(k)$ и намагничивающего контура $I_\mu(k)$, можно вычислить электрические потери от гармоник токов в статоре и роторе по следующему выражению:

$$P_{эл}(k) = 3 \cdot [r_1(1 + 2\tau_2(k))I_2'^2(k) + r_1 I_\mu^2(k) + r_2' I_2'^2(k)],$$

$$\text{где} \quad \tau_1(k) = x_1(k) / x_\mu(k); \quad \tau_2(k) = x_2'(k) / x_\mu(k).$$

Суммарные электрические потери от гармоник тока в двигателе:

$$P_{эл} = \sum_0^k P_{эл}(k).$$

Анализ величины потерь в меди статора и ротора от высших гармоник тока показывает, что наибольшие потери создают пятые и седьмые временные гармоники. При изменении отношения входной и частоты выходного напряжения НПЧ ν от 2 до 10 для угла открывания тиристоров $\alpha = 0^\circ$ величина потерь в меди от первой гармоники тока составляет не более 7% потерь в меди от первой гармоники, а величина потерь от седьмой гармоники тока – не более 2% потерь в меди от первой гармоники. С увеличением угла α уменьшается величина первой гармоники тока, а содержание высших гармоник увеличивается. Это приводит к росту потерь в меди от высших гармоник относительно потерь в меди от первой гармоники. Например, для $\nu = 2$, $\alpha = 85^\circ$ потери от пятой гармоники тока составляют 48%, а потери от седьмой гармоники – 31% потерь в меди от первой гармоники для данных ν и α .

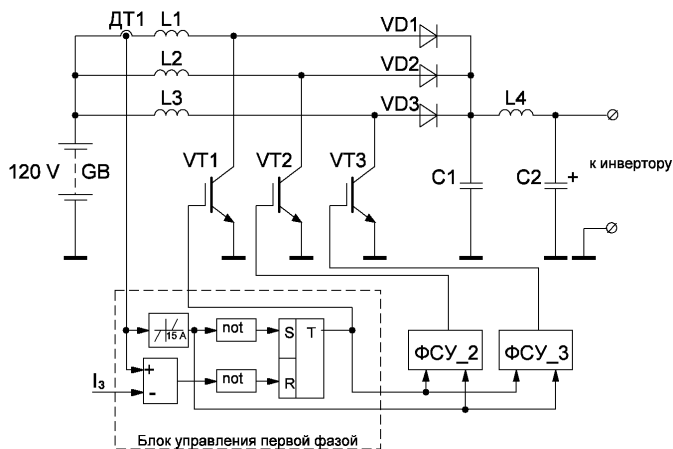
Моделирование трёхфазного повышающего преобразователя постоянного напряжения

Миронович А.В., Примщиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

В автономных установках часто применяются импульсные повышающие преобразователи постоянного напряжения. С целью снижения пульсаций тока, потребляемого от источника постоянного напряжения, используются многофазные схемы. Так в n -фазной схеме имеется n комплектов «индуктивность-транзистор-диод», обеспечивающих накачивание и сброс энергии в нагрузку. Соответственно, фазовый сдвиг должен составлять T/n , где T – период коммутации силовых транзисторов.

Если требуется обеспечить работу такого преобразователя в режиме гранично-непрерывного тока, возникает проблема обеспечения требуемого фазового сдвига, поскольку период коммутации не остаётся величиной постоянной. Для решения данной проблемы в трёхфазной схеме была разработана сложная логическая структура, приведенная на рис. 1.



ФСУ_2 и ФСУ_3 – логические фазосмещающие устройства для фаз 2 и 3 соответственно; ДТ1 – датчик тока в первой фазе

**Рис. 1– Функциональная схема системы управления трёхфазным
повышающим преобразователем**

Открывающие импульсы формируются в первой фазе в функции тока дросселя. В остальных фазах подаются такие же по длительности импульсы, но с требуемым вычисленным фазовым сдвигом.

Алгоритм и программа адаптивного управления электроприводом

Опейко О.Ф., Коноплич С.О.

Белорусский национальный технический университет

Адаптивное управление в контуре технологического регулирования электропривода позволяет получить приемлемое качество динамики системы в случаях, когда технологический объект подвержен изменениям, или свойства его динамики не определены.

Управление формируется на основании сравнения измеряемой датчиком выходной величины y с сигналом задания y^* . Полученная ошибка регулирования $e_k = (y^* - y_k)$ является входной величиной для пропорционально-интегро-дифференцирующего (ПИД) регулятора. Кроме того, ошибка регулирования служит для формирования сигнала настройки.

Параметры регулятора настраиваются в процессе функционирования сигналом настройки так, чтобы сигнал настройки асимптотически приближался к нулевому значению. Устойчивость системы обеспечивается, если выбранная функция Ляпунова убывает на траекториях системы.

Эффективность адаптивного управления подтверждается результатами имитационного моделирования систем электроприводов с адаптивным управлением для ряда технологических объектов.

В системах электроприводов устройства управления реализуются программно на основе микроконтроллеров. Это открывает широкие возможности для формирования разнообразных законов управления.

Алгоритм управления содержит инициализационную часть, где определяются режимы работы периферийных устройств, задаются начальные условия. В циклической части предусмотрен ввод входных сигналов, расчет ошибки регулирования, формирование сигнала настройки, сигналов пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих и сигнала управления.

Программа на языке C++ разработана в интегрированной среде CCSv.4 для микроконтроллера MSP430 фирмы Texas Instruments. Микроконтроллер MSP430 с программой адаптивного управления может быть подключен через последовательный интерфейс к комплектному электроприводу для управления технологическим оборудованием.

Программная реализация адаптивного ПИД регулятора на основе микроконтроллера позволяет получить устройство управления, обладающее универсальностью.

Особенности скользящего управления импульсными преобразователями постоянного тока

Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Импульсные преобразователи постоянного тока (ППТ) находят применение в разнообразных устройствах, таких как блоки питания различного назначения, установки по использованию возобновляемых источников энергии (ветра, солнечной энергии, топливных элементов и др.), в гибридных и электромобилях. Главными причинами поиска новых путей управления ППТ являются: 1) широкий диапазон изменения условий эксплуатации, который не может быть обеспечен контроллером с обратной связью по току на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ); 2) требование быстродействия, которое не может быть удовлетворено иными типами нелинейных контроллеров. Характерными свойствами контроллеров, основанных на скользящем управлении, являются: 1) повышенное быстродействие по сравнению с контроллерами с токовой обратной связью; 2) свойства робастности, характерные для скользящих режимов, работающих на постоянной частоте; 3) устойчивость при изменении условий эксплуатации в широких пределах; 4) более благоприятные переходные процессы. Однако необходимо подчеркнуть, что названные преимущества достигаются ценой более сложной топологии и требуют быстродействующих датчиков тока. Традиционная реализация контроллеров скользящих режимов (КСР) основана на гистерезисной модуляции, что приводит к переменной частоте коммутации и является причиной дополнительного шума [1]. Возможным решением устранения этого недостатка является применение адаптивного регулятора гистерезиса или генерация синхронизирующего сигнала. Оба эти решения усложняют схему. Поэтому поиск направлен на сочетание преимуществ ШИМ-управления в рамках скользящих режимов. ШИМ-управление основано на постоянной частоте генератора сигналов и поэтому частота пульсаций выходного напряжения также постоянно независимо от скважности сигналов управления. Преимущество этого решения заключается в том, что оно не требует дополнительных схемных решений, поскольку переключение производится за счет ШИМ-генератора.

Литература:

1. Utkin V., Guldner J., Shi J.X. Sliding Mode Control in Electromechanical Systems. – London: Taylor & Francis, 1999. – 312 p.

УДК 621.314.1

Микропроцессорное управление с синхронным двигателем с постоянными магнитами

Гульков Г.И., Нго Фьонг Ле

Белорусский национальный технический университет

Для микропроцессорного управления электроприводом в настоящее время широко используются цифровые сигнальные процессоры семейства TMS320. Для отладки программного обеспечения микропроцессоров используются отладочные комплекты Multi-Axis DMS. Комплект содержит материнскую плату, на которой размещены все необходимые элементы для работы электропривода:

- источник питания,
- датчик тока и напряжения,
- два инвертора напряжения.

К плате прилагается демонстрационный двигатель BLY172S-24V-4000, мощностью 40 Вт.

Осуществлено программирование микропроцессора TMS320 F28035 с реализацией программы управления в режиме бесконтактного двигателя постоянного тока. Для разработки программного обеспечения использовалась интегрированная среда разработки Code Composer Studio (CCS). Основные преимущества среды CCS:

- планировщик ядер DSP/BIOSTM;
- возможность анализа в реальном времени;
- визуальный менеджер проектов;
- инструменты для отладки и оптимизации кода;
- плагин для программирования во Флэш;
- компиляторы для C/C+, ассемблера, линкер;
- окно отображения данных в реальном времени, возможность отображения в виде графов;
- автоматическое дополнение названий регистров.

Для экспериментальных исследований разработан экспериментальный стенд, включающий генератор постоянного тока, нагруженный на активное сопротивление. Регулирование момента нагрузки осуществляется путем ШИМ-управления транзистором, шунтирующим нагрузочное сопротивление.

В результате экспериментальных исследований получены графики переходных процессов электромеханических и механических координат электропривода.

Особенности подготовки конечно-элементных моделей сложных транспортных конструкций на примере дорожных машин семейства АМКОДОР

Боровик А. А.

Белорусский национальный технический университет

Моделирование является ключевым этапом в проектировании современных механизмов и конструкций. Создание конечно-элементной сетки (КЭС) для сложных конструкций, включающих в себя множество компонентов, в свою очередь, зачастую является наиболее трудоемким и особо важным этапом подготовки модели. Способ задания КЭС и ее качество оказывают непосредственное влияние на точность и скорость расчета.

Рассмотрены наиболее распространенные подходы к созданию КЭС, описаны преимущества и недостатки каждого из них.

Реализованы три различных подхода к подготовке геометрической модели и созданию конечно-элементной сетки для передней рамы погрузчика АМКОДОР 332С4. Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления.

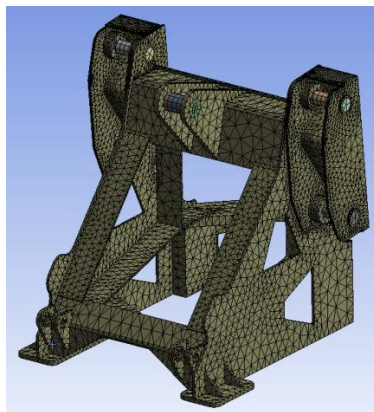
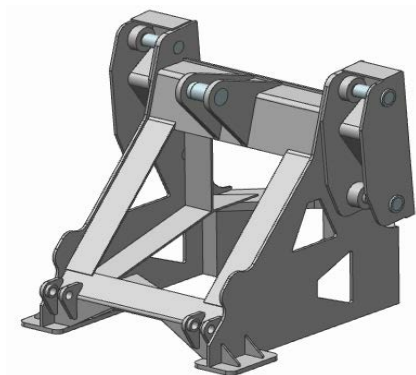


Рисунок 1. Геометрическая модель рамы и построенная сетка

Выполнен расчет конструкции на базе разработанной конечно-элементной модели.

На основании выполненного моделирования были внесены изменения в конструкцию с целью улучшения таких ее характеристик как надежность, устойчивость и, как следствие, увеличение срока эксплуатации.

Особенности реализации имитационной модели системы в вычислительной среде MathCad

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Для имитационного моделирования систем в настоящее время широко используются разнообразные программные средства, такие, например, как система имитационного моделирования GPSS, программный комплекс MATLAB/Simulink, специализированный программный продукт AnyLogic и ряд других. Каждый из них имеет свои несомненные преимущества и достоинства при решении задач имитационного моделирования, связанных с определенным кругом систем. Так GPSS наиболее эффективен при моделировании систем массового обслуживания, MATLAB/Simulink – для моделирования систем управления техническими объектами, AnyLogic ориентирован на моделирование процессов в производственных и бизнес системах.

Вместе с тем, достаточно часто приходится моделировать процессы в системах, математическая модель которых позволяет эффективно использовать пакет прикладных программ MathCad. Так, если процесс функционирования исследуемой системы формализуется в рамках дискретно-стохастической модели и описывается графом вероятностного автомата, то имитационное моделирование можно весьма просто осуществить в среде MathCad.

Для этого достаточно записать две процедуры. Первая из них обеспечивает «случайное» изменение состояния системы за один шаг по времени. Входными (формальными) параметрами процедуры являются номер текущего (начального) состояния и матрица одношаговых вероятностей перехода системы, в результате выполнения процедуры определяется номер состояния системы на последующем шаге. Вторая процедура моделирует поведение системы за произвольное (задаваемое) число шагов. В качестве фактических параметров процедур на этапе моделирования выступают начальное состояние системы, число шагов (длина) реализации и матрица одношаговых вероятностей перехода, которая записывается на основании ориентированного графа системы.

Таким образом, может быть получено произвольное число реализаций процесса функционирования системы. При необходимости определения характеристик системы результаты моделирования могут быть подвергнуты статистическому анализу, который также удобно выполнить в программной среде MathCad.

Особенности спектрального описания сигналов

Кочеров А.Л., Кочерова В.А., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Хорошо известно сколь широко используется спектральный способ описания периодических сигналов в задачах анализа линейных стационарных систем. При этом использование продуктивного аппарата рядов Фурье предполагает знание аналитического выражения периодического сигнала $x_{\text{п}}(t)$ в пределах периода повторения T . Однако в ряде случаев отыскание этого аналитического выражения может представлять собою трудноразрешимую задачу. Вместе с тем, если представить периодический сигнал $x_{\text{п}}(t)$ суммой «задержанных» во времени одиночных сигналов $x(t)$

$$x_{\text{п}}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(t - nT),$$

то задача спектрального описания периодического сигнала в ряде случаев значительно упрощается. Процесс формирования периодического сигнала представлен на следующем рисунке.

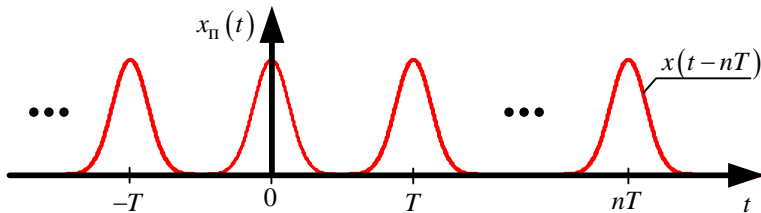


Рисунок 1. Формирование периодического сигнала

В рамках обсуждаемого подхода комплексные коэффициенты ряда Фурье находятся с помощью выражения

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp\left(-in \frac{2\pi}{T} t\right) dt,$$

где i – мнимая единица ($i^2 = -1$).

В докладе продемонстрирован предлагаемый подход спектрального описания на примере конкретных периодических сигналов.

Модель водолазного кессона для ремонтных работ на морской нефтедобывающей платформеСоловьев А.Н.¹, Красновская С.В.², Мирзаванд Мохсен Али²,
Бородуля А.В.²¹ Южный федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону,² Белорусский национальный технический университет

Для проведения глубоководных работ по ремонту должен быть спроектирован специальный бокс, обеспечивающий возможность выполнения сухой сварки (рисунок 1). Кессон представляет собой открытый водолазный колокол. В результате вытеснения воды из внутреннего пространства корпуса, сварка и другие виды работ производятся в сухой среде.

В работе рассматривается трехмерная конечно-элементная модель бокса цилиндрической формы и оценивается его напряженно-деформированное состояние при действующих эксплуатационных нагрузках, представленных воздействием со стороны морских течений, гидростатической и волновой нагрузками. Течения, скорость которых слабо изменяется во времени, рассматриваются как стационарные потоки. При обтекании цилиндра из-за срыва вихрей появляются пульсирующие боковые силы, перпендикулярно направленные потоку.

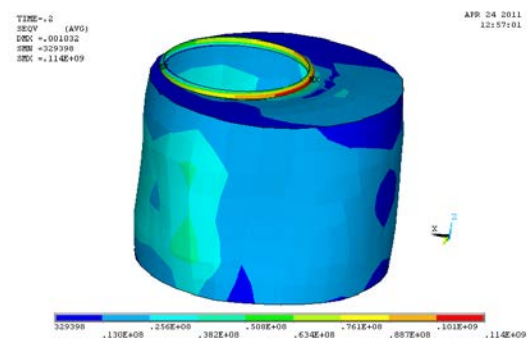


Рисунок 1. Напряженно-деформированное состояние бокса

УДК 621.391.25

Исследование напряженно-деформированного состояния полуприцепа на основе пространственной конечно-элементной модели

Шахнова Т.А., Камран Каземпур Абдолреза, Напрасников В.В.
Белорусский национальный технический университет

Моделирование является ключевым этапом в проектировании современных конструкций. В данной работе рассматривается модель рамы полуприцепа 9554 с установленными на ней двумя кузовами. Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления.

Для проведения расчетов использовалась программа Workbench 13. Результаты моделирования представлены на рисунках.

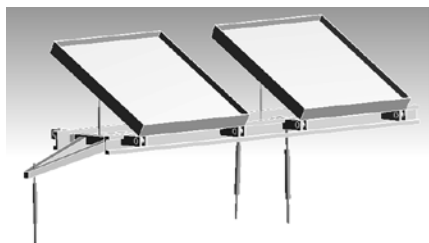


Рисунок 1. Геометрическая модель

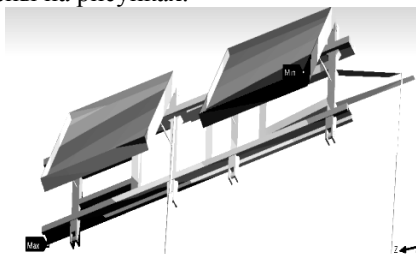


Рисунок 2. Результаты моделирования

Рама полуприцепа закреплена с помощью трех опор. Опоры были выполнены с помощью пружинного соединения (рама - земля) с жесткостью $10e7$. Одно из креплений задается в месте крепления полуприцепа и автомобиля. Два других – в месте крепления второго кузова с рамой.

Каждый кузов крепится к раме с помощью двух видов соединений: пружинного (тело-тело) и шарнирного соединений.

Шарнирное крепление позволяет рассмотреть полуприцеп при разном угле наклона кузова. Максимальный угол подъема кузова 30 градусов.

Максимальная грузоподъемность данного вида полуприцепа 9,5 тонн. Ко дну каждого кузова бала приложена нагрузка, равная 11638 Па, что является максимально допустимой нагрузкой полуприцепа 9554.

Максимальное напряжение возникает в местах шарнирного соединения кузова и рамы и составляет $2,128e8$ Па. Коэффициент запаса прочности при данной нагрузке составляет 3,5776. Это позволяет задуматься над проведением оптимизации модели полуприцепа.

На основании проведенных расчетов были найдены наиболее уязвимые участки конструкции при максимальном нагружении.

УДК 621.391.25

Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов подвески автомобиля

Ширшов В.А., Дядин Д.С., Каземпур Камран Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

В данной работе визуально моделируется процесс изменения физических параметров рамы легкового автомобиля, выявляются места с максимальным уровнем деформации, рассчитывается напряжения на всей подвеске автомобиля и показываются точки с максимальными напряжениями. В работе детально прорисована вся несущая конструкция рамы, учтены все самые важные детали. Это сделано для максимальной визуализации изменений конструкции при приложении к ней нагрузки.

Для проведения расчетов использовалась программа SolidWorks 2012. Результаты моделирования представлены на рисунках.



Рисунок 1: Модель рамы

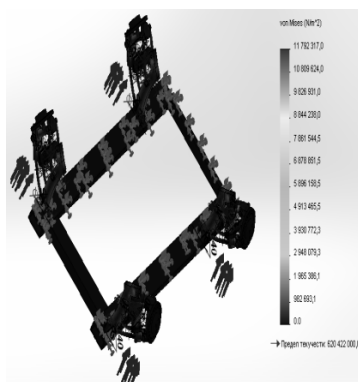


Рисунок 2: Напряженно-деформированное состояние рамы

На рисунке 2 продемонстрированы изменения, которым подверглась стойка амортизатора при приложении к ней силы в 2000 N. Максимальное напряжение наблюдалось в области балки, где крепиться блок амортизатора к стойке. Результаты измерений наглядно представлены на рисунке 2.

Реализация данной работы приведет к сокращению сроков проектирования и испытания подобных конструкций и, следовательно, снизит затраты на их разработку.

Снижение материалоемкости каркаса информационного устройства на основе моделирования в ANSYS

Вашкевич Д. И.

Белорусский национальный технический университет

Каркасы информационных устройств представляют собой конструкции, которые изготавливаются из стержней с подбираемой толщиной стенки после тщательных расчетов при действии эксплуатационных нагрузок. В данной работе рассматривается модель каркаса информационного экрана, как части рекламного щита. Исходными данными являются сведения о геометрии конструкции – длины ребер жесткости, толщины стенок стержней, размеры стоек для крепления каркаса к остову.

При выполнении моделирования использовалась академическая лицензионная версия программного комплекса ANSYS WORKBENCH, любезно предоставленная разработчиками, на основе которой выполняется оптимизация конструкции. В результате исследований выполнено построение геометрической модели и проведена оптимизация (рисунок 1) каркаса информационного устройств. Приложены значения ветровых нагрузок на щит, характерных для Минска, и нагрузок, соответствующих воздействиям на конструкцию со стороны рабочего оборудования, при которых рассчитаны прочность и жесткость конструкции в период эксплуатации.

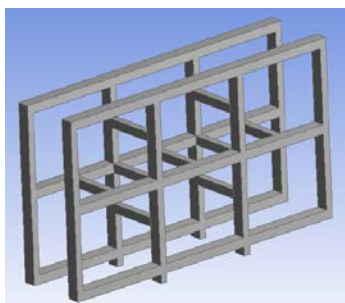


Table of Schematic B4: Optimization					
	A	B	C	D	E
1		P42 - Толщина	P45 - Total Deformation Maximum (m)	P35 - Geometry Mass (kg)	P34 - Geometry Volume (m ³)
2	Optimization Domain				
3	Lower Bound	3			
4	Upper Bound	7			
5	Optimization Objectives				
6	Objective	No Ob...	Minimize	Minimize	Minimize
7	Target Value				
8	Importance		Higher	Higher	Higher
9	Constraint Handling				
10	Candidate Points				
11	Candidate A	3,002	✖ 2,6167E-05	★ 677,83	★ 0,086348
12	Candidate B	3,402	✖ 2,3318E-05	★ 757,94	★ 0,096553
13	Candidate C	3,802	✖ 2,1047E-05	★ 837,61	★ 0,1067

Рисунок 2. Геометрическая модель каркаса информационного устройства (слева) и результаты оптимизации (справа)

Оценивая результаты оптимизации, можно сделать вывод, что удалось добиться снижения массы конструкции в среднем на 23%, по отношению к первоначальной. При этом оптимальная толщина стенки каркаса составила $3,002 \times 10^{-3}$ м.

Модуль выборочного контроля знаний

Криворот Д.В., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

На данный момент одним из распространенных международных средств подтверждения качества образования является наличие системы менеджмента качества. Поэтому специалисты высшей школы все чаще пытаются применить ее в своих вузах. Главной функцией менеджмента качества в образовании является контроль знаний студентов. Большую роль в оценке и контроле знаний играет тестирование в образовании. В узком значении тест – это инструмент, измеряющий у обучаемых уровень их овладения знаниями и умениями в результате обучения. В более широком смысле тест – это стандартная процедура, совокупность методик для получения определенных количественных характеристик о достигнутом уровне знаний, умений и навыков обучаемого. Так, тесты показывают уровень знаний каждого студента в отдельности, но не позволяют оценить знания группы в целом.

В связи с этим была разработана программа, которая поможет решить эту задачу. Модуль выборочного контроля знаний основан на методе построения контрольных карт Шухарта. Контрольная карта – это графическое средство применения статистических методов. На карте отмечен диапазон рассеивания, который лежит в пределах верхней и нижней границ. С помощью этого метода можно оперативно проследить начало дрейфа параметров для того, чтобы проводить предупреждающие меры и следить за уровнем подготовки студентов.

Данный модуль нужен для того, чтобы преподаватели могли видеть общую “картину” сдачи дисциплины в целом и, тем самым, контролировать ход обучения студентов. Программа легка в освоении и использовании. Необходимо взять статистические данные по отдельному предмету, сделать случайным образом выборку и занести выбранные данные в программу. В результате вычисляются предупреждающие границы и границы регулирования. Построение контрольной карты состоит в нанесении на график выборочных значений в соответствии с номером выборки. Если на ней какой-либо параметр вышел за границы регулирования, то преподаватель должен проанализировать сложившуюся ситуацию и принять меры по ее предотвращению.

Таким образом, созданный модуль позволяет более точно и объективно оценить знания студентов на основе контрольных карт средних арифметических значений.

Распознавание печатных символов на изображении, получаемом в реальном времени

Ковалева И.Л., Страленя М.Н., Шах А.В.

Белорусский национальный технический университет

Алгоритмы обработки изображений, получаемых в реальном времени, должны обладать рядом специфических свойств. Основные из них – скорость обработки и индифферентность к повороту на плоскости и масштабированию находимых символов. Всем эти требованиям соответствует алгоритм, разработанный на основе метода контурного анализа. Метод контурного анализа, предложенный Фурманом Я.А., не получил широкого распространения в связи с особенностями его применения (дает большие погрешности в случае наличия бликов на изображении). Тем не менее, данный метод дает хорошие результаты для подготовленных данных (в данном случае подготовленными данными считаются вектор-контур, полученные после нахождения замкнутых контуров на отфильтрованном и бинаризованном изображении).

Работа посвящена адаптации алгоритма контурного анализа для распознавания изображений печатных символов, получаемых в реальном времени с веб-камеры. Для повышения производительности алгоритма было предложено разделить его на 2 этапа. На первом этапе сравниваются свертки автокорреляционной функции (АКФ) вектор-контур. При сравнении свёрток происходит анализ намного меньших последовательностей чисел, чем при сравнении самих АКФ, т.к. свертка представляет собой сжатое представление вектор-контур. Если степень различия свёрток ниже заданного пользователем порога, переходят ко второму этапу — сравнению самих АКФ. На этом этапе отсеиваются те вектор-контур, которые имеют подобные свертки, но при этом различные АКФ. При сравнении АКФ контур считаем распознанным, если различия АКФ не превосходят заданного пользователем порога. Повышая степень погрешности, можно увеличить количество успешных распознаваний за счет увеличения шанса ложного распознавания, понижая — наоборот, уменьшаем вероятность найти нужный элемент с помехами и понижаем шанс на распознавание шума.

Реализация выполнена на языке C#. Для получения изображения и его предварительной обработки была использована библиотека EmguCV. Ограничения приложения состоят в настройке на определенный шрифт и невозможности распознавания символов при повороте относительно вертикальной оси, так как при этом появляются геометрические искажения, что ведет к изменению контур.

Автоматизация ввода паспортных данных студентов в систему управления

Ковалева И.Л., Суворов А.А., Кирцун В.М.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизированный ввод паспортных данных – один из вариантов заполнения базы данных, содержащих личные данные студентов. Автоматизированный ввод подразумевает предварительную обработку сканированного изображения страницы паспорта и распознавание найденной информации.

Для предварительной обработки используются типовые алгоритмы перевода цветного изображения в полутоновое (в случае цветного сканирования) и бинаризации изображения. Затем выполняется сегментация. Для сегментации области, содержащей личные данные студентов, используется эталон, содержащий изображение букв «ПР», являющихся начальными буквами слова «ПРОЗВІШЧА» на 33-й странице паспорта гражданина Республики Беларусь. Область, находящаяся под словом «ПРОЗВІШЧА» передается для дальнейшей обработки. Сегментация букв в выделенной области начинается с сегментации строки. Алгоритм сегментации строк основывается на том, что средняя яркость в изображениях межстрочных промежутков существенно ниже средней яркости в изображениях текстовых строк. Следующим шагом является сегментация букв, которая схожа с алгоритмом сегментации строк. Для распознавания личных данных используется система распознавания с учителем, реализующая метод «Ближайшего соседа». Обучение системы выполняется при запуске приложения, в результате чего формируется список классов из изображений эталонов букв латинского алфавита. Все данные, полученные в результате распознавания, передаются на форму системы управления, которая после проверки сохраняется в базе данных.

В системе управления используется две базы данных, одна для студентов, проживающих в общежитии, другая для студентов, утративших на постоянное место жительства. Обе базы созданы на платформе SQL Server 2005.

В данном проекте использована технология, основанная на стандарте COM – OLE (ObjectLinkingandEmbedding). Взаимодействие разработанной программы и объектной моделью текстового редактор Microsoft Word осуществляется с помощью сборки Microsoft.Office.Interop.Word.dll.

Программное приложение реализовано в среде программирования MS Visual Studio 2008 на языке C#, что обеспечивает более широкие возможности в работе с COM-объектами и базами данных.

Система управления цифровыми активами

Кочуров В.А., Якимуш И. С.

Белорусский национальный технический университет

Цифровой актив – это любая форма цифровых данных, включая права на их использование. Цифровой файл без информации о праве его использования не является цифровым активом. Цифровые активы, нуждаются в аннотировании, каталогизации, хранении и возможности поиска. Для решения этой проблемы необходимо создание системы управления цифровыми активами.

Система управления цифровыми активами – это комбинация аппаратного, программного обеспечения и профессиональных услуг по обеспечению централизованного хранения, управления и предоставления доступа к цифровым активам – файлам и метаданным.

Разработанная система управления цифровыми активами предоставляет следующие преимущества по сравнению с несистемным хранением данных в файловых системах компьютеров локальной сети:

- постоянство физической модели базы данных;
- наличие репозитория для централизованного хранения всех метаданных в единой базе данных на центральном сервере, что особенно важно для больших объемов корпоративных данных;
- наличие иерархического классификатора для обеспечения удобного поиска;
- поисковый образ представляет собой линейный изменяемый набор атрибутов;
- система обеспечивает работу, как отдельных пользователей, так и групп пользователей;
- наличие гибкой системы управления безопасностью и правами доступа;
- присутствие в системе готовых элементов управления для создания веб-приложений;
- наличие расширяемой системы обработки и преобразования файлов;
- наличие системы ведения журналов использования цифровых активов;
- наличие системы централизованного хранения настроек приложения.

Разработанная система вносит существенный вклад в создание единого информационного пространства предприятий или компаний.

Прототип программной реализации универсальной системы поддержки принятия решений

Кочуров В.А., Семашко Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Большая часть инженерных, в частности конструкторских, технологических и управленческих знаний, представлена в справочно-нормативной документации (СНД) и в стандартах всех категорий. Однако, кроме этого, на любом предприятии, заводе, фабрике, компании работает инженерно-технический персонал – носители индивидуальных знаний, в том числе носители и умения получать знания из СНД. Обратим внимание, что эти знания рассредоточены, как по специалистам, так и по подразделениям предприятия. Однако компания успешно работает, когда знания её сотрудников надлежащим образом объединяются в единое пространство.

Разработанный нами принцип построения подобных информационных систем основан на системе интеллектуальных агентов – активных виртуальных баз знаний организационно-структурного уровня, содержащих информацию о данных, знаниях и контекстах, в которых они содержатся. Функциональная модель прототипа программной реализации универсальной системы поддержки принятия решений основывается на вычислительной модели, архитектура которой представлена на рисунке 1.

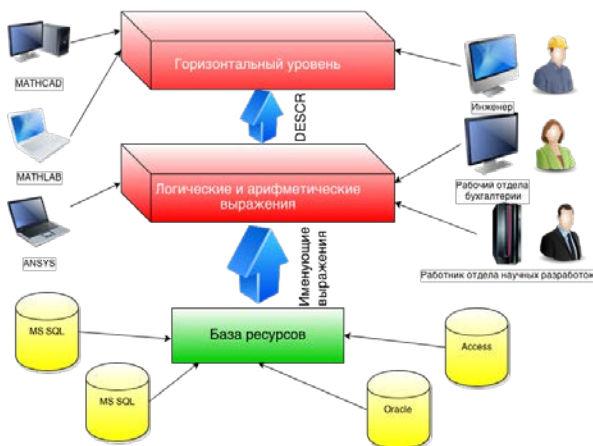


Рисунок 1. Архитектура вычислительной модели

Многокритериальная оптимизация коэффициентов смещения цилиндрических зубчатых передач

Ваал Джавад, Дашкевич С.В.

Белорусский национальный технический университет

Геометрические свойства и качественные показатели зубчатой передачи в значительной степени зависят от значения коэффициентов смещения исходного контура для шестерни x_1 и для колеса x_2 . В практике проектирования цилиндрических зубчатых передач для выбора коэффициентов смещения рекомендуется использовать блокирующие контуры. Однако блокирующий контур дает только область допустимых значений коэффициентов смещения, но не определяет их оптимальных значений. Для определения и выбора рациональных параметров коэффициентов смещения используется диалоговая система принятия решений (ОРТ).

Исходными данными при проектировании являются: тип передачи, модуль передачи - m , число зубьев шестерни - z_1 , число зубьев колеса - z_2 .

Область поиска коэффициентов смещения определяется:

блокирующим контуром;

условиями отсутствия подрезания зубьев $x_1 \geq x_{\min 1}$, $x_2 \geq x_{\min 2}$;

ограничениями на коэффициенты смещения $-1 \leq x_1 \leq 2$, $-1 \leq x_2 \leq 2$;

ограничениями на нормальную толщину зуба на поверхности вершин $s_a \geq 0,2 m$ и на коэффициент перекрытия $\varepsilon_a \geq \varepsilon_{\min}$.

С помощью диалоговой системы принятия решений (ОРТ) создаём модель эксперимента. Задаём значения оптимизируемых параметров:

$$-1 \leq x_1 \leq 2, \quad -1 \leq x_2 \leq 2$$

и критерии оптимизации:

коэффициент торцового перекрытия ε_a , максимизируемый критерий;

угол зацепления α_{t0} , максимизируемый критерий;

разность удельных скольжений в нижних точках активных профилей зубьев $|\nu_{p1} - \nu_{p2}|$, минимизируемый критерий;

показатель сравнительной изгибной прочности зубьев шестерни и колеса $|Y_{F1} - CY_{F2}|$, минимизируемый критерий.

Для расчёта критериев и функциональных ограничений на основе матрицы коэффициентов x_1 , и x_2 , полученной с помощью программы ОРТ, необходимо разработать программу пользователя. Используем среду разработки приложения Microsoft Visual Studio 2008.

Далее подключаем модель к диалоговой системе и производим выбор рациональных значений коэффициентов смещения.

УДК 621.391.25

Особенности моделирования демонтажа остова морской платформы в среде ANSYS

Красновская С.В.¹, Мирзаванд Мохсен Али¹, Соловьев А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет,

² Южный федеральный университет, Россия, г. Ростов-на-Дону

По завершении эксплуатации морской добывающей платформы встает вопрос о демонтаже конструкции. Особый интерес представляет способ демонтажа, основанный на использовании генераторов ударных волн, создающих необходимую подъемную силу для извлечения свай платформы из дна, так как он позволяет существенно уменьшить ущерб, наносимый биосфере морей. В качестве генераторов ударных волн используют реактивные заряды, оснащенные твердым топливом.

При реализации такого подхода ударные волны должны обеспечить такую подъемную силу, чтобы учесть следующие условия:

1) не допустить разрыва элементов монтажа в месте крепления реактивных зарядов, поскольку процесс передачи усилий в сваи обладает инерционностью;

2) вытянуть из грунта сваи, не допустив засасывания в грунт вновь из-за проявления эффекта смачивания.

Сваи, крепящие опорный блок к грунту, представляют собой стальные трубы с открытым концом. Во внимание принимается факт, что диаметр, толщина стенки, глубина погружения свай, их общее число в составе сооружения зависит от конструкции опорного блока платформы и воспринимаемых им нагрузок от внешней среды и верхнего строения. Следует учесть, что несущая способность свай на растяжение создается за счет трения грунта по боковой поверхности свай и собственного веса. Несущая способность свай, применяемых в шельфовых сооружениях, при сжимающих нагрузках создается за счет трения грунта по боковой поверхности свай и сопротивления грунта по ее торцу.

Взаимодействие свай и грунта требует решения контактной задачи с трением при использовании нелинейных расчетов.

УДК 004.94

Оценка надежности энергосистемы населенного пункта

Гайдук Л.Г.

Белорусский национальный технический университет

Моделирование является общепризнанным средством познания действительности. Этот процесс состоит из двух больших этапов:

разработки модели и анализа разработанной модели. Моделирование позволяет исследовать суть сложных процессов и явлений с помощью экспериментов не с реальной системой, а с ее моделью.

Электроэнергетические системы (ЭЭС) составляют основу инфраструктуры современного общества, во многом определяют его развитие и безопасность. Качество производства, уровень жизни населения, безопасность людей, эффективная работа практически всех отраслей (транспортной, информационной, производственной и проч.) находятся в сильнейшей зависимости от ЭЭС. Острая необходимость решения проблемы энергетической безопасности заставляет исследователей всего мира задуматься над возможными путями ее разрешения. Эта необходимость послужила толчком к выполнению данной работы.

Модель энергосистемы населенного пункта создана в среде моделирования AnyLogic. Составляющими модели являются:

- электростанция,
- высоковольтная линия электропередач,
- трансформаторная подстанция,
- линия электропередач.

Выход из строя любого из элементов означает, что в населённом пункте в некоторый период не будет электроэнергии, поскольку срок ремонта у составляющих модели различный. Модель является дискретной, то есть анализ состояния системы проводится спустя единицу времени равную одному месяцу.

Входные данные для модели: значения интенсивностей отказов для каждого оборудования, а также срок ремонта всех элементов модели. У пользователя существует возможность изменять интенсивность отказов элементов системы.

Благодаря изменению интенсивностей отказов и сбора статистики можно подобрать оборудования для оптимальной работы данной системы, чтобы простой был минимизирован.

УДК 621.391.25

Исследование несущей способности спортивного тренажера в среде ANSYS

Боровок О.А., Ермилов В.В., Напрасникова Ю.В., Кочерова В.А..
Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается модель спортивного тренажёра, конечно-элементная расчетная схема которого представлена на рисунке 1.

Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления. Тренажёр предназначен для выполнения физических упражнений и представляет собой металлическую конструкцию, состоящую из полых труб.

Выполнены варианты расчёты для различных конфигураций конструкции. Приводятся распределения полей перемещений в материале конструкции.

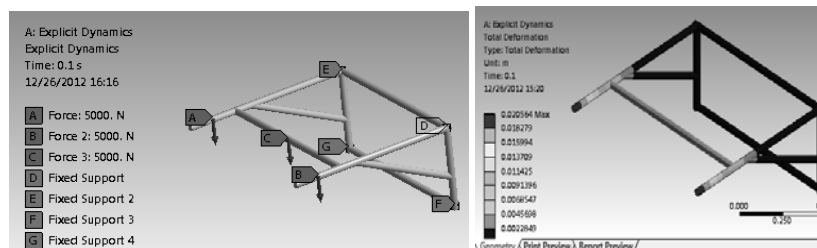


Рисунок 3. Конечно-элементная модель спортивного тренажёра.

На основании проведенных расчетов были выполнены изменения конструкции с целью улучшения ее характеристик, таких как надежность и устойчивость, что позволяет увеличить срок ее эксплуатации. Максимальные перемещения возникают на концах тренажера; они равны 2,0564см. После проведения оптимизационных расчетов перемещения в материале конструкции удалось уменьшить до 0,8103см, при уменьшении массы тренажёра на 0,21кг, при выполнении условий прочности.

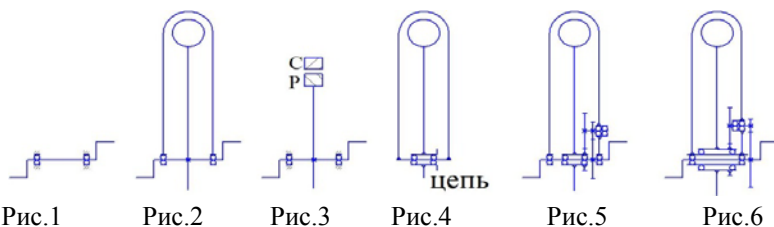
УДК 629.1

Анализ одновальных кинематических схем ногового и ручного привода

Василевский А.В.

Белорусский национальный технический университет

В современных конструкциях велосипедов и многих тренажеров в качестве источника энергии используется схема с двумя кривошипами на одном валу (рис.1). В первых велосипедах использовалась простейшая схема (рис.2); ее недостатки: а) отсутствие мультипликации оборотов вала, что требовало большого диаметра колеса (около 1,5 м); б) малая жесткость и прочность из-за двух подшипников в контуре вилка-вал.



В тренажерах эти недостатки несущественны, если вместо колеса на валу установить электрогенератор на малые обороты (Р-ротор, С-статор, см. рис.3); правда, он будет иметь значительный диаметр. В современных велосипедах используется цепная передача от вала на колесо (рис.4), свободная от указанных выше недостатков; цепная передача выполняет мультипликацию оборотов колеса. В тренажере вместо колеса можно установить более распространенный электрогенератор меньшего диаметра. Однако цепную передачу нужно закрывать – частично по соображениям безопасности и полностью для защиты от пыли и грязи, а также для хорошей смазки; иначе в цепной передаче будут значительные потери энергии на трение (для тренажера несущественно). В схемах на рис.5 [1;3] и рис. 6 [2;4] с зубчатыми передачами не используется цепь; соответствующие конструкции можно выполнить закрытыми, снизить потери энергии и избавиться от частой чистки-смазки. Конструкция согласно рис. 6 обладает большей жесткостью и прочностью, чем представленная на рис. 5. В совсем недавнем патенте [5] упоминается применение планетарных передач, что неоправданно удорожит конструкцию согласно рис.6.

Литература:

1. Патент DE 4127174 (1993).
2. WO 2011043021.
3. WO 2010081440.
4. Патент РБ № 10566 (2005).
5. WO 2012134309.

УДК 65.011.56

Разработка интерфейса обмена данными для интеграции ERP-систем

Радзевич П.В., Василевский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Современное предприятие нельзя представить без компьютерных систем учета и управления. На сегодняшний день лучшим инструментом решения основных вопросов управления предприятием являются системы

планирования ресурсов предприятия – ERP-системы. Нередки случаи, когда при внедрении новой ERP-системы предприятие не отказывается от существующих систем учета/управления. В таком случае необходимо обеспечить максимальное использование модулями ERP-системы информации, получаемой из уже существующих систем.

Рассмотрим проблему интеграции для конкретной ERP-системы Microsoft Dynamics AX – это законченная система, в которой реализованы основные, наиболее универсальные и распространенные бизнес-процессы.

Разработчики Microsoft Dynamics AX предлагают стандартное решение для интеграции – Application Integration Framework (AIF). Эта функциональность позволяет осуществлять загрузку/отправку информации из системы в виде XML-файлов. Однако лицензия стоит немалых денег. К тому же для решения нашей задачи используется лишь малая часть возможностей AIF. Поэтому, чтобы объединить системы, часто прибегают к разработке собственных программных интерфейсов, которые обходятся намного дешевле и при этом способны обеспечить качественную интеграцию приложений.

Предполагается следующая функциональность программного средства:

- 1) обмен данными посредством передачи файлов по протоколу FTP;
- 2) генерация исходящих файлов в результате определенных процессов в системе;
- 3) получение информации из входящих файлов и запуск функциональности для обработки данной информации.

Для разработки данного программного средства используется внутренний язык программирования системы Microsoft Dynamics AX – X++.

УДК 65.012.123

Технологии применимые для интеграции Lotus Notes приложений

Ю.А. Сидорко

Белорусский национальный технический университет

В работе выполнен анализ основных подходов и технологий, применимых для интеграции приложений Lotus Notes, которые можно разделить на две категории:

- подход программиста, который подразумевает под собой написание некоторого программного кода для осуществления взаимодействия приложений;
- подход интегратора, который подразумевает под собой использование специализированных программных продуктов. Таким

образом, интеграция осуществляется за счет настроек этих программных продуктов.

В первом случае интеграции в Lotus Domino можно использовать следующие технологии:

- технологию ODBC, для которой существуют три @-функции (@DbColumn, @DbLookup и @DbCommand), работающие с зарегистрированными ODBC-драйверами;
- технологию JDBC, для которой существует бесплатно распространяемый компанией IBM JDBC-драйвер, позволяющий обращаться к базам Lotus Domino из Java-приложений;
- технологию OLE, использование которой хотя и ограничивается только платформами Корпорации Microsoft, зато позволяет осуществлять обмен данными с OLE-приложениями.

Также проведён анализ технологий, которые помимо программных решений требует еще и административных настроек, и поэтому могут быть отнесены как к первому, так и ко второму подходу в процедуре интеграции приложений.

К такому типу относятся следующие технологии:

- DECS (Domino Enterprise Connection Services);
- DCR (Data Connection Resources);
- LEI (IBM Lotus Enterprise Integrator для Domino).

Количество технологий, применимых для интеграции Lotus Notes приложений с различными другими платформами достаточно велико, поэтому окончательный выбор определяется конкретными условиями.

УДК 51 (023)

Использование деревьев решений, для определения кредитоспособности клиента банка

Сидорко Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Для формирования правил и рекомендаций специалистам при проверке и анализе клиента, а также при принятии решения о выдаче кредита, может быть использован метод деревьев решений, как альтернативная замена используемых в настоящее время скоринговых таблиц.

Деревья решений – один из методов автоматического анализа данных. Получаемая модель – это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение.

На основе данных, за прошлые периоды строится дерево. В нашем случае должно быть известно, была ли возвращена основная сумма долга и

проценты, и не было ли просрочек в платежах. При построении дерева все известные ситуации обучающей выборки сначала попадают в верхний узел, а потом распределяются по узлам, которые в свою очередь также могут быть разбиты на дочерние узлы. Критерий разбиения – это различные значения какого-либо входного фактора. Для определения поля, по которому будет происходить разбиение, выбирается то поле, при разбиении по которому устраняется больше неопределенности.

После процесса построения дерева решений получаем модель оценки кредитоспособности физических лиц, описывающую ситуацию, относящуюся к определенному банку. Эта модель представлена в виде иерархической структуры правил – дерева решений.

Правильно построенное на данных прошлых периодов дерево решения обладает одной еще очень важной особенностью. Эта особенность называется «способность к обобщению». То есть если возникает новая ситуация (обратился потенциальный заемщик), то, скорее всего, такие ситуации уже имели место, и неоднократно. Вследствие чего можно с большой долей уверенности сказать, что вновь обратившийся заемщик поведет себя так же, как и те заемщики, характеристики которых очень похожи на характеристики вновь обратившегося.

УДК 62-501.7

Методика экспериментального определения динамики опережающего участка пароперегревателей парогенераторов в замкнутом контуре

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Поджаров С.А.

Белорусский национальный технический университет

Исходными данными для оптимизации параметров динамической настройки регуляторов впрысков парогенераторов обычно служат экспериментальные динамические характеристики опережающего и инерционного участков пароперегревателя. Экспресс-метод экспериментального определения динамики пароперегревателя основан на использовании разомкнуто-замкнутых систем регулирования. Вместе с тем из соображений обеспечения безопасной работы объекта целесообразно проводить экспериментальное определение динамики пароперегревателя при его совместной работе с П-регулятором, с коэффициентом передачи K_{p1} . Динамика опережающего участка представлена инерционным звеном первого порядка с коэффициентом передачи K_{on} и временем разгона T_{on}^* . Наносится скачкообразное изменение задания П-регулятору. При этом фиксируется переходной процесс в замкнутой системе автоматического регулирования по температуре перегретого пара за местом впрыска, по

которому определяют статическую ошибку регулирования Δ_{CT} и величину нового установившегося значения задания K_y . Затем определяют время разгона экспоненты при отработке скачка задания T_a^{3C} . Искомые параметры передаточной функции опережающего участка определяют по следующим формулам:

$$T_{OP}^* = T_a^{3C} (1 + K_y / \Delta_{CT});$$

$$K_{OP} = K_y / (K_{P1} * \Delta_{CT}).$$

При этом искомая передаточная функция опережающего участка пароперегревателя имеет следующий вид:

$$W_{OP}(p) = \frac{K_{OP}}{T_{OP}^*(p) + 1}.$$

Таким образом, предложенная методика позволяет экспериментальным путем определять динамику опережающего участка пароперегревателя в условиях обеспечения безопасной работы объекта.

УДК 519.866

Математический метод оптимизации транспортных маршрутов

Шардыко П.П., Френь А.В.

Белорусский национальный технический университет

Одной из самых распространенных проблем во всех областях экономики является транспортировка груза или товара с минимальными материальными и временными затратами. Управление материальными потоками осуществляется с помощью логистических операций. К ним можно отнести погрузку, транспортировку, разгрузку, комплектацию, складирование, упаковку и т.д.

Материальным потокам сопутствуют информационные потоки. Логистические операции с информационными потоками – это сбор, обработка и передача информации.

Поскольку огромное количество возможных вариантов перевозок затрудняет получение самого экономичного плана эмпирическим путем, появилась необходимость разработки специальной теории, позволяющей быстро решать подобные задачи с помощью алгоритмизации. Применение математических методов в планировании перевозок дает большой экономический эффект.

Оптимизационные задачи можно решать с помощью MS Excel. Для этого предназначена надстройка «Поиск решения». Средство поиска решения Microsoft Excel использует алгоритм нелинейной оптимизации Generalized Reduced Gradient (GRG2), разработанный Леоном Ласдоном (Leon Lasdon, University of Texas at Austin) и Аланом Уореном (Allan Waren, Cleveland State University). Надстройка "Поиск решения" является частью набора команд, которые иногда называют средствами анализа "что-если". (Анализ «что-если». Процесс изменения значений ячеек и анализа влияния этих изменений на результат вычисления формул на листе, например, изменение процентной ставки, используемой в таблице, амортизации для определения сумм платежей.) С помощью этой надстройки можно найти оптимальное значение (максимум или минимум) формулы, содержащейся в одной ячейке, называемой целевой, с учетом ограничений на значения в других ячейках с формулами на листе. Надстройка "Поиск решения" работает с группой ячеек, называемых ячейками переменных решения или просто ячейками переменных, которые используются при расчете формул в целевых ячейках и ячейках ограничения.

УДК 004.045

Система автоматической регистрации покупок на основе технологии радиочастотной идентификации (RFID)

Шутко Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время процесс регистрации покупок на предприятиях розничной торговли обеспечивается системой сканирования штрих-кодов. К сожалению, система штрихового кодирования имеет ряд существенных недостатков:

- 1) недолговечность изображения штрих-кода;
- 2) чувствительность к ориентации в пространстве;
- 3) подверженность механическим повреждениям, воздействию воды и грязи;
- 4) неспособность различать одновременно несколько товаров.

RFID технологии предлагают современное решение существующих проблем контроля товаропотоков, совмещенное с эффективной реализацией противокражной функции. RFID основывается на радио частоте и является бесконтактной технологией, не требующей ни контакта со считывателем, ни прямой видимости считывателя. Таким образом, RFID решает проблемы технологий, требующих контакта и прямой видимости.

Например, считывание гарантировано в жару, дождь, холод, при загрязнении жиром или химическим веществами.

Товары оснащаются RFID метками, которые представляет собой миниатюрную антенну, нанесенную на прозрачную подложку и кремниевый чип, на который может записываться и перезаписываться самая различная информация о товаре (в том числе и в закодированном виде). Товар с радиометкой, попадая в поле действия ридера, передает все данные в базу данных системы. Таким образом, RFID-система полностью заменяет систему штрихового кодирования со всеми его функциями и дает дополнительные возможности, основанные на возможности бесконтактного дистанционного считывания метки. С помощью RFID-технологии возможно внедрить единую систему учета и контроля товарооборота для склада и торгового зала, с полной прозрачностью всех технологических процессов. Технология RFID ощутимо снижает роль человеческого фактора в осуществлении рабочих процессов, таких как регистрации покупок клиента торгового предприятия, что исключает возможность ошибки. RFID-метки имеют встраиваемую противокражную функцию, которая может быть активирована или деактивирована. В сочетании со специальными противокражными RFID-воротами достигается комплексное решение: идентификация плюс защита.

УДК 621/007

Информационные технологии управления

Капустина А.М., Волосевич И.И.

Белорусский национальный технический университет

Целью информационной технологии управления является обработка данных для принятия решений на любом уровне:

- оценка планируемого состояния объекта;
- оценка отклонений от планируемого состояния;
- выявление причин отклонений;
- анализ возможных решений и действий.

Информационная технология управления направлена на создание различных видов отчетов. Регулярные отчеты создаются в соответствии с установленным графиком, определяющим время их создания.

Специальные отчеты создаются по запросам или имеют форму суммирующих, сравнительных и чрезвычайных отчетов.

В суммирующих отчетах данные объединяются в отдельные группы, и представляются в виде промежуточных и окончательных итогов по отдельным направлениям.

Сравнительные отчеты содержат данные, полученные из различных источников или классифицированные по различным признакам и используемые для целей сравнения.

Чрезвычайные отчеты содержат данные исключительного характера.

Для принятия решений на уровне управленческого контроля информация должна быть представлена так, чтобы просматривались тенденции изменения данных, причины возникших отклонений и возможные решения.

Основные сведения должны быть отсортированы по значению критического для данного отклонения показателя. Компоненты входной информации поступают из систем операционного уровня. Выходная информация формируется в виде отчетов в удобном для принятия решений виде. Содержимое базы данных при помощи соответствующего программного обеспечения преобразуется в периодические и специальные отчеты, поступающие к специалистам, участвующим в принятии решений.

Документы могут создаваться как по запросу, так и периодически в соответствии с необходимостью.

Информационная технология должна обеспечивать высокую степень расчленения всего процесса обработки информации на этапы, операции, действия и включать весь набор элементов, необходимых для более эффективного управления и достижения цели.

УДК 681.3

Комплекс для изучения систем технического зрения

Лившиц Ю.Е., Красовский В.В., Ткачѳв А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время все более актуальными становятся адаптивные производственные системы, способные быстро перенастраиваться для решения различного рода задач. Для перехода к адаптивному производству необходимы современные технологические решения, обеспечивающие гибкость технологического процесса и необходимую степень автоматизации. Одним из таких решений является применение систем технического зрения (СТЗ). Применение СТЗ для контроля и управления является одним из направлений в области автоматизации технологических процессов и производств. Эти системы позволяют получать информацию об объектах и при использовании соответствующих методов обработки решать широкий круг практических задач, которые другими методами решать затруднительно.

Лабораторный комплекс на базе СТЗ DataVisionVS2 включает в себя датчик технического зрения, специальное программное обеспечение и методическое пособие.

Целью лабораторного комплекса является усвоение основных принципов построения и функционирования СТЗ, положений современной методов автоматизированного контроля на базе СТЗ, ознакомление с инженерными методами анализа и синтеза в данной области техники, а также с возможностями и принципами их практического применения.

Для перехода к адаптивному производству необходимы современные технологические решения, обеспечивающие гибкость технологического процесса и необходимую ступень автоматизации. Одним из таких решений является применение систем технического зрения (СТЗ). Применение СТЗ для контроля и управления является одним из направлений в области автоматизации технологических процессов и производств. Эти системы позволяют получать информацию об объектах и при использовании соответствующих методов обработки решать широкий круг практических задач, которые другими методами решать затруднительно. Разработанный лабораторный комплекс на базе современной СТЗ DataVision VS2 позволяет студентам изучить основные алгоритмы работы технического зрения и получить навыки создания автоматизированных СТЗ с широкими возможностями в различных технических или научных приложениях. Работа с комплексом позволяет приобрести практический опыт работы с такими системами и использовать их для решения технических задач.

УДК 621.865.8

Разработка методического пособия по симулятору COSIMIR для роботов

Сиротин Ф.Л., Шафалович В.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы виртуальное производство стало общепринятым средством для анализа и планирования работ производственных систем в промышленности. В том числе виртуальное программирование обеспечивает возможность подготовки программ для сложного технологического оборудования, в том числе для промышленных роботов, обеспечивая сокращение сроков запуска программ и повышения надежности их функционирования. К пакетам виртуального программирования относится COSMIR.

COSIMIR EDUCATIONAL – это 3D программный пакет для программирования и моделирования операций робота, который помогает пользователю проверять программу на выявление ошибок или

столкновений прежде, чем это произойдет в реальном применении. Пакет оснащен функциями для планирования роботизированных модулей, проверки совместимости всех запрограммированных позиций и оптимизации размещения. Все последовательности движений и ручные операции симулируются без подключения аппаратной части для исключения коллизий и оптимизации времени цикла. После тестирования и симуляции можно загрузить программу непосредственно в контроллер робота по интерфейсу RS232 или опциональному каналу Ethernet (TCP/IP). Интерфейс Ethernet может также использоваться для подключения контроллера робота к сети интернет, что позволит диагностировать и перепрограммировать робота из любого места мира.

COSIMIR EDUCATIONAL поддерживает симуляцию всего роботизированного модуля. Это означает, что помимо симуляции движений самого робота, можно симулировать его взаимодействие с внешним оборудованием, а также обеспечивает реалистичную симуляцию захватных и транспортных процессов. Для симуляции электрических соединений между компонентами модуля в симуляторе достаточно подключить входы и выходы, как если бы это осуществлялось в реальных условиях.

Освоение COSIMIR EDUCATIONAL создает хорошие предпосылки для уверенного использования пакета COSMIR INDUSTRIAL, который является профессиональным пакетом программирования промышленных роботов.

УДК 621.317

Адаптивная система управления

Москаленко А.А., Кононенко З.И., Жаворонков О.Н.
Белорусский национальный технический университет

Разработанная адаптивная система предназначена для автоматизации нестационарных технологических процессов с изменяющимся запаздыванием. В частности, она может быть использована для автоматизации управления тепловых процессов энергоблоков. Она является самонастраивающейся, способствует повышению быстродействия и динамической точности в широком диапазоне изменения характеристик объекта.

Построение системы основано на принципе упреждения запаздывания и компенсации инерционности с непрерывной подстройкой параметров модели и регулятора с переключением структуры упредителей модели в зависимости от вида возмущений, действующих на объект. Адаптация параметров моделей и регулятора осуществляется непрерывно с частотой

квантования по времени путём домножения первоначальных соответствующих параметров на отношение соответствующих значений параметров объекта. Что касается запаздывания, то оно определяется добавлением (или вычитанием) приращения $\pm \Delta t$ в момент адаптации.

Таким образом, если параметры моделей соответствуют параметрам объекта, то структурная схема может быть преобразована в схему, в которой запаздывание выносится за контур регулирования. В этом случае фактическая реакция системы является задержанной версией реакции системы без запаздывания. Система при этом способна работать с максимальной скоростью и имеет лучшую реакцию в любом диапазоне изменения параметров объекта.

Адаптация требует введения в систему управления дополнительно двух моделей объекта и блоков подстройки параметров моделей и регулятора.

Сигнал со второго упреждителя является по существу предсказанием значения выходного сигнала объекта на временном интервале. Он информирует регулятор о влиянии оказанного им управляющего воздействия на регулируемую переменную. Поэтому регулятор не вызывает перерегулирования при заданном значении сигнала рассогласования. Обратная связь по регулируемой переменной необходимо для того, чтобы чувствовать влияния возмущений, действующих на объект.

Моделирование описанной системы продемонстрировало её высокую эффективность.

УДК 368 02

Анализ автоматизированных систем страхования

Шардыко П.П., Немец Т.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Предлагаемые сегодня решения по автоматизации страхования практически не удовлетворяют требованиям страховщиков – такого мнения придерживаются 36% опрошенных страховых компаний. Большинство респондентов (60%) считают, что IT-решения лишь частично удовлетворяют требованиям страховщиков. При этом полного удовлетворения от предлагаемых сегодня решений не испытывает ни одна из 50 страховых компаний.

Среди факторов, препятствующих автоматизации страхования, первые два места занимают ограниченность IT-бюджетов (64%) и отсутствие готовых решений для страховых компаний (60%). Также автоматизации препятствует отсутствие успешного опыта внедрения IT-систем на

страховом рынке и непонимание специфики страхового рынка поставщиками ИТ-услуг.

Остро стоит вопрос с кадрами – отсутствие квалифицированных ИТ-специалистов в страховых компаниях как препятствие автоматизации отметили 20% респондентов. А 16% опрошенных страховщиков в качестве причины, тормозящей автоматизацию, назвали недостаток информации о результатах внедрения ИТ-систем в других страховых компаниях. В равной степени препятствиями считаются недостаток информации об имеющихся ИТ-решениях и возможностях автоматизации для страхового рынка, отсутствие понимания необходимости автоматизации у руководства и отсутствие автоматизации в стратегических планах развития. Среди других препятствий респонденты выделили высокие временные затраты при переходе на новую систему и ее адаптацию, общее несовершенство ИТ-технологий и постоянно меняющееся законодательство и требования к формам отчетности.

Наши компании находятся на стадии перехода к автоматизации работы страховых фирм. В настоящее время практически вся работа осуществляется вручную с использованием «Калькуляторов» по видам страхования. Это достаточно трудоемкий процесс, отнимающий много времени. Именно поэтому был создан программный продукт СТ.СТРАХОВАНИЕ.ИТ, предназначенный для автоматизации работы страховой компании «Промтрансинвест». Ввиду существенных недостатков данного продукта необходимо произвести его усовершенствование, позволяющее вести отчетность в данной предметной области.

УДК 37.075.8

Использование педагогических технологий дистанционного обучения в системе очного образования

Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время при создании того или иного курса дистанционного обучения (ДО) наиболее часто используется подход, заключающийся в переработке уже существующего в системе очного образования курса с учетом требований концепции ДО.

В данном случае была предпринята попытка решения обратной задачи, т.е. использовать все лучшее и инновационное, что есть в системе ДО, для повышения эффективности обучения на дневном отделении.

Большая часть лекционного материала была представлена в виде презентаций в среде MSOfficePowerPoint с использованием таких

технических средств как проектор и ноутбук, подключенный к мобильному интернету. Это позволило обеспечить использование только одного компьютера и одного экрана для целой поточной аудитории студентов, добиться наглядности предоставления материала.

Основной упор в процессе обучения делался на практические занятия и самостоятельную работу студентов, а также использование в дидактических целях основных педагогических технологий ДО, таких как:

- обучение в малых группах сотрудничества;
- метод проектов;
- эвристические методы (дискуссии, «мозговые» атаки, круглые столы);
- ролевые игры проблемной направленности;
- «портфель ученика» (рефлексия);
- ситуационный анализ (case-study);
- разноуровневое обучение (дифференциация обучения).

Всем студентам были розданы темы для докладов, которые они должны были сделать в виде презентаций с использованием MSO PowerPoint, при распределении которых учитывался уровень подготовки студента и его наклонности (аналогия дифференциации обучения), а некоторые, наиболее объемные и сложные темы, предлагались группе из двух–трех человек (обучение в малых группах сотрудничества).

Контроль и оценка знаний проводились на 2-х уровнях. Первый – впечатление от доклада-презентации, активность при обсуждении других докладов, участие в дискуссиях и круглых столах, умение отстаивать свою точку зрения. Второй – по результатам тестов, часть которых студенты разрабатывали сами друг для друга в рамках ролевых игр.

УДК 621.83.06

Применение принципов прогнозирования в управлении электроприводами

Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

Возрастающий уровень требований к производительности и точности промышленных механизмов ставят задачу совершенствования принципов построения систем управления электроприводами.

Синтез системы электропривода приводит к необходимости реализации в управляющем устройстве операции прогнозирования необходимого процесса управления.

При синтезе быстродействующих систем электропривода с управлением по интервалам дискретности необходимо решать две основные взаимосвязанные между собой задачи:

- определять в течение текущего интервала оптимальное, с учетом предельных возможностей и ограничений накладываемых на электропривод, значение регулируемой координаты на будущем интервале - $e_{зад\ опт}$;

- в соответствии с заданием $e_{зад\ опт}$, возмущением $I_c R$, и текущими значениями координат с наибольшей точностью формировать к концу текущего интервала дискретности составляющие, определяющие требуемый закон управления и соответствующие вольтсекундным площадкам координат электропривода на прогнозируемом (n+1) интервале.

При произвольном законе задания регулируемой координаты режиме больших отклонений для реализации операции прогнозирования на вход системы должен быть введен формирователь, ограничивающий $e_{зад}$ в функции предельных возможностей электропривода и текущих значениях координат. Это позволит осуществить ограничения тока IR_{max} , ускорения $I_0 R_{max}$ и производной тока, реализовав тем самым предельные возможности электропривода:

$$\begin{aligned} e_{зад\ опт} &= e_{зад}, & \text{если } e_{kn} + \Delta e_{max} > e_{зад} \\ e_{зад\ опт} &= e_{kn} + \Delta e_{max}, & \text{если } e_{kn} + \Delta e_{max} < e_{зад} \\ \Delta e_{max} &= f(e, I_c R, \min(IR_{max}, I_0 R_{max}, (IR)_{max})) \end{aligned}$$

В соответствии с заданием $e_{зад\ опт}$, возмущением $I_c R$, текущими значениями координат электропривода и согласно выражению

$$e_{зад\ опт} - e_{kn} = \int_0^{\tau_{n+1}} \dots dt$$

где τ_{n+1} – длительность n+1 прогнозируемого интервала дискретности преобразователя, с той или иной степенью точности могут быть определены составляющие требуемого закона управления.

УДК 621.91:004.9

Экспертный подход в моделировании производственных систем

Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р., Якимович А.М.
Белорусский национальный технический университет

Проблема. Каждая производственная система, включая гибкие производственные системы (ГПС), является сложным и уникальным объектом. Для анализа производственной системы 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 ГПС.

Ожидаемый конечный результат проекта. Универсальная программная среда, которая без дополнительного программирования (без написания кода):

- а) настраивается на объект и требуемые модели,
- б) автоматически управляет итерационными запусками моделей для их взаимного уточнения.

Область использования результатов проекта. Проектирование ГПС в машиностроении и приборостроении.

Основная идея. Предлагается применить принципы построения и функционирования экспертных систем к моделирующему программному обеспечению.

Будем ориентироваться на экспертные системы производственного типа с представлением знаний в виде правил.

Структура правила: условия (антецеденты) => действия (консеквенты).

Знания о ГПС заключены в моделях. Каждую модель будем рассматривать как одно «большое» правило. Совокупность моделей даст экспертную систему, заполненную знаниями об ГПС.

Каждая модель предназначена для решения своих специфических задач. Вместе с тем, интерфейс всех моделей должен быть выполнен по единому шаблону. Кроме того, все модели должны отражать одинаковый набор состояний оборудования ГПС. В этом случае модели могут использоваться как сменные модули. Аналогом механизма логического вывода экспертной системы в нашем программном обеспечении будет выступать единый и неизменный алгоритм итерационного запуска моделей и обмена уточняющей информацией.

При таком подходе программное обеспечение будет единообразно и автоматически функционировать вне зависимости от вида и состава используемых моделей.

УДК 681.3

Построение модели многопоточного параллельного приложения

Прихожий А.А., Карасик О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Построение модели многопоточного приложения, ориентированной на оптимизацию исполнения потоков на ядрах процессора, требует учета ряда факторов. Важнейшими являются организация и структура исходного алгоритма и программного кода, объем заложенного в него потенциального параллелизма, архитектура многоядерной системы,

принципы построения операционной системы, управляющей выполнением многопоточного приложения. Анализ исходного алгоритма ставит целью выполнение экстракции параллелизма в полном объеме, разбиение алгоритма на параллельно выполняемые фрагменты, выявление взаимодействия и информационных зависимостей между фрагментами. Результаты анализа позволяют учесть особенности архитектуры многоядерной системы и найти оптимальное распределение фрагментов по потокам и оптимальное назначение потоков на ядра, что приводит к построению эффективной синхронизации потоков.

Модель оптимального планирования выполнения потоков сильно зависит от типа применяемой операционной системы: с кооперативной или вытесняющей многозадачностью. В первом случае задача планирования решается легче, во втором – тяжелее. Причина кроется в том, что система с вытесняющей многозадачностью сама планирует распределение общих ресурсов между потоками нескольких исполняемых приложений, при этом приложения не видят и не могут оказать влияния на распределение ресурсов. Построение полной картины совместного выполнения всех потоков, как исследуемых, так и фоновых, является сложной задачей.

Данные для анализа жизненных циклов потоков можно получить в операционной системе Windows с помощью подсистемы ETW (Event Tracing Windows). Эта подсистема высокоскоростного логирования пользовательской и системной информации используется нами для анализа жизненно важных событий в операционной системе. Для потока в ОС Windows такими событиями являются ContextSwitch и ReadyThread. Используя данные от этих событий, мы получаем точное представление о выполнении потока (когда он действительно выполнялся, когда его выполнение было прервано ОС, а управление передано другому потоку, когда поток вошел в синхронизационную блокировку и т.д.). Полное представление о жизненном цикле потока подсказывает, какую модель планирования, распределения и коммуникации необходимо использовать в распараллеливаемом приложении в зависимости от среды его исполнения.

УДК 681.3

Планирование решения задач в Grid-системе

Прихожий А.А., Фролов О.М., Шунько М.Г.

Белорусский национальный технический университет

Современные GRID-системы используют большое многообразие планировщиков задач. Планировщики могут быть централизованными, иерархическими, децентрализованными, адаптивными. В зависимости от

способа функционирования планировщика могут быть статическими и динамическими, причем возможно огромное число вариантов динамических планировщиков, учитывающих готовность данных и стремящихся к балансированию загрузки узлов. При правильном планировании время выполнения задачи обратно пропорционально числу используемых процессоров. Гибкий планировщик рассматривает варианты плана, использующие различное число процессоров и выполняющие задачу за различное время.

В Grid-системе список ресурсов, доступных для решения задачи, изменяется динамически. В связи с этим существует ряд вопросов, которые требуют решения перед запуском задачи на выполнение. Это – поиск ресурсов, удовлетворяющих выполняемой задаче; выбор доступного ресурса из полученного списка; подготовка выбранного ресурса для выполнения задачи; запуск задачи на выполнение; управление процессом выполнения задачи. Все вышеперечисленные проблемы решаются набором сервисов и программ, которые в своей совокупности образуют сервис управления выполнением (EMS). Каждая выполняемая задача на Grid-системе имеет описание ресурсов, требуемых для ее выполнения, на специальном языке JSDL (Job Submission Description Language). Задачи могут иметь сложную структуру зависимостей. Планирование потока выполнения с учетом описания ресурсов и существующих зависимостей в EMS осуществляется сервисом планирования выполнения (EPS). Построением списка наиболее подходящих доступных ресурсов занимается сервис “генератор кандидатов” (Candidate Set Generator).

Выбранные варианты плана конфигурируются сервисом развертывания и настройки, который также выполняет копирование данных, необходимых для запуска задачи. Далее управление передается локальному планировщику, который запускает задачу на выполнение на локальном ресурсе. В процессе работы планировщик информирует EMS о состоянии выполнения задачи. Сервисы EMS, развертывания и настройки взаимодействуют с другими базовыми частями Grid-системы: информационным сервисом, мониторингом, сервисом определения ошибок и восстановления.

УДК 681 324

Информационные технологии в перспективе

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

По определению «Информационная технология (ИТ) – система методов и способов сбора, накопления, хранения, поиска, обработки, анализа, вы-

дачи данных, информации и знаний на основе применения аппаратных и программных средств в соответствии с требованиями, предъявляемыми пользователями». С учетом этого определение каждую из внушительного множества ИТ можно представить как систему, состоящую из трех компонентов: комплекса аппаратных средств, системы инструментальных средств и системы организационно – методического обеспечения. Поэтому имеет смысл оценить перспективы развития каждой из них отдельно. Ниже дана предполагаемая тенденция этого развития по основным компонентам:

1). Аппаратные средства:

- средства вычислительной техники: в связи с развитием «облачных» технологий будет отдано предпочтение суперкомпьютерам для их поддержки, планшетам в качестве рабочих станций, а также смартфонам;
- телекоммуникационная техника: спутники связи;
- организационная техника: средства подготовки, копирования, обработки и хранения оцифрованных документов.

2). Инструментальные средства:

- системное программное обеспечение: операционные системы типа Unix, Windows, Android и др.;
- функциональное программное обеспечение: программы поддержки «облачных» технологий, распределенных объектов, систем управления, разработки программного обеспечения.

3). Организационно–методическое обеспечение:

- организационное обеспечение: анализ целевой деятельности, формализация задач, разработка управленческих решений по составу и структуре сферы деятельности с целью внедрения информационных технологий;
- методическое обеспечение: электронные учебники, пособия в области образования, экономики, производства, государственного управления для разработчиков и пользователей информационных систем.

Это – ближайшая перспектива. Дальнейшие горизонты развития информационных технологий могут быть фантастичны, т.к. информационные процессы являются важным фактором сложных производственных и социальных изменений, а также взаимодействия между людьми.

УДК 681 324

Информационные системы – основа успешного управления.

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Обычно с управлением, вообще, и с автоматическим, в частности, ассо-

цируется управление поддержкой техническими объектами заданных режимов. К примеру, режимов движения – автомобиля либо поезда, полета – самолета либо ракеты, работы – стиральной машины либо кондиционера и т.д. Достаточно абстрагироваться от привычных стереотипов, чтобы на каждом шагу в окружающей нас действительности найти управляемый объект, сущность или явление. Да и мы сами – управляемые и управляющие существа одновременно.

Во всем упомянутом многообразии имеет место управление с обратной связью. В качестве датчиков управляющих сигналов обычно выступают либо органы чувств – живая природа, либо уровень жизни граждан – экономика, либо физические параметры – технические устройства, состав ингредиентов – технологические процессы.

В технической, технологической, социальной и экономической сферах деятельности основным посредником в формировании и передаче управляющих сигналов являются информационные системы. Кроме того в социально-экономической сфере информационные системы формируют сигналы, подаваемые в программу, управляющую экономикой либо социальной сферой, а также выполняют обработку результатов этого управления. Соображения по формированию этой информации с привлечением возможностей Интернет были изложены в [1].

Следует заметить, что и сами информационные системы являются по отношению к управляемым объектам сервисными и также содержат элементы типа управляющих либо полностью являются таковыми. Например, «видео по требованию», «обработка информации до и после управляющего воздействия» и другие. Очевидно, что от эффективности передачи данных и их оценки информационной системой зависит успех стратегии управления во всех упоминаемых выше случаях.

Литература:

1. Бугай О.В., Бухвалова И.А. Информации вал да прок мал. // Информационные технологии в технических и социально - экономических системах: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Минск: БНТУ, 2013. С. 4.

УДК 004.421.2

Разработка дизайна и структуры сайта кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является создание плагина, который способен

обеспечить динамический обзор информации, размещённой на сайте кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем». Плагин представляет собой слайдер с элементами управления.

В области архитектуры и дизайна приложений постоянно происходят изменения. Основные принципы, на которых строились успешные решения в прошлом, будут хорошо служить и в обозримом будущем, но мы также должны быть готовыми к тому, что темпы инноваций, как в технологиях, так и в новых подходах к проектированию, не будут снижаться.

Исходя из того, что сайт разрабатывается с использованием CMS WordPress, то структура разрабатываемого ПО и инструменты реализации вытекают из особенностей данной платформы, а именно состоят из двух частей: части видимой исключительно администратору сайта или «бекэнд»; части видимой всем посетителям сайта или «фронтэнд». Соответственно для каждой из частей выбирается свой главный инструмент разработки: «бекэнд» в большей степени будет реализован на PHP, «фронтэнд» – соответственно на HTML/CSS/JavaScript(jQuery). Поскольку основным назначением ПО является динамический обзор размещённой на сайте информации, то исходя из этого перечислим ряд требований, которые должны быть учтены в конечном варианте плагина: простота использования; привлекательность; эргономичность; наличие вариантов использования.

Особое отношение уделено выбору языков программирования, однако независимо от того, какой язык программирования будет избран, в основе любого сайта лежит язык гипертекстовой разметки – HTML. Среди клиентских языков веб-программирования надо выделить JavaScript, который также лежит в основе многих веб-технологий. Самым популярным языком веб-программирования является, безусловно, PHP. Его основными преимуществами являются: простой синтаксис, высокое быстродействие, поддержка большинством хостингов.

На информационных вкладах сайта появится такая информация, как: история создания и творческого роста кафедры; информация о темах и руководителях дипломных проектов, выполняемых студентами кафедры в разные годы; методические материалы по изучаемым на кафедре дисциплинам; фото сотрудников кафедры и многое другое, что может и должно заинтересовать многочисленных Интернет-пользователей.

Автоматизированный синтез устойчивого полинома из заданного неустойчивого корневым методом с использованием средств MatLab

Несенчук А.А., Козлов Ф.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящей работе для нахождения устойчивого полинома на основе исходного неустойчивого используется расширение полинома [1]. Метод состоит в последовательной настройке значений всех или некоторых коэффициентов исходного полинома

$$(1) \quad g_n(s) = s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n,$$

где a_j – действительные коэффициенты полинома, $j = \overline{1, n}$.

Расширение полинома (1) [1] определяется двумя полиномами

$$(2) \quad g_\eta(s) = s^\eta + a_1 s^{\eta-1} + \dots + a_{\eta-1} s + a_\eta,$$

$$(3) \quad g_{\eta-1}(s) = (g_\eta(s) - a_\eta)/s,$$

где η – порядковый номер полинома в расширении, равный его степени, $\eta = \overline{1, n}$; a_j – коэффициенты, $j = \overline{1, \eta}$. Полиномы расширения имеют общие коэффициенты, но не общие корни. Полином (3) является порождающим [1] по отношению к полиному (2).

Разработан алгоритм синтеза устойчивого интервального полинома [1] путем настройки его коэффициентов на основе анализа траекторий корней полиномов (2) и (3) расширения, который реализован программно с применением средств MatLab.

Преимущество решения задачи средствами MatLab заключается в том, что функции, разработанные в среде MatLab, работают быстрее (или в ряде случаев не медленнее) в сравнении с их эквивалентами на C/C++. Также, являясь матричным процессором, MatLab позволяет эффективно работать с векторным и матричным представлениями полиномов, что существенно упрощает выполнение отдельных функций, реализующих этапы отмеченного выше алгоритма.

Рассмотренный метод синтеза позволяет обобщить метод корневого годографа на случаи вариации произвольного числа коэффициентов и может быть использован для синтеза (по определенному критерию) интервального [1] устойчивого полинома на основе заданного неустойчивого.

Литература:

1. Несенчук, А.А. Корневой метод синтеза устойчивых полиномов путем настройки всех коэффициентов / А.А. Несенчук // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 8. – С. 13–24. ISSN 0005-2310.

Алгоритм AES для шифрования государственной тайны

Замковец В.В., Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для шифрования государственной тайны в разных государствах используются различные стандарты и алгоритмы. Так, в СНГ применяется алгоритм шифрования ГОСТ 28147-89. В Евросоюзе стандартизация алгоритмов шифрования осуществляется в рамках проекта NESSIE, в Японии аналогичную роль выполняет организация CRYPTREC.

Государственным стандартом шифрования США является Advanced Encryption Standard (AES) [1]. Стандарт AES основан на алгоритме блочного шифрования Rijndael, который был отобран среди многих других алгоритмов в конкурсе, организованном Национальным институтом стандартов и технологий (NIST) США в 1997 г.

В работе выполнена программная реализация данного алгоритма на языке C#. Алгоритм обрабатывает шифруемые данные в виде блоков длиной 128 бит. Он принимает секретный ключ, длина которого может быть выбрана равной одному из значений – 128, 192 или 256 бит. Данные при обработке представляются в виде матрицы 4x4 байта. После процедуры расширения ключа к каждому байту блока шифруемых данных и каждому байту полученного значения ключа применяется операция XOR (исключающее «ИЛИ»). Затем каждый байт заменяется соответствующим значением в специальной фиксированной таблице значений. Далее в матрице происходит сдвиг значений по строкам влево на количество байтов, равное индексу строки. Затем происходит умножение каждого столбца матрицы (в виде полиномов) в поле Галуа по модулю $x^4 + 1$ на фиксированный многочлен $c(x) = 3x^3 + x^2 + x + 2$. Результат вновь смешивается с ключом путём применения операции XOR. Данные действия повторяются несколько раз в зависимости от выбранного числа раундов. При дешифровании с тем же ключом все действия выполняются в обратном порядке.

В направлении усовершенствования в алгоритм введена процедура внесения дополнительной диффузии в шифр. Суть модернизации состоит в замене двумерной матрицы трёхмерной. Длина блоков данных в этом случае равна 512 бит. Сдвиг байтов в матрице проводится вначале вышеупомянутым способом – по столбцам во втором измерении, а затем аналогичным образом – по столбцам в третьем измерении. Такое новшество подходит для шифрования больших объёмов данных и усиливает алгоритм.

Литература:

1. Daemen J., Rijmen V. The Design of Rijndael: AES – Advanced Encryp-

tion Standard. – N.Y.: Springer, 2002.

УДК 004.421.2

Рекурсивное программирование

Ковальков А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Рекурсия, т.е. обращение некоторой подпрограммы (процедуры или функции) к самой себе, имеется практически во всех современных языках программирования. Отношение программистов к рекурсии неоднозначно – от восторженных отзывов до почти полного отрицания. В целом использование рекурсии даже опытными программистами не так активно, как она этого заслуживает. Между тем рекурсия является фундаментом таких языков программирования, как Пролог и Лисп, в которых она стала основным механизмом программирования.

Сдержанность многих программистов к рекурсии объясняется главным образом тем, что они, привыкшие при программировании на процедурном языке разрабатывать алгоритм решения задачи, с этих же позиций программируют и рекурсивную процедуру, стараясь вникнуть в достаточно непростой механизм реализации рекурсии. Такой подход непродуктивен.

Есть другой метод рекурсивного программирования, суть которого в следующем. Конец рекурсивных вызовов определяется граничным или терминальным условием, которое строится заданием таких значений входным параметрам, для которых сразу можно записать значения выходных параметров. При построении рекурсивных предложений предполагаем, что рекурсивный вызов процедуры или функции при измененных входных параметрах вычисляет промежуточный результат, который на один шаг отличается от окончательного результата. Решение получаем, используя промежуточный результат. Такой подход к программированию позволяет просто, без разработки алгоритма и не вникая во внутренний механизм работы рекурсии, логически конструировать нужные рекурсивные подпрограммы.

Таким образом, использование предлагаемой опробованной на практике методики построения рекурсивных подпрограмм позволяет просто использовать рекурсию не только в декларативных языках программирования, к которым относятся такие языки как Пролог и Лисп, но и в процедурных языках типа Паскаль, Си.

Построение рекурсивных подпрограмм по предлагаемой методике позволяет превратить программирование и на процедурных, и на декларативных языках в увлекательное занятие, равноценное решению

логических задач. В то же время предлагаемая методика поможет программистам, использующим рекурсию, быть более продуктивными при проектировании рекурсивных процедур.

УДК 683.3

Архитектура корпоративных приложений. Построение уровня доступа к данным приложений

Попова Ю.Б., Бураковский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования является система управления учебным процессом – LMS (Learning Management System), разработанная студентами и магистрантами кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» и широко используемая на факультете информационных технологий и робототехники. Данная автоматизированная система размещена в локальной сети БНТУ по адресу: <http://Lms.fitr.bntu.by> (или по IP-адресу: <http://172.16.111.26>).

Проект LMS состоит из нескольких модулей: управление проведением лабораторных работ, курсовым проектированием, дипломным проектированием, тестированием знаний студентов, управлением ошибками, сбором статистики, составлением учебно-методических материалов и некоторых других.

Основной целью разработки является создание единой «точки входа» к источнику данных, т.е. создание единого DAL (Data Access Layer). Отделение логики доступа к данным объекта значительно увеличивает гибкость любой системы, использующей хранилища данных. DAL помогает изолировать другие части приложения от подробностей сохранения объектов.

Для создания единого DAL была выбрана технология доступа к данным LinqToSql. Для работы с контекстом данных был выбран шаблон DAO (Data Access Objects – объекты, позволяющие работать с контекстом данным). Все DAO работают с контекстом данных по принципу IoC. Однако, какому провайдеру данных принадлежит этот контекст, DAO не знают. Этим достигается независимость от поставщика данных, будь то Linq2Sql, Entity Framework, XML, WCF, WebAPI или что-то иное. Контекст данных инициализируется в конструкторе DAO, но тут встает вопрос: каким образом создавать тот или иной контекст? Эту проблему решает паттерн AbstractFactory. В LMS используется двойной подход этого паттерна для создания контекстов. Сначала одна из фабрик определяет, для какого источника данных нужен контекст, далее

определяется, какой тип преобразования данных в объекты используется (задается в конфигурационном файле, для него создается требуемая фабрика) и следующим шагом является создание контекста в фабрике контекстов. После этого этапа, контекст создан и DAO готов работать с данными.

УДК 683.3

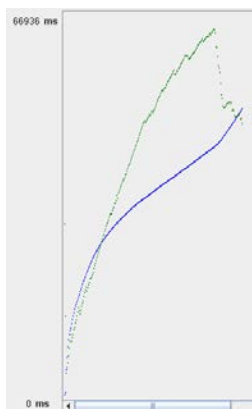
Тестирование производительности LMS

Попова Ю.Б., Романёнок С.В.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования производительности является система управления учебным процессом – LMS (Learning Management System), разработанная студентами и магистрантами кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» и широко используемая на факультете информационных технологий и робототехники БНТУ, так как при работе с ней в условиях интенсивного использования студентами во время учебных занятий неоднократно были замечены проблемы с низкой производительностью системы: страницы медленно открываются, данные медленно обрабатываются, что приводит к недовольству большинства пользователей.

Основной целью является определение времени отклика для различных страниц приложения. Время откликов измерялось для различных уровней нагрузки: 20 пользователей, когда с системой работает одна группа на занятии. Средняя нагрузка – 100 пользователей – в случае, когда LMS используют в нескольких аудиториях несколько групп. И стрессовая нагрузка, равная 250 пользователям, на случай использования системы в сети Интернет. Основными задачами является тестирование старой и новой версий системы с дальнейшим сравнением результатов.



Инструментом для тестирования был выбран Jmeter. При выборе этого инструмента руководствовались простотой использования и обработки результатов, а также тем, что инструмент бесплатный. Jmeter прослушивает трафик на TCP порту и генерирует из него скрипт. Таким образом, в дальнейшем можно использовать записанный скрипт. После запуска скрипта для выбранного количества пользователей можно наглядно просмотреть полученные результаты: графики усредненного времени отклика и пропускной способности.

По величине времени отклика, пропускной способности и характеру их изменения, а также числу отказов выполнения операции можно определить наиболее проблемные модули приложения.

УДК 681.324

Особенности моделирования асинхронного электропривода в среде Simulink.

Гук М.Э., Пашенко А.В.

Белорусский национальный технический университет

В поставку Simulink входит блок модели трехфазного асинхронного электропривода, однако его использование относительно затратное, поэтому следует особое внимание обратить на оптимизацию скорости моделирования. Рассмотрим «узкие места» в моделях Simulink:

1. Блоки MATLAB функций, S-функций, блоков памяти. Неподготовленное использование их приводит к вычислениям на каждом шаге.

2. Малые размеры шага, малое значение максимального размер шага, слишком высокая точность вычислений, большой интервал моделирования. Все эти случаи приводят к большому объему шагов и данных для обработки. Уменьшение обрабатываемых данных приведет к ускорению симуляций.

3. Сложный блок из библиотеки может содержать подсистемы с блоками из пункта 1. (Раскройте блоки, чтобы увидеть вызывают ли они S-функции, как пример.)

4. Встроенные scope блоки.

5. Алгебраические петли – в решениях алгебраических петли итерационные и осуществляется на каждом шаге по времени.

6. Не следует использовать блок белого шума с интегратором. Для непрерывных систем используют блок белого шума с ограниченной полосой.

7. Задача может оказаться жёсткой, в то время как пользователь применяет не-жесткий решатель. Следует использовать ode15s в этих случаях.

8. Следует отключить обнаружение пересечения нуля.

9. Следует использовать "Встроенные параметры" в модели. Выбор этой опции позволяет Simulink рассматривать указанные параметры как константы.

10. Следует использовать Simulink Accelerator.

11. Следует отключить функцию регистрации данных.

12. Следует увеличить скорость процессора.

13. Следует увеличить объем памяти.

Менее всего влияют на моделирование открытые графики или другие визуальные устройства вывода во время моделирования.

УДК 004.4

Алгоритм определения списка атрибутов файла в NTFS

Разоренов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с архитектурой и защитой информации, относящиеся исключительно к компьютерным системам, применительно к возможностям файловой системы NTFS, которая за счет архитектуры предоставляет более высокую степень безопасности. Главная структура данных каждого тома NTFS — это главная таблица файлов MFT (Master File Table), которая состоит из линейной последовательности записей фиксированного размера 1 Кбайт. Первые 16(+N) записей MFT резервируются для файлов метаданных NTFS. Запись № 1 описывает сам файл MFT, в частности, в ней описывается, где находятся блоки файла \$MFT. Адрес первого блока файла \$MFT записывается при форматировании тома в загрузочный блок BOOT.

Каждая запись MFT описывает один файл или один каталог. Она содержит атрибуты файла, такие, как его имя и временная метка, а также список отрезков кластеров, где расположены его блоки данных. Если файл очень большой, то используются две или более записей MFT — в этом случае первая запись в MFT, называемая основной записью (base record), указывает на остальные записи в MFT.

Файл в NTFS — это множества атрибутов, каждый из которых представлен потоком байтов. Большинство файлов имеет несколько коротких атрибутов, называемых резидентными (стандартная информация, название файла) и один длинный нерезидентный (неименованный) поток с данными. Однако файл может иметь также несколько атрибутов одного типа.

Разработан алгоритм и программа раскрутки списка атрибутов файла на томе NTFS. Укрупнено может быть представлен следующими процедурами:

1. открытие тома на чтение и проверка на тип файловой подсистемы;
2. чтение данных атрибута DATA метафайла \$Boot и определение расположения файл \$MFT;
3. поиск в таблице файловой записи искомого файла;
4. декодирование заголовка файловой записи и определение адреса первого атрибута;
5. проход по линейному списку атрибутов до маркера – конец спис-

ка (FF FF FF FF) с расшифровкой данных атрибута.

УДК 004.4

Особенности программирования в ОС Windows Phone 8

Разоренов Н.А., Разорёнова Т.Р.

Белорусский национальный технический университет

Microsoft Silverlight, XNA — набор инструментов с управляемой средой времени выполнения (.NET), созданный Microsoft, облегчающий разработку и управление приложениями Windows Phone. Рассмотрена архитектура программного обеспечения, основные возможности платформы, интерфейсы программирования.

Платформа XNA в основном предназначена для разработки игр (2D и 3D) XNA Framework делится на три основные части: графический движок, модель игрового приложения (класс Game), конвейер содержимого.

Microsoft Silverlight для Windows Phone – набор визуальных элементов управления с поддержкой режима визуального дизайна в стиле Metro. В интернете доступен исходный код, примеры и документация. После установки средств разработки Windows Phone SDK в среде Visual Studio появится группа из 9 проектов для разработки приложений. Основными шаблонами приложений (основными стилями) являются: Windows Phone Application, Windows Phone Pivot Application, Windows Phone Panorama Application.

В работе рассмотрены основные концепции разработки приложений для Windows Phone, в частности, разметка страниц приложения, навигация между страницами, передача информации между страницами, программирование аппаратных кнопок, отслеживание изменения ориентации экрана, экранная клавиатура и контекст ввода.

Идея хранилищ данных в Windows Phone представлена пользователем несколькими интерфейсами, которые позволяют хранить структурированные и неструктурированные данные в различных форматах. Например, можно хранить ресурсы, используемые в приложениях: видео, картинки, аудиофайлы и т. д. Кроме файлов различных форматов, приложение может сохранять личные данные в изолированном хранилище (Isolated Storage). Для хранения структурированных данных, их фильтрации и поиска применяются базы данных. Разработчикам приложений доступна база данных СУБД SQL CE. Данные можно хранить долгосрочно вне зависимости от включений/выключений телефона.

Разработано приложение, которое позволяет продемонстрировать характеристики ряда элементов визуального дерева элементов Silverlight. Данное приложение можно использовать в учебных целях.

Система мониторинга сельскохозяйственной техники

Калиниченко А.С., Басинюк В.Л.* , Мардосевич Е.И.*,
Лапанович И.О., Шматко С.Б.**

Белорусский национальный технический университет,
*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,

**ПО «Минский тракторный завод»

Конкурентоспособность современной сельскохозяйственной техники во многом определяется не только ее функциональными возможностями, но и уровнем систем мониторинга технического состояния ее основных компонентов, во многом определяющим ее безотказность, ресурс и экологическую безопасность.

Решение этой задачи, как правило, достигается путем все большей комплексной компьютеризации систем контроля, важное место среди которых занимает автоматизированный мониторинг параметров функционирования и оценки технического состояния отдельных узлов и объекта в целом в эксплуатационных условиях. Это позволяет предотвратить внезапные отказы или существенно снизить их отрицательное воздействие на основные компоненты объекта мониторинга и окружающую среду, определить технически обоснованные и экономически целесообразные сроки проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту и в целом обеспечить качественно новый уровень эксплуатационного обслуживания сельхозмашин.

Для мобильной техники в качестве диагностических признаков в основном используются такие параметры, как температура диагностируемого узла и его квазистатическая или динамическая составляющая нагруженности. Одновременно с этими параметрами, как правило, регистрируются с использованием внутренних систем контроля нагрузочные и скоростные режимы работы двигателя.

Анализ результатов исследований показал, что контроль приведенных выше параметров наиболее целесообразно осуществлять с использованием как средств контроля, предусмотренных конструкций объекта мониторинга, так и дополнительных бортовых микропроцессорных средств, учитывающих специфику диагностируемого объекта. Эти средства могут быть интегрированы в бортовую компьютеризованную систему диагностирования или использоваться в качестве вспомогательных внешних источников информации. При обработке и анализе диагностических данных используются эталонные значения регистрируемых параметров, полученные в процессе специально подобранных или предварительно определенных режимов функционирования.

Бортовая система мониторинга энергонасыщенных тракторов

Калиниченко А.С., Басинюк В.Л.* , Лапанович И.О.,
Мардосевич Е.И.* , Шматко С.Б.**

Белорусский национальный технический университет,
*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
**ПО «Минский тракторный завод

Одной из основных задач создания конкурентоспособных тракторов является обеспечение соответствующих мировому уровню параметров безотказности, ресурса и экологической безопасности.

К наиболее перспективному пути решения этих задач можно отнести создание тракторов с гибридным приводом мощностью 300 л.с. и более, что позволяет комплексно решить технически сложную задачу одновременного увеличения мощности трактора, снижения вредных выбросов в окружающую среду и снижения расхода топлива на единицу потребляемой трактором мощности.

Однако, увеличение мощности тракторов до 300 л.с. приводит к соответствующему возрастанию его массы, существенному усложнению приводных и сервисных систем и необходимости использования в системах контроля и управления компьютеризированных систем. Одновременно с этим возникают определенные проблемы, связанные с необходимостью повышения надежности и безопасности приводных систем, тесно взаимосвязанные с функционированием трактора в целом.

Для их решения целесообразно создание мобильных бортовых компьютеризированных систем мониторинга технического состояния, использующих и дополняющих возможности уже применяемых в конструкции трактора компьютеризированных систем контроля и управления. В качестве источников диагностической информации этих систем могут быть использованы тепловая нагруженность и изменения динамических характеристик функционирования основных компонентов механических и гидравлических приводов, включая:

– трансмиссию энергонасыщенного трактора с гибридным приводом, в состав которого входят двигатель внутреннего сгорания, генератор, электродвигатель, относительно «тихоходную» автоматическую трансмиссию и электронные модули управления;

– гидропривод навесных устройств и системы автоматизированного управления алгоритмами и режимами его функционирования.

Дополнительно регистрируемые к контролируемым существующими системами мониторинга могут быть приняты вибрационная, тепловая нагруженность и давление в гидроприводе.

О перспективности разработки мобильных приложений на платформе Windows Phone 8

Летковский И.В., Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Противостояние между Windows Phone 8, iOS 6 и Android 4.1 на рынке мобильных операционных систем – это борьба трёх разных идеологий. А кроме того, ещё и сражение за пользователей между крупнейшими корпорациями: Microsoft, Apple и Google. От успеха этих систем напрямую зависит успех всех устройств, работающих на их основе.

Новая версия Windows Phone 8 претерпела кардинальные изменения и не является прямой наследницей Windows Phone 7.x, базируясь на ядре Windows NT (с поддержкой ARM-архитектуры) в отличие от своей предшественницы, которая была построена на ядре Windows CE. Сейчас Microsoft старается объединить все свои платформы в единую экосистему, что является, неоспоримым преимуществом для разработчиков.

Основные преимущества Windows Phone 8 по сравнению с предыдущими версиями – это поддержка многоядерных процессоров (до 64 ядер) и дисплеев с высоким разрешением, в том числе 768x1280 пикселей, технологии NFC и системы обновлений подобно настольной Windows. В качестве браузера выступает оптимизированный Internet Explorer 10-й версии. Неоспоримым плюсом является то, что в Windows Phone 8 встроен мобильный пакет MS Office, который позволяет удобно работать с документами. Отдельно стоит выделить интеграцию со Skype и Skydrive. Немаловажным моментом является высокая скорость работы пользовательского интерфейса вне зависимости от устройства.

Привлекать внимание корпоративных пользователей Microsoft планирует за счет целостности ОС, IPSec VPN, прокси-серверов, шифрование диска и функций управления политикой устройств. Некоторые из этих функций уже присутствуют, а некоторые появятся в ближайшем обновлении.

Для разработчика важным нововведением является возможность написания высокопроизводительных приложений на C++.

С учетом требований к дизайну пользовательского интерфейса и архитектуры приложений для ОС Windows Phone было разработано демонстрационное приложение, которое позволяет осуществлять сбор, анализ и хранение данных со встроенных датчиков мобильного устройства. Разработанное приложение с высокой точностью отслеживает местоположение мобильного устройства, его скорость и ускорение, угловые и линейные перемещения, а так же геомагнитные величины.

Моделирование работы MR амортизатора

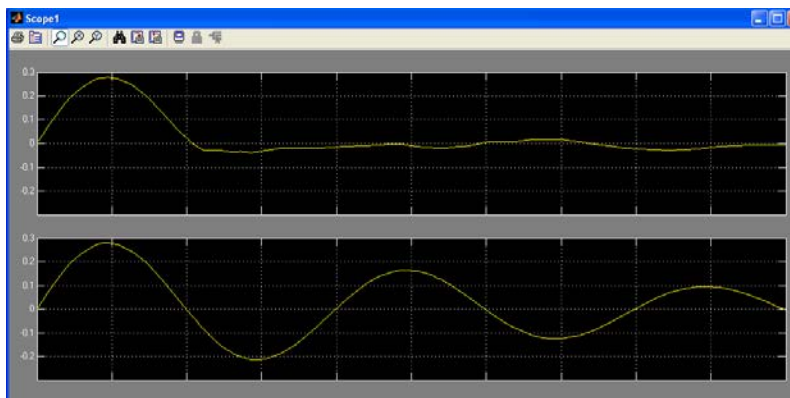
Прибыльская Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Управляемый амортизатор, демпфирующее усилие которого изменяется заданным образом, как правило, состоит из цилиндра, штока с поршнем, обмоток возбуждения и ряда других деталей. Полости цилиндра заливаются магнито-реологической суспензией. Цилиндр и поршень выполняются из магнитного материала. Обмотки возбуждения проложены в пазах на поршне и соединены последовательно. При движении поршня относительно цилиндра жидкость протекает из одной полости в другую через узкий кольцевой зазор между поршнем и внутренней стенкой цилиндра. Поскольку гидросопротивление зазора определяет величину демпфирующего усилия и скорость поршня, то управление амортизатором сводится к изменению гидросопротивления, обычно путем создания в зазоре радиального магнитного поля заданной напряженности, которое возникает в результате пропускания тока через обмотку возбуждения и концентрируется в зазоре магнитопроводами – поршнем и цилиндром.

Моделирование работы MR амортизатора проводилось в среде Matlab Simulink. При моделировании с использованием Simulink реализуется принцип визуального программирования, в соответствии с которым, пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель устройства и осуществляет расчеты.

На рисунке приведены результаты моделирования работы MR амортизатора.



Объектно-ориентированные базы данных: проектирование, реализация.

Бухвалова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Объектно-ориентированные базы данных применяются для обеспечения управления базами данных приложениями, построенными в соответствии с концепцией объектно-ориентированного программирования. Для улучшения сохранности и целостности данных в объектном программировании данные и код для их обработки организованы в объекты. Практически полностью снимаются ограничения на типы данных. Если данные состоят из коротких, простых полей фиксированной длины (имя, адрес, баланс банковского счета), то лучшим решением будет применение реляционной базы данных. Если, однако, данные содержат вложенную структуру, динамически изменяемый размер, определяемые пользователем произвольные структуры (мультимедиа, например), представление их в табличной форме будет, как минимум, непросто. В то же время в ООСУБД каждая определенная пользователем структура – это объект, непосредственно управляемый базой данных. В РСУБД связи управляются пользователем, создающим внешние ключи. Затем для обнаружения связей динамически во время выполнения система просматривает две (или больше) таблицы, сравнивая внешние ключи до достижения соответствия. Этот процесс, называемый объединением (join), является слабой стороной реляционной технологии. Более двух или трех уровней объединений – сигнал, чтобы искать лучшее решение. В ООСУБД пользователь просто объявляет связь, и СУБД автоматически генерирует методы управления, динамически создавая, удаляя и пересекая связи. Таким образом, применение объектной модели предпочтительнее для баз данных с большим количеством сложных связей: перекрестных ссылок, связывающих несколько объектов с несколькими (many-to-many relationships) двунаправленными ссылками.

В объектной технологии все сложности структур данных скрываются внутри объектов, а доступ к информации осуществляется через простой унифицированный интерфейс. Объекты, в отличие от реляционных таблиц, тесно увязывают данные в программный код. Концептуально, а часто и практически, объект представляет собой пакет, включающий значения всех его данных («свойства») и копию всех его кодов («методы»). Методы объекта направляют сообщения для взаимодействия с другими методами этого же или других объектов. Объектная модель данных Cashe разработана на основе стандарта ODMG.

Алгоритмы управления колебаниями амортизированной массы на базе нейронной сети

Гурский Н.Н., Иванченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Интенсивность колебаний широкого класса объектов возрастает с увеличением мощностей силового оборудования, ростом скоростей движения транспортных средств. Требования, предъявляемые к системам виброзащиты, как правило, противоречивы. Традиционные системы виброзащиты из пассивных упругодиссипативных элементов не могут в полной мере обеспечить противоречивые требования, предъявляемые к параметрам колебаний амортизируемых систем.

Системы активной виброзащиты и стабилизации являются сложными нелинейными многомерными системами автоматического управления, функционирующими, как правило, в нестационарных условиях. Для решения задачи предлагаются алгоритмы интеллектуального управления на основе адаптивных регуляторов, связывающих фазовые координаты системы и критерий качества управления и сочетающие точность и быстродействие без перерегулирования при гарантированной устойчивости системы.

Что если адаптивные регуляторы будут управляться с использованием искусственной нейронной сети (ИНС)?

В общем случае, с точки зрения компьютера, нейронная сеть представляет собой частный случай методов распознавания образов, дискриминантного анализа, методов кластеризации и т.п. С математической точки зрения, обучение нейронных сетей – это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации. С точки зрения кибернетики, нейронная сеть используется в задачах адаптивного управления и как алгоритмы для робототехники. С точки зрения развития вычислительной техники и программирования, нейронная сеть – способ решения проблемы эффективного параллелизма.

ИНС не программируются, они обучаются. Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных.

Оптимизация параметров асинхронного двигателя большегрузной мобильной машины

Нажжарин М., Василевский Ю.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на просторах бывшего СССР и в нашей республике широко используются асинхронные электродвигатели серии 4А. В этой серии 17 габаритов, 33 ступени мощности, диапазон мощностей от 0,06 до 400 кВт, высоты осей вращения 50 – 355 мм, при $f=50$ Гц диапазон синхронных скоростей вращения от 3000 до 500 об/мин.

Использование типовых серий, несомненно, имеет много достоинств: например, приводит к сокращению количества штампов, уменьшению количества моделей для отливки станин и подшипниковых щитов, сохранению типовых диаметров валов, унификации подшипниковых щитов, сокращению количества оснастки и измерительного инструмента.

Однако, при всех достоинствах использовать типовую серию электродвигателей без существенных модификаций не всегда представляется возможным. Например, при использовании асинхронных электродвигателей в качестве привода для большегрузных автомобилей необходимо использовать как можно более компактные электродвигатели.

При оптимизации ставилась задача получить электродвигатель с наименьшими значениями геометрических размеров при сохранении заданной мощности на валу.

Пути оптимизации размеров электродвигателей могут быть следующие:

- модификация системы охлаждения (увеличение площадей для рассеивания тепла, увеличение объёмов воздуха, пропускаемого через охлаждаемые части машины);
- применение более высокого класса нагревостойкости изоляции;
- использование сортов электротехнических сталей с улучшенными магнитными свойствами и меньшими удельными потерями;
- использование обмоточных проводов с более тонкой изоляцией обмоток.

В связи с тем, что при уменьшении геометрических размеров асинхронного электродвигателя уменьшается его к.п.д. – в первую очередь из-за того, что значительно увеличивается расход энергии на охлаждение электродвигателя, – наиболее целесообразно при проектировании за основу выбрать меньший габарит электродвигателя на 1-2 значения. Такой подход позволяет использовать унифицированные детали при проектировании.

**Литейное производство
черных и цветных
металлов**

Получение литейных сплавов системы Al-Si с использованием алюминиевого лома с повышенным содержанием магния

Арабей А.В., Лущик П.Е.

Белорусский национальный технический университет

В работе проведено исследование возможности получения литейных сплавов системы Al-Si с использованием алюминиевого лома с повышенным содержанием магния. Данная задача была решена путем применения разработанных технологических режимов синтеза алюминий-кремниевых сплавов из алюмоматричных композиций системы Al- Mg-SiO₂.

Установлено, что при жидко-твердофазном совмещении компонентов алюмоматричной композиции магний оказывает положительное влияние на процесс замешивания кварцевого песка. Максимальное содержание кварцевого песка со средним размером частиц 0,2–0,3 мм, при котором компоненты алюмоматричной композиции находятся в связанно-структурированном состоянии, составляет 35–40% (мас.) для нелегированной алюминиевой матрицы. При содержании в алюминиевом матричном расплаве 1% Mg в него возможно ввести до 45–50% кварцевого песка, при этом алюмоматричная композиция будет находиться в связанно-структурированном состоянии, а при содержании Mg до 3% эта величина возрастает до 55–60%. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что с увеличением содержания магния до 3 % в алюминиевой матрице максимальное количество вводимого кварцевого песка в алюмоматричную композицию может быть увеличено на 15–20 %. Однако максимальные значения степени восстановления кремния из всех исследованных составов алюмоматричных композиций соответствуют содержанию кварцевого песка на уровне 30 %.

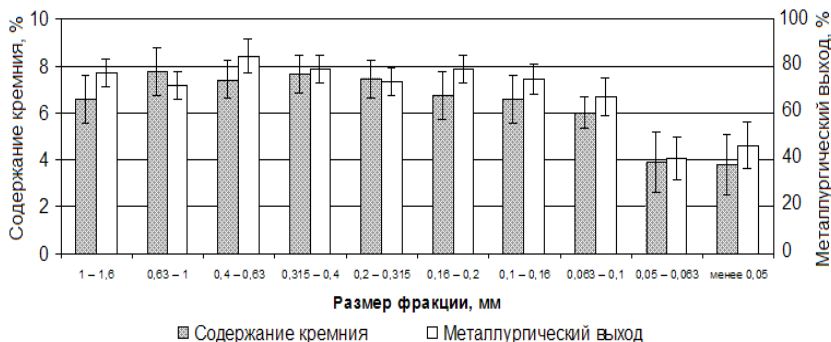
Результаты рентгенофлуоресцентной спектроскопии образцов полученных синтетических сплавов и шлака, собранного с поверхности расплава, показали, что магний, содержащийся в алюминиевой матрице до 5 % (мас.), практически полностью взаимодействует с кварцевым песком с образованием оксида магния. Это обеспечивает возможность широко использования низкосортного лома и отходов алюминиевых сплавов с повышенным содержанием магния для получения синтетических сплавов системы Al-Si из алюмоматричных композиций системы Al-Mg-SiO₂.

Особенности влияния фракционного состава кварцевых песков на процесс получения синтетического Al-Si сплава с использованием кварцевого песка

Рафальский И.В., Арабей А.В.

Белорусский национальный технический университет

Проведено исследование влияния размера фракции кварцсодержащего наполнителя на процесс восстановления кремния алюминием из алюмоматричных композиций системы Al-SiO₂, полученных с использованием гетерофазной технологии совмещения шихтовых материалов. Механическую классификацию формовочного кварцевого песка марки 2K₂O₂03 проводили на двенадцати ситах. При получении алюмоматричных композиций алюминий марки А7 расплавляли, в жидко-твердом состоянии сплава вводили кварцевый песок различных фракций в количестве 20 % от массы алюминия. Полученную после затвердевания композицию выдерживали в печи при температуре 800 °С в течение 45 минут в графито-шамотных тиглях.



Влияние размера фракции кварцевого песка на содержание кремния в сплаве и металлургический выход сплава

Из полученных результатов видно, что оптимальным размером формовочного кварцевого песка для получения синтетического Al-Si сплава являются фракции от 0,1–1 мм. При использовании указанных размеров фракций достигается максимальный металлургический выход синтетического сплава (до 85-90%). При использовании малоразмерных фракции кварцевого песка (менее 63 мкм) содержание кремния и металлургический выход синтетического силумина резко снижаются.

**Производство гранулированного раскислителя из дисперсных отходов
алюминиевых сплавов**

Трибушевский Л.В., Трибушевский В.Л., Иванов А.Д.
Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенными способами раскисления стали алюминия являются: ввод алюминия в виде чушки, с различного рода утяжеляющими оболочками (из чугуна и стали); при помощи штанг. За рубежом существуют также способы выстреливания алюминия в виде пуль – технология ABC (Aluminium Bullet Shooting) и технология ASIS, предусматривающая вдувание алюминиевой дроби в струю металла на выпуске из сталеплавильного агрегата в ковш. Данная технология предусматривает применение алюминиевой дроби диаметром 1,6–6,0 мм, плотностью 2,6–2,7 г/см³, которую вдувают непосредственно в струю металла при помощи инъекционной установки. Использование гранул позволяет существенно повысить реакционную поверхность раскислителя с 0,02 м²/кг (для слитка) до 1,6–1,8 м²/кг (для алюминиевых гранул) и уменьшить количество неметаллических включений в стали за счет снижения расхода алюминия на 20–30 %. Однако получение алюминиевых гранул литьем в воду требует их последующей сушки перед использованием и существует опасность насыщения стали водородом.

Работниками научно-исследовательской лаборатории прогрессивных технологических процессов плавки и ресурсосберегающих технологий были проведены исследования по производству алюминиевых гранул из дисперсных отходов алюминиевых сплавов по «сухой» технологии. Для исследований использовали установку, состоящую из вращающегося круглого водоохлаждаемого стола, чугунного металлоприемника для жидкого алюминиевого сплава, ударного механизма для образования капель металла и системы удаления полученных гранул со стола. Расплав алюминиевого сплава, полученный из дисперсных отходов алюминия, подавали а металлоприемник, в нижней части которого находились специальные отверстия для вытекания жидкого металла. Образование капель, т.е. обрыв струи расплава, происходил за счет ударного механизма. В зависимости от интенсивности его работы изменяли размеры получаемых гранул в диапазоне 5–10 мм. Гранулы из капель расплава формировались на поверхности вращающегося водоохлаждаемого стола, в удаление готовых гранул производили направленным потоком сжатого воздуха. Вдувание гранулированного сплава, полученного по «сухой» технологии, в расплав стали по технологии ASIS подтвердило ее эффективность и обеспечило получение расплава с низким газосодержанием.

Выбор рациональной технологии переработки отходов алюминиевых сплавов

Задруцкий С.П., Трибушевский Л.В., Трибушевский В.Л.,
Глушанкова Л.Я.

Белорусский национальный технический университет

Основным источником сырья для производства вторичных алюминиевых сплавов являются алюминиевые шлаки, содержащие от 15 до 80 % алюминия. Проблема переработки такого шлака с годами становится все более актуальной как с точки зрения экономической выгоды, так и вследствие общемировой политики ужесточения требований по охране окружающей среды и захоронению отходов. На ряде предприятий применяется технология холодного механического обогащения алюминиевых шлаков с выделением металлической фракции и ее последующим использованием для выплавки марочных сплавов. Подрешеточный продукт, содержащий менее 10 % алюминия, дальнейшей переработке, как правило, не подвергается из-за нерентабельности процесса и подлежит захоронению на специальных полигонах с уплатой соответствующего налога.

Используется также технология горячего прессования шлака, позволяющая отделить часть жидкого металла от шлака (до 8 %) и получить шлак в спрессованном состоянии с наружной алюминиевой оболочкой. Последующая переработка шлаковых «коржей» в роторных печах позволяет извлечь еще около 60 % алюминия, а общее извлечение металла из шлака, не обработанного флюсом в печи, при использовании этого способа достигает 70 %. Повышение степени извлечения алюминия связано с сокращением в спрессованном шлаке доли очень мелких (менее 1 мм) частиц алюминия, которые обычно не извлекаются при переплаве шлака с применением флюса. Однако такая технология используется при наличии больших объемов шлака.

Применительно к условиям Республики Беларусь предлагается реализация схемы холодного механического обогащения алюминиевых шлаков с использованием корольков металлического алюминия для получения марочных сплавов в роторной печи, а подрешеточный продукт, содержащий 10–15 % алюминия, оксиды алюминия и остатки солевого флюса можно задействовать для производства раскислительных смесей для обработки сталеплавильных шлаков. Такая технология переработки алюминиевых шлаков является безотходной, не наносит ущерба окружающей среде и позволяет рационально использовать все составляющие алюминиевых шлаков.

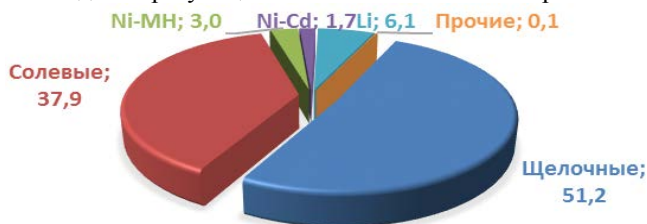
Определение основных направлений переработки использованных источников тока

Андриц А.А., Качалов В.А., Филанович И.К., Жарикова К.В., Довнар Г.В.
Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования являются отработанные химические источники тока (ХИТ) и их использование с нейтрализацией и извлечением ценных компонентов.

Для изучения существующих вариантов использования и утилизации отработанных элементов питания был проведен обзор литературных источников (105) на глубину более 20 лет. Результаты систематизированы и разделены на три группы способов использования основных типов ХИТ (первичные цинк-марганцевые, вторичные никелевые и литиевые) и комплексные способы использования. В свою очередь каждая группа разделена на электрохимические (гидрометаллургические), пирометаллургические и прочие способы переработки.

С целью определения основных типов отработанных источников тока, образующихся в Беларуси, была отобрана усредненная партия из батареек, накопленных УП «Экорес». В результате сортировки, было определено соотношение видов образующихся использованных батареек.



Видно, что основными использованными батарейками являются первичные щелочные источники тока (более 50% от всего объема образования). Вторичные (аккумуляторные) источники тока представлены никелевыми и литиевыми элементами в сумме более 10%.

Также был определен химический состав компонентов батареек, показывающий, что в состав источника тока входят соединения таких элементов как Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg, Li, Cd, Co, Al, Pb, Si, Ti, Ca, V, Fe, Cl, C.

На основании полученных результатов были определены основные направления переработки, которые выделились в 3 схемы: переработка Li, переработка Ni-Cd, переработка Zn батареек.

В результате реализации схем переработки могут быть получены сырьевые компоненты для различных отраслей промышленности, в том числе и металлургии.

Численное моделирование процесса заполнения и затвердевания материала шва при термитной сварке высокомарганцевистой и углеродистой сталей

Андриц А.А., Долгий Л.П., Лущик Т.Н.
Белорусский национальный технический университет

Термитная сварка – технологический процесс, при котором зазор между предварительно нагретыми соединяемыми деталями, заполняется металлургическим расплавом, полученным при сгорании термита.

Такие преимущества термитной сварки, как портативность оборудования и приспособлений, возможность соединять крупные заготовки на месте и использовать изделие практически сразу после сварки, были быстро оценены железнодорожниками. Этим способом сварки стали соединять рельсы, поломанные тяги, штоки и др.

В связи с массовым применением термитной сварки на транспорте появилась потребность в качественном улучшении сварного стыка – получении плотного бездефектного стыка исключающего возможность возникновения трещин при нагрузках и перепадах температур.

В настоящей работе проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния свариваемого узла участка трамвайных рельсов, а также моделирование процессов заполнения и затвердевания материала шва при термитной сварке высокомарганцевистой и углеродистой сталей для снижения вероятности возникновения литейных дефектов.

Для проведения численного моделирования использовались современные программные средства компании ESI Group: 1) Пакет имитационного моделирования сварки и термообработки SYSWELD; 2) Пакет имитационного моделирования литейных процессов ProCAST.

В результате анализа напряженно-деформированного состояния были получены количественные показатели распределения термических напряжений после сварки, а также напряжений в процессе сжатия рельсов из-за сезонного перепада температур. Максимальные главные напряжения в области зоны термического влияния достигают 700 МПа при значениях предела кратковременной прочности 780-1080МПа.

На основе численного моделирования процесса заполнения и затвердевания материала шва были выявлены места вероятного возникновения усадочных дефектов, а также предложены рекомендации по выбору материалов для изготовления разовой формы при проведении термитной сварки высокомарганцевистой и углеродистой сталей позволяющие получить бездефектный сварной шов.

Применение программы подготовки данных для компьютерного моделирования затвердевания сплавов при прогнозировании возникновения усадочных дефектов в эвтектических силуминах

Рафальский И.В., Лущик П.Е.

Белорусский национальный технический университет

Выполнен сравнительный анализ данных о распределении усадочных дефектов в технологических пробах для термического анализа из эвтектических алюминий-кремниевых сплавов, полученных экспериментальным путем и с использованием средств имитационного (компьютерного) моделирования.

В качестве объекта исследования использовали силумин с содержанием кремния 13% (мас.). Сплавы готовились в муфельной печи сопротивления при температуре 800 °С сплавлением алюминия технической чистоты марки А7 и кристаллического кремния марки Кр1 в графитовых тиглях. Сплавы подвергали модифицирующей обработке: а) титаном, б) натрием, в) стронцием, г) сурьмой, д) фосфором. Дополнительно исследовали влияние добавок карбида кремния (SiC). Термический анализ проб проводился при естественном охлаждении расплава в тигле на воздухе, скорость охлаждения составляла 1,5–1,7 °С/с.

Разработано специализированное программное обеспечение подготовки данных для компьютерного моделирования затвердевания литых изделий, в том числе определения зависимостей объемной доли твердой фазы и физических свойств сплава (теплоемкости, плотности и др.) от температуры в интервале затвердевания сплавов, с возможностью последующего экспорта расчетных зависимостей в системы компьютерного моделирования литейных процессов.

На основе данных термического анализа сплавов установлены зависимости изменения объемной доли твердой фазы от температуры и времени для эвтектических силуминов с различным видом модифицирующей обработки в интервале кристаллизации. С использованием пакета имитационного моделирования литейных процессов ProCAST рассчитаны параметры зоны распределения усадочных дефектов в технологических пробах для термического анализа.

Сравнительный анализ полученных результатов показал, что параметры расчетного распределения усадочных дефектов в исследованных технологических пробах соответствует экспериментальным данным.

**Исследование седиментационной устойчивости
разделительных покрытий для пресс-форм литья под давлением**

Михальцов А.М., Пивоварчик А.А.

Белорусский национальный технический университет

Выпускаемые в настоящее время составы разделительных покрытий (РП) для пресс-форм литья алюминиевых сплавов под давлением, как правило, поставляются конечным потребителям в виде эмульсий типа масло в воде (М/В). Данные эмульсии представляют собой дисперсные системы, получаемые при диспергировании одной жидкости в другой.

Водоэмульсионные РП для литья под давлением состоят из основы, наполнителя, ПАВ, стабилизатора, консерванта и разбавителя. В силу того, что компоненты, входящие в состав РП, имеют разную вязкость и плотность получение эмульсии с высокой седиментационной устойчивостью (СУ) становится непростой задачей. СУ – одно из важнейших потребительских свойств технологических смазок: ею определяется срок хранения покрытия. СУ приготавливаемых РП зависит от: размера частиц компонентов, входящих в состав разделительного покрытия, вида и количества ПАВ, способа получения эмульсии, параметров приготовления эмульсии и т.д.

Цель настоящей работы – исследование влияния технологических параметров приготовления РП для пресс-форм литья под давлением на их седиментационную устойчивость.

Методика проведения экспериментов состояла из приготовления составов «грубых эмульсий» РП с дальнейшей обработкой их различными методами диспергирования (взбалтывание, высокоскоростное перемешивание, гомогенизация, обработка ультразвуком). СУ РП определяли с помощью автоматического прибора ZetaPlus, предназначенного для работы с суспензиями частиц или растворами макромолекул с диаметрами от 10 нм до 30 мкм. Используемый метод оценки СУ основан на принципе электрофоретического светового рассеяния. Исследование прошли составы РП, разработанные на кафедре «Металлургия литейных сплавов» БНТУ.

Установлено, что наибольшее увеличение СУ РП достигнуто после гомогенизации (до 38 %), промежуточный результат достигнут после высокоскоростного перемешивания (12 %). Наименьшее увеличение СУ наблюдается после обработки исходных эмульсии ультразвуком (5,5 %) и после взбалтывания (1,8 %).

Таким образом, для увеличения СУ разрабатываемых составов РП целесообразно подвергать предварительно полученные эмульсии гомогенизации.

Энергосберегающая технология получения лигатуры на основе тугоплавких металлов

Слущкий А.Г., Шейнерт В.А., Кривоуст А.А., Свиридов С.А.
Белорусский национальный технический университет

Технология предназначена для получения лигатуры методом внепечной металлургии с последующим ее применением в качестве легирующей присадки при выплавке стали 35ХМЛ для ответственных корпусных отливок, работающих в условиях низких температур.

В основу технологии положен внепечной алюминотермический восстановительный процесс, который ведется в специальном качающемся реакторе с догрузкой смеси переменного состава. Это обеспечивает более полное проплавление шихты и стабилизирует неоднородность состава получаемого слитка лигатуры, а также позволяет максимально контролировать процесс плавки и минимизировать выбросы продуктов реакции. В составе смесей используются дисперсные металлические отходы, а в качестве восстановителя – гранулированный алюминий, получаемый по технологии, разработанной в БНТУ. С целью обеспечения максимального металлургического выхода по лигатуре экспериментально подобраны шлакообразующие добавки, а также количество восстановителя. Наличие в лигатуре остаточного алюминия благоприятно воздействует на обрабатываемую жидкую сталь, как дополнительный раскислитель. Преимуществом разработанной технологии является отсутствие энергозатрат на проведение восстановительной плавки, использование в составе смесей вторичных материалов и отходов. Применение инновационного подхода в создании технологии получения лигатуры на основе тугоплавких металлов для легирования качественных сталей обеспечило разработку оригинального способа восстановительной плавки, позволяющего получать материал с максимальным металлургическим выходом (более 95%). При использовании стандартных методов выплавки ферросплавов молибдена и хрома получить такие показатели невозможно.

В лабораторных условиях отработана технология восстановительной плавки и изготовлены опытные образцы лигатуры, содержащей молибден и хром. На Солигорском заводе «Универсал-Лит» проведены предварительные испытания лигатуры при выплавке легированной стали 35ХМЛ. В сравнении с серийными ферросплавами молибдена и хрома, разработанная лигатура на 25-30% дешевле. Освоение технологии позволит отказаться от импорта ферросплавов молибдена и хрома, расширить объемы производства качественных отливок из легированных сталей, создать дополнительные рабочие места.

Использования ультрадисперсных порошков соединений активных элементов при получении лигатур

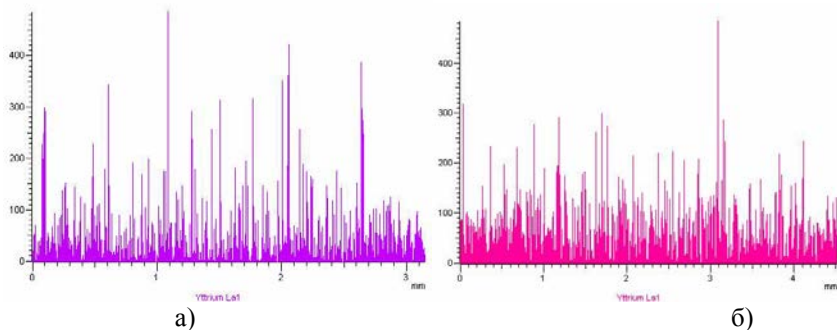
Слущкий А.Г., Калиниченко А.С., Сметкин В.А., Кулинич И.А.
Белорусский национальный технический университет

Ранее проведенные исследования показали перспективность применения ультрадисперсных частиц соединений титана в составе модификатора-раскислителя, используемого при выпечной обработке чугуна и стали. Однако проблемным остается вопрос стабильного ввода таких порошков в исходные композиции.

Целью настоящей работы является повышение равномерности распределения вводимых в состав лигатур ультрадисперсных частиц соединений активных элементов.

На первом этапе обрабатывалась методика приготовления смесей на основе порошков меди и олова, с добавками дисперсных частиц оксида иттрия. Компоненты смешивали в течении двух и шести часов с использованием шаров различного диаметра с последующим брикетированием на лабораторном прессе с усилием 25 тонн.

Полученные брикеты исследовали в химико-спектральной лаборатории и установили, что продолжительность процесса смешивания компонентов положительно сказывается как на характере распределения в ней ультрадисперсных частиц оксида иттрия, (рисунок) так и основных составляющих лигатуры (медь, олово, железо, магний).



а) – 2 часа перемешивания; б) – 6 часов перемешивания
Рисунок – Распределение ультрадисперсного порошка оксида

Применение высоких плотностей энергии для создания композиционных материалов

Калиниченко В.А., Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для проведения исследований были использованы пластинки из стали 40, на которые производилась наплавка композиционных материалов с использованием лазерной установки «Комета-2». Были проведены опыты по формированию покрытия на основе самофлюсующейся бронзы Бр08НСП. Образцы были обработаны при следующих двух режимах: 1 – диаметр лазерного пятна 3,0 мм, скорость прохождения луча 70 мм/мин, шаг 3,0 мм; 2 – диаметр лазерного пятна 1,5 мм, скорость прохождения луча 100 мм/мин, шаг 1,5 мм. Как показали эксперименты, для данного типа подложки приемлемым оказался только первый режим. Второй режим (с более высокой плотностью энергии) вызывал проплавление даже подложки и ее коробление. Для последующей серии экспериментов по лазерному синтезу композиционного покрытия использовалась смесь из бронзы Бр08НСП, служившей матрицей, и чугунных гранул размером 0,5-1,0 мм, которые выступали в качестве упрочняющей фазы. Формирование покрытий лазерным оплавлением проводилось по трем режимам: 1. диаметр пятна 3,0 мм, скорость прохождения луча 70 мм/мин, шаг 3,0 мм; 2. диаметр пятна 4,0 мм, скорость прохождения луча 70 мм/мин, шаг 3,0 мм; 3. диаметр пятна 5,0 мм, скорость прохождения луча 70 мм/мин, шаг 3,0 мм. Было показано, что в образцах наблюдается практически полное растворение чугунных гранул и относительно равномерное распределение их по объёму матрицы с образованием композиционной структуры. Первые опыты по созданию композиционных покрытий на пластинах показали наличие коробления подложки. Во избежание его было решено увеличить толщину подложки с 1 мм до 10 мм. Для лучшей адгезии гранул с материалом матрицы использовался флюс, применяемый для производства литых композиционных материалов. При толщине нанесенного слоя толщиной 1,0 мм сложно реализовать макрорегетерогенную структуру покрытия, которая должна быть не менее трех диаметров гранул. Поэтому толщина слоя покрытия была увеличена с 1 до 5 мм.

При диаметре лазерного пятна 7,0 мм и скорости прохождения луча 70 мм/мин была синтезирована типичная для литых макрорегетерогенных композиционных материалов структура; хотя следует отметить частичное проплавление гранул в центре дорожки и наличие микропористости. Исследования показывают возможность формирования на деталях из стали покрытий, имеющих макрорегетерогенную композиционную структуру.

Изучение распределения элементов по объёму покрытия при ионном осаждении из солевых растворов

Калиниченко В.А., Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для изучения распределения элементов были выбраны два типа радиусных образцов с наиболее распространенными типами покрытий. В первом случае рассматривалось Fe-Ni покрытие на подложке из жаропрочной стали. Во втором случае – железистое покрытие осаждённое на образцы, изготовленные из стальной низколегированной проковки диаметром 1,0-1,5 мм. В качестве электролита использовался трёхкомпонентный солевой электролит на базе солей железа, марганца и никеля (или цинка).

В первую очередь анализу был подвергнут образец с жаропрочным железом – никелевым слоем. В качестве базовых элементов содержание которых определялось по плоскости шлифа были выбраны основные железо и никель, вспомогательный хром и вредная примесь растворённый и (или) захваченный кислород. Анализ показывает, что покрытие состоит в основном из никеля, которое легировано хромом. Железо в покрытии практически отсутствует и видно наличие по объёму кислорода, что является свидетельством присутствия оксидов. Учитывая равномерное распределение кислорода, можно полагать, что образованные оксиды могут выступать в качестве упрочняющей фазы.

Для следующего исследования был использован железный образец. Как показали исследования, распределение элементов в данном образце наблюдалось более чётко. Анализ показывает, что структура покрытия определяется железом и марганцем, которые равномерно распределены по объёму покрытия. Цинк распределяется неравномерно, образуя области с повышенной концентрацией. Наблюдаемая неравномерность распределения элементов приводит к неравномерному распределению формирующихся фаз, вызывая появление внутренних напряжений. Анализ полученных данных показывает, что технология создания покрытий ионным осаждением из солевых растворов при высокой плотности энергии позволяет формировать слои толщиной более 1,0 мм. Характер распределения легирующих элементов по сечению покрытий показывает влияние состава электролита при других постоянных параметров процесса осаждения. Наличие в электролите цинка способствует повышению содержанию кислорода в покрытии не только в виде оксидов, но в виде газовых включений, приводящих к пористости покрытия. При формировании покрытия из электролитов, содержащих хром и никель, образуется плотное покры-

тие благодаря высокому средству осаждаемых элементов железу, являюще-гося основой материала подложки.

УДК 53.07.07

Некоторые аспекты проектирования тигельных печей сопротивления

Андриц В.В.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании тигельной печи сопротивления желательно использовать современные огнеупорные материалы, что должно способствовать уменьшению продолжительности плавки, в следствии чего, и энергозатрат, и увеличению металлургического выхода. Традиционной схемой изготовления плавильных печей сопротивления является футерование их шамотным кирпичом с прокладкой листов асбеста между ними и стальной обшивкой корпуса. Данный способ обеспечивает достаточную долговечность конструкции, однако теплоизолирующие свойства шамотного кирпича ниже существующих современных аналогов, что отрицательно сказывается на времени расплавления шихты и приводит к повышенному расходу электрической энергии. Для сравнительного анализа теплоизолирующих свойств различных материалов был проведен ориентировочный расчет двух вариантов футеровки печей. Традиционный способ включал дополнительную теплоизоляцию слоем минеральной огнеупорной ваты.

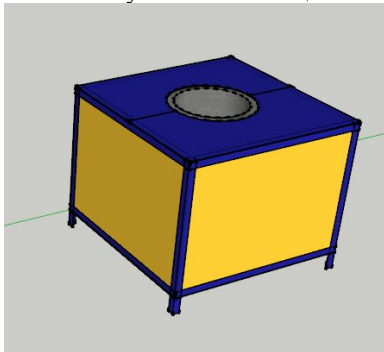


Рисунок 1 – Общий вид проектируемой печи



Рисунок 2 – Фотография печи в процессе изготовления

Для теплового расчета использовали программа для расчета тепловых потерь через плоскую многослойную стенку [<http://vadim-111.narod2.ru/heat/index.htm>]. В процессе расчета футеровок с учетом реальных условий, появилась возможность подобрать оптимальные материалы и их параметры в соответствии с техническими и стоимостными харак-

теристиками. При этом огнеупорная футеровка будет нести на себе основную нагрузку от нагревателей.

УДК 621.74.043.2

Водоэмульсионное разделительное покрытие для изготовления песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке

Пивоварчик А.А., Михальцов А.М.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время предъявляются высокие требования к качеству и точности при производстве песчано-смоляных стержней по нагреваемой оснастке. Стержневые смеси на основе различных термореактивных связующих обладают способностью прилипать к рабочей поверхности модельной оснастки, что ухудшает качество поверхности стержней, их размерную точность, увеличивает брак, а в некоторых случаях при съёме высокая прилипаемость может быть причиной полного разрушения стержней. Наиболее сильно прилипают к оснастке стержневые смеси при использовании в качестве связующего феноло-формальдегидной смолы.

Для устранения прилипания стержневой смеси к оснастке необходимо использовать различного рода разделительные покрытия.

В настоящее время известна и широко используется на отечественных предприятиях смазка КЭ–1001 производства государственного предприятия «Кремнийполимер» (г. Запорожье, Украина). С целью импортозамещения продукции в Белорусском национальном техническом университете разработано новое нетоксичное водорастворимое разделительное покрытие, которое в качестве основного смазывающего компонента содержит кремнийорганический гетероцепной полимер с высокой молекулярной массой; в качестве наполнителя – предельные и непредельные кислоты, в качестве поверхностно-активных веществ – неионогенное соединение; остальное – вода.

Полученный концентрат эмульсии перед применением дополнительно разводится водой в соотношении 1:10–1:50 в зависимости от сложности производимых стержней.

За период использования разработанного разделительного покрытия проводился анализ брака отливок в процессе которого не было обнаружено увеличение брака связанного с качеством стержней (пористость, засоры и т.д.). Разделительное покрытие также прошло промышленное опробование на заводах Республики Беларусь, таких как РУП «Минский завод отопительного оборудования», РУП «Минский тракторный завод», ОАО «Атлант» и показало хорошие результаты.

Оптимизация состава рафинирующего флюса с учетом экологических факторов

Румянцева Г.А., Немененок Б.М., Прусова И.А., Глушанкова Л.Я.
Белорусский национальный технический университет

Ряд экологических проблем, возникающих при плавке и рафинировании силуминов, можно успешно решить за счет использования флюсов с меньшим содержанием хлоридов и фторидов.

Для выбора оптимального содержания карбонатов в рафинирующем флюсе использовали метод математического планирования экспериментов. В качестве независимых переменных были выбраны содержание Na_3AlF_6 (X_1), Na_2CO_3 (X_2) и доломита (X_3). Зависимыми переменными являлись предел прочности при растяжении в литом состоянии (Y_1), относительное удлинение (Y_2), балл пористости по шкале ВИАМ (Y_3), объем выделяющейся пыли при флюсовой обработке (Y_4) и количество образующегося шлака (Y_5). Основу рафинирующего флюса составляли хлориды натрия и калия. Содержание криолита варьировали в интервале 10–20 %, а соды и доломита – от 5 до 15 %. Для построения математических моделей был реализован линейный план полного факторного эксперимента 2^3 . Исследуемые составы флюсов в количестве 1 % от массы расплава наносили на зеркало сплава АК9 в тигле емкостью 80 кг. После расплавления флюса его замешивали в расплав, спустя 10 мин с поверхности металла снимали шлак и при 720 °С заливали в кокиль образцы для определения механических свойств и пробы для оценки пористости. Пробы выбросов пыли отбирали на горизонтальном участке вытяжной вентиляции в течение 2 мин после нанесения флюса на расплав. Количество шлака, образующегося после флюсовой обработки, определяли взвешиванием. Были получены следующие зависимости:

$$Y_1 = 204,625 + 18,375 \cdot x_2 + 4,625 \cdot x_3;$$

$$Y_2 = 7,8 + 0,65 \cdot x_2;$$

$$Y_3 = 2,175 - 0,475 \cdot x_1 - 0,125 \cdot x_2;$$

$$Y_4 = 4,592 + 0,209 \cdot x_1 + 0,304 \cdot x_2 + 0,196 \cdot x_3 - 0,046 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ + 0,148 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,048 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,099 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3;$$

$$Y_5 = 1,479 + 0,164 \cdot x_2 + 0,124 \cdot x_3 - 0,066 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Используя в качестве целевой функции уравнение по выбросам пыли, проводили ее минимизацию при заданных ограничениях по механическим свойствам сплава, его пористости и количеству образующегося шлака.

Причины разрушения футеровки при плавке алюминиевых сплавов

Румянцева Г.А., Немененок Б.М., Бежок А.П., Комарова Т.Д.
Белорусский национальный технический университет

Правильный выбор состава футеровки печей для плавки алюминия сложен, особенно в части ее коррозионной стойкости. Эта проблема осложняется протеканием множества химических реакций и физических явлений. Огнеупорный материал, имеющий хорошую устойчивость к коррозии ниже зеркала металла, не всегда бывает достаточно устойчив выше зеркала расплава. В этой зоне на поверхности расплавленного металла образуется корунд в тех местах, где имеется доступ кислорода из атмосферы печи. На поверхности огнеупоров при контакте с расплавом алюминия имеет место смачивание и межфазное взаимодействие, в результате которых расплав алюминия по проницаемым порам проникает вглубь футеровки.

Расчеты показывают, что термодинамически реакция между SiO_2 и алюминием возможна во всем интервале температур, начиная с температуры плавления алюминия. В составе муллита оксид кремния будет также вступать в реакцию с алюминием, которая будет возможна для алюмосиликатных огнеупоров любого состава, а при наличии в расплаве магния, он будет образовывать шпинели с оксидом алюминия.

Установлено, что через год эксплуатации печей для плавки алюминия с футеровкой из огнеупоров ШБ, она перерождается на 80–90 %. При этом содержание SiO_2 в футеровке уменьшается примерно в 30 раз при увеличении доли Al_2O_3 в 3,5 раза и MgO – в 4 раза. Одновременно в составе футеровки появляется более 7,5 % Al. Поэтому выход печи из строя происходит из-за увеличения теплопроводности рабочего слоя за счет его металлизации, а затем теплоизоляционного, вследствие кристаллизации металла в порах огнеупора.

В отдельных случаях в порах возможно взаимодействие алюминия и магния с кислородом, а образующиеся продукты реакции расклинивают поры вызывают растрескивание огнеупора в дальнейшем проникновением в них металла.

Одним из способов снижения вероятности проникновения расплава в поры огнеупоров является снижение их смачиваемости расплавом алюминия. Применительно к алюмосиликатным огнеупорам неплохо зарекомендовали себя добавки сульфата бария, фторидов кальция и алюминия, которые следует вводить как бетонные смеси, так и с шихту для изготовления кирпичей на фосфатном связующем.

**Порошковая металлургия,
сварка и технология
материалов**

**Исследование процессов нанесения покрытий, полученных
распылением композиционных катодов**

Ковалевский В.Н., Нисс В.С., Григорьев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Для создания двухкомпонентных наноразмерных покрытий на порошках использовался метод магнетронного распыления комбинированных катодов, состоящих из разнородных материалов. Покрытие наносилось на стальной порошок сферической формы с размером частиц порядка 1 мкм. Комбинированный катод состоял из двух материалов: пластин вольфрама и высокочистого плотного графита, имеющего мелкозернистую структуру.

Вследствие различия коэффициентов распыления (у вольфрама он значительно больше, чем у графита) материалов, составляющих композиционный катод, эрозия и, соответственно, скорость распыления их поверхности происходит с разной скоростью. Для выравнивания скорости распыления поверхностей материалов катода, вольфрам должен быть заглублен относительно графита, так как на заглубленных частях катода ионный ток меньше и, соответственно, интенсивность распыления также уменьшается. Взаимное расположение и диаметры материалов композиционного катода выбирались с учетом расположения соответствующих зон максимальной эрозии распыляемых материалов, а также возможности получения на поверхности частиц стального порошка соотношения распыляемых компонентов, близких к стехиометрическому для карбида вольфрама.

Исследование равномерности распределения распыляемых компонентов по поверхности частиц порошка проводилось с использованием микроанализатора сканирующего электронного микроскопа путем изучения химического состава напыленной поверхности случайно выбранных частиц порошка.

Исследование химического состава покрытия показывает, что при распылении материалов композиционного катода происходит гомогенное распределение атомов вольфрама и углерода по поверхности частиц порошка.

Для проведения синтеза карбида в покрытии частицы порошка с покрытием подвергались нагреву в вакууме при температуре до 1000°C. В результате термической обработки покрытие на поверхности частиц порошка распадается на отдельные участки, не связанные друг с другом, что связано с протеканием процессов усадки.

Возможности использования тонкопленочных покрытий тугоплавких металлов и керамики для модифицирования стали

Жук А.Е., Илюкевич А.А.

Белорусский национальный технический университет

Комплексными исследованиями получено экспериментальное подтверждение научно обоснованному выбору карбидообразующих элементов (Ti, W, Si, Mo, Co) и связующих (Si – C) и (Mo – Si) для создания заготовок – модификаторов, вводимых в расплав стали на этапе заливки его в разливочный ковш. В работе в качестве модифицирующего элемента выбран вольфрам и карбид кремния, которые химически совместимы друг с другом и железом основы. Для разработки технологического процесса получения и введения вольфрама в расплав были выполнены комплексные исследования по защите его от окисления, возможности дробления и распределения по объему расплава. Имея высокую плотность, вольфрам будет стремиться изменить свое расположение в пространстве. Для компенсации этого эффекта и для защиты от окисления предложено использовать покрытия карбида кремния и графита, что обеспечивает защитную атмосферу у поверхности модификатора. Для получения образцов – отливок из модифицированной стали предусматривается разработка модельного комплекта и изготовление технологической оснастки, что позволит исключить попадание шлака в форму.

Формирование при низких температурах осаждения конденсата с аморфной структурой из смеси кремния и углерода при толщине покрытия до 20 нм с последующим образованием $\text{SiC}_{\text{ам}}$ под воздействием тлеющего разряда позволяет защитить нанослой вольфрама и молибдена от окисления. Использование жестких режимов распыления и низкое давление (0,3 Па) рабочего газа открывает возможность повышения присутствия вольфрама в плазме в виде ионов до 45 %, что обеспечивает более высокую адгезию покрытия W с железной основой дробы.

Высокие физико-механические свойства вольфрама и молибдена, их способность в вакууме при низких температурах (до 1100°C) образовывать химические соединения (карбиды и силициды), открывает возможность модифицирования углеродистых сталей с мелкозернистой структурой с повышенной пластичностью. Перспективным методом введения модификаторов является использование стальной дробы в качестве основы, вольфрама, молибдена и $\text{SiC}_{\text{ам}}$ – в качестве модификаторов, а Si+C и графит – в качестве защиты их от окисления.

Влияние условий распыления и осаждения эмиссионного потока на адгезионную прочность карбида кремния

Жук А.Е., Ковалевская А.В., Сагарда Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Высокие свойства SiC позволяют рассчитывать на использование слоистых карбидокремниевых покрытий как многофункциональных: защитных, технологических для формования и активирования поверхностей. Конденсат (Si – C) наносили на кристаллы алмаза в перемешивающем устройстве в вакуумной камере с использованием магнетронной распылительной системы. При распылении комбинированного катода (Si – C) в течение 20 мин. формировали покрытие толщиной 10 – 20 нм, которое обрабатывали плазмой тлеющего разряда в течение 15 мин. с формированием SiC с аморфной структуры.

Осаждение эмиссионного потока на поверхность движущихся частиц является многофакторным процессом. Попадание частиц в зону действия потока – величина случайная и подчиняется нормальному закону распределения Гаусса с дисперсией, которая уменьшается с ростом времени обработки. Вероятность качественного покрытия зависит от условий осаждения, времени и режимов распыления, коэффициента загрузки барабана, свойств порошка. Перемешивающий барабан размещался под углом к нормальному потоку, в его камере создавалось направленной движение частиц к выходу под воздействием быстро движущихся электронов, что потребовало сепарирования потока путем установки дополнительного сетчатого анода. Состояние границы *алмаз – покрытие* оценивали после испытаний на раздавливание порошков – композитов на основе АСМ 100/80, 80/63, 63/50, 50/40 и 14/10 по мостикам отрыва нанослоя от алмазных частиц. 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 ($\rho 10^9\text{-}10^{10}$ 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 (200мм).

УДК 621.762:669.2; 621.74

Механически легированные лигатуры для производства высокопрочных хромовых бронз

Ловшенко Ф.Г., Ловшенко Н.Н.

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»,
Белорусский национальный технический университет

«Узким местом», сдерживающим выпуск хромовых бронз и определяющим их высокую стоимость, а также экологическую вредность производства, является изготовление лигатур. Одним из перспективных методов решения данной проблемы является применение реакционного механического легирования, исключая из технологического процесса производства лигатур высокотемпературные плавку.

Эффективным способом снижения склонности шихты к адгезии, имеющей место при обработке ее в механореакторе, повышения стабильности процесса и получения лигатуры с оптимальной структурой и гранулометрическим составом, является применение ПАВ (серебристый графит) в количестве 0,15-0,20 %.

Структура лигатур относится к нано-/ субмикрорекристаллическому типу с размером зерен основы менее 1 мкм, разделенных на блоки величиной не более 100 нм; основное количество хрома находится в виде включений глобулярного типа размером менее 0,3 мкм. Разработанные лигатуры, наряду со своим основным назначением – легированием, играют роль модификатора, и их тонкая структура наследуется бронзами, имеющими субмикрорекристаллический тип структуры основы, стабилизированной наноразмерными упрочняющими фазами, что определяет высокий комплекс их физико-механических свойств. Бронзы, полученные с использованием механически легированной лигатуры, отличаются высокой плотностью, отсутствием пор и микровключений. Средний размер зерен основы бронз – менее 1 мкм, и их структура относится к субмикрорекристаллическому типу. Легирующие элементы равномерно распределены в основе. Упрочняющими фазами после термической обработки являются: Cr, Zr, и, Cu_3Zr , Размер упрочняющих фаз не превышает 0,1 мкм. Бронза, содержащая 0,55 % Cr и 0,006 % Zr, имеет следующий комплекс физико-механических свойств: твердость – 160 НВ, предел прочности при растяжении – 500 МПа, относительное удлинение – 16 %, электропроводность – 82 % от электропроводности меди, температурный интервал рекристаллизации – 600-700 °С.

Влияние продолжительности цинкования на структуру и толщину покрытия в порошковых средах на основе цинксодержащих отходов.

Урбанович Н.И., Гарост А.И., Лецко А.И., Сенченко Г.М.,
Барановский К.Э.

Белорусский национальный технический университет,
Белорусский государственный технологический университет

Известно, что толщина цинкового слоя и соотношение его фазовых составляющих зависит не только от состава насыщающей среды, но и от температуры и времени цинкования.

Целью данной работы являлось установление экспериментальной зависимости продолжительности процесса при термодиффузионном насыщении в системе гартцинк- Al_2O_3 на толщину цинкового покрытия и ее структуру

В опытах по определению влияния продолжительности выдержки на толщину и структуру покрытий применяли диффузионную смесь, состоящую из 40% гартцинка, 59% Al_2O_3 и 1 % NH_4Cl . Опыты проводили на образцах в виде пластин из Ст3. Термическую обработку осуществляли в муфельной электропечи. Продолжительность выдержки при оцинковании составляла 1, 2, 3, 4 часа, температура – 450°C. Проведенные исследования показали, что длительность выдержки в пределах от 1 до 4 часов изменяет толщину цинкового слоя и способствует росту фаз. Зависимость роста толщины цинкидного слоя от продолжительности процесса носит экспоненциальный характер; её анализ позволил установить, что более интенсивный рост слоя происходит после трехчасовой выдержки. Микроструктурный анализ цинковых покрытий показал, что покрытие состоит из слоев α , γ , δ и ξ -фаз, рост слоя происходит в основном за счет $\delta_{1к}$ -фазы, имеющей мелкокристаллическую структуру. Таким образом, анализ результатов исследований позволил установить, что продолжительность времени выдержки при термодиффузионном насыщении в системе гартцинк- Al_2O_3 приводит к росту толщины слоя и размеров образцов; при этом наблюдается рост толщины слоя внутрь образца, причем наиболее интенсивный рост слоя происходит после трехчасовой выдержки. Установлено, что рост слоя происходит за счет увеличения $\delta_{1к}$ -фазы, имеющей мелкокристаллическую структуру. Отмечено также, что продолжительность не влияет на структуру цинкового покрытия, которое во всех случаях состоит из слоев α , γ , δ -фаз и предположительно ξ -фазы.

**Композиционные материалы группы железа с нанопокрытием
слоем карбида кремния**

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Ковалевская А.В.
Белорусский национальный технический университет

При создании высокотемпературных композиционных материалов (КМ) с каркасной структурой карбидов, окружающих металлы группы железа и карбид титана, который при нагреве расширяется на уровне чистого титана и дисилицида молибдена, было принято решение изучить влияние нагрева на графитовое покрытие. Расширение частиц при нагреве создает упругие растягивающие напряжения, величина которых определяется модулем нормальной упругости матрицы, вызывает упруго-пластическую деформацию графитового каркасного покрытия, что приводит к уплотнению покрытия. Повышение активности графита под действием растягивающих напряжений приводит к образованию тонкой пленки карбида при низких температурах. Установлено, что при нагреве конденсата покрытия на частицах группы железа протекает реакция с образованием SiC. Температура спекания порошков с покрытием соответствует 900–1100°C, что значительно ниже температуры спекания исходных порошков. Пористые порошковые материалы из сферических порошков стали 12X18H10T формируются в изделие за счет деформации в металлической пресс-форме при наличии на поверхности частиц конденсата толщиной свыше 300 нм, поверхность которого содержит кластерный рельеф. Последовательность осаждения слоев кремния и (Si – C) позволяет создавать конденсат с аморфным слоем кремния. Длительное распыление приводит к образованию кристаллической структуры Si, переходящей в смесь (Si – C), что приводит к деформации кубической решетки с подстройкой к ГЦК γ – Fe стали. В процессе формования конденсат уплотняется, образует каркас из крупных частиц, между которыми фиксируются мелкие частицы, подвергается деформации при давлении выше прочности на сжатие кремния, но ниже предела текучести стали. При изотермическом нагреве наблюдается тепловое расширение материала частицы и деформация сдвигом конденсата, что активизирует диффузионный процесс спекания. Реакционное спекание в конденсате сопровождается выделением тепла, что приводит вязкому течению материала, формированию шейки. Диффузионные процессы при спекании сферического порошка с различным фракционным составом формируют мостики схватывания мелких частиц при ступенчатом нагреве: реакционного спекания 850 (940)°C и активированном спекании 1100°C с

изотермическими выдержками в течение 1ч.

УДК 621.771.23(088.8)

Специфика получения тонких лент клинового профиля

Шиманович И.М., Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

Ленты слабо выраженного клинового профиля используются во многих отраслях промышленности, например, для получения катушек из ленты прямоугольного сечения в электронной промышленности. В этом случае при намотке можно получить профиль витка катушки строго прямоугольного сечения с учетом сжатия внутренних и растяжения наружных слоев ленты. Обычно такие тонкие ленты получают волочением или прокаткой из различных металлов и сплавов; при этом очень сложно добиться требуемых параметров точности ленты по толщине. Для уменьшения данного недостатка, предложена конструкция устройства, в котором деформация длинномерной заготовки прямоугольного сечения осуществляется в сужающейся полости между внутренней гиперболической поверхностью инструмента (втулки) и коническими роликами, опирающимися на оправку в процессе движения металла по винтовой линии.

Известно, что однополостный гиперболоид вращения может быть образован вращением прямой линии около оси поверхности. Поэтому деформирующие конические ролики, установленные в направлении прямолинейных образующих гиперболоидов, опираются на оправку и ленту по всей своей длине, что предотвращает их изгиб и способствует повышению точности лент. Этому также способствует то, что деформация ленты осуществляется по всему периметру внутренней поверхности втулки, что обеспечивает силовое замыкание и позволяет исключить из общей жесткости технологической системы поперечную жесткость установки втулки и оправки. Поскольку в качестве деформирующих элементов используются ролики малого диаметра, это позволяет уменьшить их сплющивание, которое прямо пропорционально диаметру роликов. Установка роликов под углом к оси заготовки обеспечивает самоподачу ленты в очаг деформации и перемещение ее вдоль оси оправки. Это позволяет уменьшить нежелательную деформацию тонких лент вне инструмента, обусловленную тянущими усилиями со стороны привода движения заготовки, и тем самым сократить количество обрывов готовой ленты. Результаты экспериментальных исследований показали, что разнотолщинность по длине получаемых тонких лент не превышает 7%.

Техническое решение процесса получения особо тонкой ленты

Шиманович И.М.

Белорусский национальный технический университет

В электротехнической и электронной промышленности все более широкое применение находят ленты и полосы толщиной до 0,025 мм. Производство таких изделий традиционными методами обработки металлов давлением (продольной прокаткой и волочением) затруднено, вследствие получаемой разнотолщинности (для снижения которой требуется обработка на многовалковых прокатных станах) и обрывности лент (в случае волочения).

Для получения лент с малыми колебаниями толщины можно использовать поперечную прокатку, однако существующие методы поперечной прокатки с одновременным продольным перемещением заготовки технически трудно реализуемы. Обычно в этом случае на нижней плите (полуволоке) располагается лента, которую деформируют рабочие валки малого диаметра, опирающиеся на подвижную опору, совершающую возвратно-поступательное перемещение в направлении перпендикулярном перемещению ленты.

В данной работе предложено техническое решение для осуществления процесса поперечной прокатки особо тонкой ленты, основанное на автоматическом регулировании скорости подачи ленты в зависимости от усилия деформации, что позволяет резко снизить количество обрывов, и следовательно повысить выход годного продукта. Это обеспечивается изменением скорости вращения сматывателя ленты осуществляемой с помощью вариатора связанного с гидросистемой установки.

В результате более прочные участки заготовки подвергаются более длительной деформации (улучшается проработка ленты рабочими валками), что не только предотвращает обрывы лент, но и снижает ее разнотолщинность по длине.

В процессе экспериментов, лента толщиной 0,05 мм и шириной 5 мм из стали 08 кп, имеющая разнотолщинность по длине более 10% подвергалась прокатке с продольным перемещением со степенями деформации от 5 до 15%. В процессе деформации получали ленту толщиной 0,023 мм с разнотолщинностью 1,2 мкм, т.е. менее 5%. Кроме этого, готовая лента имеет равномерные свойства по длине.

Разработанная технология получения тонких лент используется в электротехнической и электронной промышленности Республики Беларусь.

УДК 621.762

Методика регистрации высокоэнергетического воздействия потока вещества на материалы и интегральные микросхемы

Овчинников В.И., Ильющенко А.Ф.

Обособленное хозяйственное подразделение

"Научно-исследовательский институт импульсных процессов"

Цель настоящих исследований: разработка методики определения поражающих факторов и их влияния на свойства материалов и работоспособность элементов микроэлектроники

В результате проведенных экспериментов и исследований было установлено, что при соударении высокоскоростного потока микрочастиц со скоростью 800-2000 м/с основными поражающими факторами, приводящими к изменениям структуры и свойств конструкционных материалов, отклонению параметров от заданных в системах электронного оборудования являются: ударные волны, а также генерируемые ими высокочастотные процессы и условия резонанса, электромагнитное и ионизирующее излучение, индуцируемые магнитные и наведенные электрические поля, проникающие микрочастицы.

Исследования конструкционных сталей 10, 40, подвергнутых взрывному динамическому нагружению высокоскоростным потоком микрочастиц SiC, обнаружили и подтвердили следующие изменения микроструктуры. Кристаллиты разбиваются на фрагменты и блоки размером до 10 нм и меньше, разориентированные друг относительно друга на углы порядка 30-35 град. На границах этих блоков возникают искажения решетки настолько большие, что состояние материала становится близким к аморфному. Плотность дислокаций может достигать 10^{10} - 10^{12} см⁻².

В качестве тестовых объектов для определения влияния высокоскоростных потоков микрочастиц на изменение электрофизических параметров элементов микроэлектроники, служили рабочие микросхемы. После воздействия высокоскоростным потоком микрочастиц, тестированием на стенде было установлено отклонение рабочих параметров микросхем на 20-40 % от допустимых значений.

Разработанная методика тестирования позволит обеспечить прогнозирование надежности микросхем на этапе их изготовления, оптимизировать технологические процессы и обеспечить повышение надежности корпусированных микросхем как специального (космического), так и двойного применения.

**Влияние температуры кристаллизации $Al(OH)_3$ из
концентрированного раствора $NaAlO_2$**

Комаров О.С., Волосатиков В.И., Комарова Т.Д.
Белорусский национальный технический университет

На кинетику выделения кристаллов $Al(OH)_3$ из пересыщенного раствора и их дисперсность влияет температура процесса, наличие и размер затравки, скорость перемешивания раствора при выкручивании, наличие примесей и другие факторы.

Значение степени влияния каждого из перечисленных факторов необходимо для определения параметров технологического процесса получения порошков, целенаправленно обеспечивающего минимальные затраты на производство и требуемую дисперсность.

Влияние концентрации раствора, затравки и ее величины рассмотрено ранее. В настоящей работе будут приведены результаты исследований по влиянию температуры зарождения и температуры кристаллизации $Al(OH)_3$ из пересыщенного раствора $NaAlO_2$ на кинетику кристаллизации и дисперсность образующегося порошка. Кинетику выпадения порошка оценивали по изменению плотности раствора.

Эксперименты проводили по следующей методике. Приготовленный пересыщенный раствор $NaAlO_2$ разливали по четырем емкостям. Первую из них охлаждали до $0^\circ C$, вторую – до $20^\circ C$, а третью и четвертую нагревали до $40^\circ C$ и $60^\circ C$, соответственно. В течение 4-х часов выкручивали с целью образования зародышей кристаллов, после чего процесс осаждения проводили при одинаковой температуре ($20^\circ C$) для всех растворов. Измерение плотности растворов во времени для различных температур зародышеобразования показало, что чем выше температура зародышеобразования, тем быстрее снижается плотность и больше выделяется твердой фазы. Но влияние температуры зародышеобразования незначительно. При исследовании влияния температуры кристаллизации процесс образования зародышей проводили при $20^\circ C$ в течение 4-х часов выкручивания, после чего кристаллизацию проводили при $0^\circ C$, $20^\circ C$, $40^\circ C$ и $60^\circ C$. Результаты по изменению плотности показали, что чем выше температура кристаллизации, тем быстрее она протекает. Дисперсность порошка в зависимости от температуры осаждения не изменялась. Таким образом, установлено, что влияние температуры зарождения кристаллов $Al(OH)_3$ на кинетику кристаллизации несущественно, но сама кристаллизация протекает быстрее при высоких температурах.

Исследование влияния содержания B_4C на микроструктуру и механические свойства композиционного материала $SiC-B_4C$, полученного горячим прессованием

Каледина Н.Б.¹, Голубцова Е.С.

¹Белорусский государственный технологический университет,
Белорусский национальный технический университет

Исследовались композиции $SiC-B_4C$ с различным содержанием B_4C (5, 10 и 15 об.%). Смешивание порошков осуществлялось в шаровой планетарной мельнице; во избежание агломерирования порошковые композиции диспергировали в среде этилового спирта с помощью ультразвука в течение 8 ч. Горячее прессование осуществляли при давлении 50 МПа в течение 30 мин. при температуре 2100 °С.

Плотности образцов определяли пикнометрическим методом. Для порошка SiC она составила 2,90...3,01 г/см³, а для B_4C – 2,4 г/см³. Средний размер частиц композиций составил: B – 0,767 мкм, C – 0,834 мкм, D – 0,844 мкм.

Плотности образцов после горячего прессования определяли иммерсионным методом, которые составили: A – 2,38 г/см³; B – 2,36 г/см³; C – 2,39 г/см³; D – 2,40 г/см³. Теоретическая плотность вышеназванных образцов равна 77, 77, 79 и 80% соответственно. Плотность образцов возрастает при увеличении содержания B_4C и повышении температуры спекания, благодаря коэффициенту диффузии, который является ключевым фактором при спекании. Рентгеноструктурный анализ спеченных образцов показывает, что в результате высокоэнергетического размола происходит расширение дифракционных линий и уменьшение их высоты, что объясняется уменьшением размера кристаллитов и увеличением напряжений кристаллической решетки.

Прочность на изгиб определяли по методу трехточечного нагружения образца. Образцы большей плотности имеют большее значение прочности на изгиб, причем этот показатель выше для композиций имеющих более тонкую микроструктуру, менее грубые зерна SiC и повышенное содержание B_4C . Ударная вязкость определялась по методу Шарпи на образцах размером 1×1×5 см. Наибольшее значение ударной вязкости наблюдается у образцов с 5 мас.% B_4C , это значение снижается при увеличении содержания B_4C . Большее содержание B_4C отрицательно сказывается на показателях ударной вязкости, что можно объяснить образованием хрупких соединений $SiC-B_4C$. Проведена оценка твердости по Виккерсу при нагрузке 1000 г и времени нагружения 15 с. Твердость

образцов увеличивается при повышении содержания V_4C .

УДК 621.791.72:519.22/.25

Исследование влияния содержания хрома, времени выдержки при термической обработке на микроструктуру сварных соединений из сталей 12ХМ и 12Х13, полученных электронно-лучевой сваркой

Голубцова Е.С., Викторовский Д.И., Каледина Н.Б.¹, Комаровский В.Л.

Белорусский национальный технический университет,

¹Белорусский государственный технологический университет

Целью данной работы является исследование влияния содержания хрома и времени выдержки на ширину ферритной и науглероженной прослойки в образцах из сталей 12ХМ и 12Х13 в сварных соединениях, полученных электронно-лучевой сваркой, которую осуществляли в четырех режимах I , мА :110, 160, 220, 260; P , кВт: 4,4; 6,4; 8,8; 10,4. Для всех режимов $V_{св} = 18$ м/ч, $U = 40$ кV. Термическую обработку сварных соединений проводили при 550 °С в течение от 0 до 100 часов. Непосредственно после сварки и термической обработки исследовали микроструктуру, при этом определяли ширину образующейся ферритной прослойки и слоя с повышенным содержанием карбидов. Для проведения опытов был использован план 3×3 второго порядка, где 3 – три уровня содержания хрома (x_1) и три уровня времени выдержки (x_2). Исследовали влияние этих факторов на ширину науглероженной прослойки при выдержке (x_2) – 0; 50 и 100 часов при температуре 550 °С (y_1). Содержание хрома (x_1) при этом составило 5,34; 7,69 и 10,7 %. Ошибка воспроизводимости опытов $S_1 = 0,0022$. В результате получили уравнение, устанавливающее количественную связь между шириной науглероженной прослойки (y_1) и исследуемыми факторами в виде:

$$y_1 = 0.044 - 0.018x_1 + 0.04x_2 - 0.019x_1x_2 + 0.007x_1^2 - 0.007x_2^2.$$

Проверку значимости коэффициентов уравнения проводили, сравнивая величину доверительного интервала коэффициента Δb_i , с абсолютным значением коэффициента b_i . Если $\Delta b_i > b_i$, то b_i незначим. Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на ширину науглероженной прослойки (y_1) оказывает время выдержки (x_2), чем оно выше, тем больше ширина прослойки. Максимальная величина этого параметра $y_1 = 0,125$ мм будет при $x_1 = -1$; и $x_2 = +1$, т. е. при содержании хрома 5,34% и времени выдержки 0. Выдержка образцов при 550 °С уже в течении 10 часов привела к формированию слоя с повышенным содержанием карбидов в металле шва, однако начало образования

ферритной прослойки со стороны стали 12ХМ отмечено только в образцах с высоким содержанием хрома

после выдержки в течение 100 часов.

УДК 620.22

Эффекты генерации и кумуляции энергии в объеме твердого тела в режиме сверхглубокого проникания.

Ушеренко С.М. , Ушеренко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет,

Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ

Кумуляция энергии при ударе происходит в слое материала толщиной до 6-10 калибров ударника. Накопление энергии за доли секунды происходит при локальном разогреве и фазовых переходах материала преграды. В условиях сверхглубокого проникания (СГП) глубина проникания дискретных порошковых частиц происходит на глубины в сотни и тысячи калибров, т.е. на десятки и сотни миллиметров. Качественным отличием классического удара от СГП является то, что при СГП выделение энергии происходит в закрытой системе. При СГП вывод из закрытой системы излишков энергии в режиме реального времени (менее 10^{-3} с) затруднен.

Плазма создается в канальных зонах при потере кристаллической структуры. При захлопывании под действием высокого импульсного давления микрополостей в плазме достигается плотность энергии 10^{11} - 10^{16} Дж/м³. В условиях СГП возникает источник дополнительной энергии. В режиме реального времени вывод излишков энергии из объема твердого тела возможен только в форме электромагнитного поля. Определение величины электромагнитной энергии, генерируемой в зоне преграды, производилось за счет оценки затрат энергии при перемещении заряженных частиц. В качестве заряженных частиц использовали высокоэнергетические потоки «галактических» ионов. Ионы с энергией 100 – 500 МеВ прошивают металлические преграды и создают треки в пленочных детекторах, показывая остаточную энергию. Это позволяет регистрировать изменения субструктуры металлической преграды на просвет. В результате того, что остатки микрочастиц прошивают преграды на большие глубины, микроструи плотной плазмы выбрасываются под большим давлением с внутренней стороны защитной преграды. Под действием пульсирующего электромагнитного поля плазменная струя записывает колебание поля при внедрении головной части струи в поверхность полупроводника – монокристаллического кремния. Это позволяет регистрировать частоту колебания поля на уровне десятков мегагерц.

Оптимизация профиля шероховатости контртела при работе с фрикционным материалом МК-5

Лешок А.В.¹, Хренов О.В.²

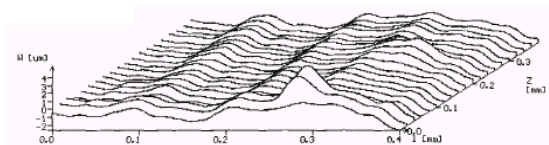
¹Молодечненский завод порошковой металлургии,

²Международный университет "МИТСО"

Приработка является начальной стадией функционирования трибологической системы обеспечивая высокое качество и безотказность эксплуатации агрегатов и машин. На данной стадии происходит изменение структуры материалов на макро- и микроуровнях, меняются геометрические параметры поверхностей трения, сглаживаются микронеровности, формируется новая шероховатость, которая обеспечивает минимальное изнашивание для данных режимов трения сопряженных поверхностей. Процесс приработки будет происходить до тех пор, пока неровности не приобретут размеры, обеспечивающие увеличение фактической площади контакта. Окончанием режима приработки можно считать состояние, когда значения коэффициента трения и температуры стабилизируются, а полученная шероховатость будет оптимальной.

Приработка стального контртела и металлокерамического фрикционного материала МК-5 представляет собой весьма сложное явление, зависящее от многих факторов. До настоящего момента отсутствуют данные о влиянии шероховатости контртела на период приработки, установившееся значение коэффициента трения и равновесное значение шероховатости поверхности.

В процессе исследований установлено, что установившаяся шероховатость стального контртела составляет 0,7-1,4 мкм. Создание начальной шероховатости поверхности менее полученного значения нецелесообразно, так как требует дополнительных затрат электроэнергии, снижает производительность процесса производства. На поверхности контртела присутствуют явно выраженные следы трения в радиальном направлении, при этом вершины неровностей притуплены (рисунок).



Профиль поверхности стального контртела в установившемся режиме трения в паре с металлокерамическим материалом МК-5

УДК 621.793

**Получение теплоизоляционных огнеупорных материалов
из порошковых смесей в системе Al-SiO₂-C методом
самораспространяющегося высокотемпературного синтеза**

Какошко Е.С., Саранцев В.В., Реут О.П.

Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики Белорусского национального технического университета

Комплексными исследованиями получено экспериментальное подтверждение научно обоснованному выбору кремнийсодержащих компонентов – вспученного вермикулита и перлита – для получения теплоизоляционных огнеупорных материалов в системе Al-SiO₂-C методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Для оценки возможности СВС процесса в порошковых смесях с различным соотношением *алюминий : кремнийсодержащий компонент : сажа* и анализа возможного механизма фазообразования проведено термодинамическое моделирование (ТМ) химически реагирующих гетерогенных систем. На основании результатов, полученных в процессе ТМ, синтезированы опытные порошковые смеси, содержащие, мас. %: 30–60 кремнийсодержащего компонента; 30–60 алюминия; 10–20 углерода.

По данным рентгенофазового анализа основными фазами, образующимися в СВС-смесях, являются корунд (α -Al₂O₃) и карбид кремния (SiC), имеются фазы свободного кремния и кристобалита. При отсутствии в системе углерода (сажи) основными фазами становятся корунд (α -Al₂O₃) и свободный кремний, также идентифицируются фазы муллита и кристобалита, образующегося из непрореагировавшего кремнезема. Анализ исследования микроструктуры образцов, показал, что синтезированные СВС-материалы имеют неравномерно пористую структуру с размерами пор 10–30 мкм, поры имеют вытянутую форму. Кристаллическая структура образцов, в составах которых присутствует сажа, представлены нитевидными кристаллами карбида кремния и муллита, толщина нитей составляет 0,3–3 мкм. Кристаллические образования корунда распределены в виде областей различной формы и агрегатов размерами 10–30 мкм.

Полученные СВС-материалы имеют следующие характеристики: плотность кажущаяся – 810-915 кг/м³, плотность истинная – 2130-2350 кг/м³, пористость истинная – 68-70%, предел прочности при сжатии – 3,4-4,6 МПа, теплопроводность при 200 °С – 0,18-0,20 Вт/(м·К). СВС-материалы могут быть использованы для изоляции тепловых агрегатов, футеровки

промышленных печей с температурой до 1400 °С.

УДК 629.115

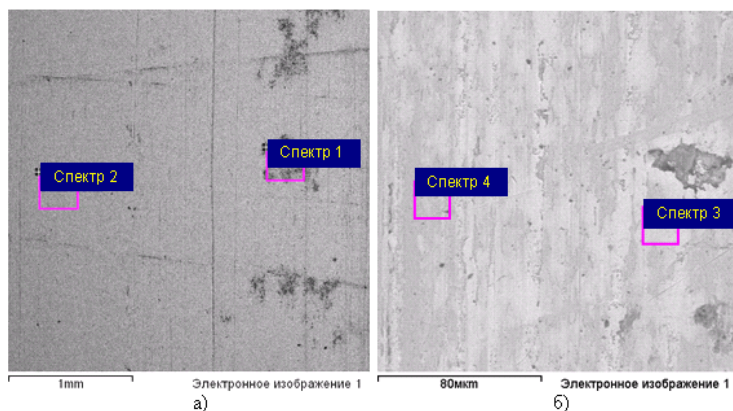
Исследование условий переноса металлокерамического фрикционного материала МК-5 на поверхность стального контртела

Лешок А.В.¹, Хренов О.В.²

¹Молодечненский завод порошковой металлургии,

²Международный университет "МИТСО"

В момент работы гидромеханической коробки передач происходит переключение фрикционов, сопровождающееся скольжением друг относительно друга фрикционных дисков. Данный процесс называется буксованием и определяется удельной работой с высвобождением энергии. Работа буксования возрастает с увеличением времени буксования, скоростей скольжения и давлений на поверхностях трения. С увеличением работы буксования возможно локальное повышение температур на отдельных участках, возникновение температурных вспышек. Допустимая рабочая температура фрикционного материала лимитируется его химическим составом, при этом для фрикционных материалов на основе меди она лежит в пределах 200–300 °С.



Спектр	C,%	O,%	Si,%	S,%	Cr,%	Mn,%	Cu,%	Sn,%	Fe,%
Спектр 1	9,6	7,0	0,8	2,0	1,0	0,6	5,7	0,2	Остальное
Спектр 2	8,1	5,2	1,0	1,1	1,0	0,8	2,5	0,1	Остальное
Спектр 3	7,6	5,2	0,8	0,8	1,0	0,9	5,0	0,2	Остальное
Спектр 4	15,6	15,1	1,1	1,3	1,0	0,7	0,9	-	Остальное

Морфология поверхности с результатами точечного микрорентгеноспектрального анализа

В процессе исследований морфологии поверхности стального контртела было установлено наличие переноса металлокерамического фрикционного материала МК-5 в виде тонкого слоя, а так же локальных участков схватывания (рисунок).

УДК 621.74.047

Теплообмен на границе расплав корка при непрерывном литье

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Тепловой баланс на границе «расплав–корка» в условиях конвективного движения расплава описали уравнением в форме Стефана $\rho r \frac{d\xi}{dt} = q_{1n}(z,t) - q'(z,t)$ при начальных условиях $T[\xi(t),z,t]=T_{кр}$, $\xi(0)=0$, $T(x,z,0)=T_{кр}$, где $q_{1n}(z,t)$ и $q'(z,t)$ – удельные тепловые потоки через корку и расплав.

Условие вероятности оплавления корки при $q_{1n}(z,t)=q_{2n}(z,t)$ вытекает из уравнения теплового баланса: если $\frac{d\xi}{dt} < 0$ корка оплавляется, если $\frac{d\xi}{dt} \geq 0$ растёт, т.е. $q_{1n}(z,t) \leq q'(z,t)$.

Для непрерывного литья с открытым уровнем (вынужденная конвекция $Pr < 1$, турбулентный режим) интенсивность теплообмена описывается выражением $Nu = 7,5 + 0,005Pe$, а для закрытого уровня (вынужденная конвекция $Pr < 1$, ламинарный режим)

$$Nu = 1,1[(1 - Pr)^{1/3} Pe]^{1/2}, \text{ где } Nu = \frac{q'(z,t)d'}{\lambda \Delta T}, \quad Pe = \frac{\omega d'}{a'}, \quad Pr = \frac{\nu'}{a'}$$

соответственно критерии Нуссельта, Пекле (интенсивность движения конвективных потоков) и Прандтля (теплофизические свойства); $d'=(d-2\xi)$ – диаметр жидкой фазы; $\Delta T=(T_{зал}-T_{кр})$ – перегрев расплава.

Исходя из анализа уравнений, нашли критическую скорость конвективных потоков расплава вдоль фронта затвердевания $\omega_{крит}$, достаточную для начала оплавления корки. Для открытого уровня (вертикальное непрерывное литьё) выражение имеет вид

$$\omega_{крит} = \frac{q_{2n}(z,t)}{34783\Delta T} - 0,092, \text{ а для закрытого уровня (вертикальное и}$$

горизонтальное литьё) $\omega_{крит} = 3,02 \times 10^{-10} \left[\frac{q_{2n}(z,t)}{\Delta T} \right]^2$.

Результаты моделирования показали, что конвективные потоки расплава, действующие вдоль фронта затвердевания, оказывают существенное влияние на формирование твёрдой корки вплоть до её оплавления. Степень этого влияния определяется способом литья, его возможностями, технологическими параметрами и зависит от характера распределения и интенсивности конвективных потоков.

УДК 621.79

Исследование характеристик процесса анодного электролитного нагрева

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет

В работе проводились исследования теплофизических характеристик процесса анодного электролитного нагрева, применяемого для термической и химико-термической обработки. При повышении температуры образца с помощью электролитного нагрева обеспечивается формирование упрочненных слоёв за счет диффузии легирующих элементов, содержащихся в электролите, а также закалка, которая достигается при охлаждении нагретого образца в электролите путем отключения рабочего напряжения.

В результате исследований установлено влияние рабочего напряжения на плотность тока, температуру и скорость нагрева, мощность нагрева и долю тепла, поступающего в анод.

Исследования теплофизических особенностей процесса электролитно-плазменного нагрева проводились в электролите на основе 10-% раствора хлорида аммония. Температура электролита составляла $23 \pm 3^\circ\text{C}$. Рабочее напряжение изменялось в диапазоне от 120 до 300 В. В качестве источника питания использовался диодный выпрямитель ДЕЗ 100/230. Регулировку рабочего напряжения осуществляли с помощью трехфазного ЛАТРа. Температура образцов определялась по цветам каления.

Установлено, что с увеличением рабочего напряжения скорость электролитного нагрева увеличивается и достигает максимума при удельной мощности 300 Вт/см^2 , что соответствует рабочему напряжению 240 В. Дальнейшее увеличение удельной мощности нагрева приводит к снижению максимальной температуры нагрева, что связано с перераспределением тепловых потоков при повышении рабочего напряжения.

Исследования тепловых особенностей электролитного нагрева показали, что наиболее приемлемым с точки зрения эффективности

является нагрев в диапазоне напряжений 240–270 В, обеспечивающий достижение требуемой температуры анода (950–1050 °С), а также максимальную скорость и мощность нагрева.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что в условиях электролитного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, обеспечивающие выполнение цементации в течение нескольких минут, по сравнению с несколькими часами при традиционных способах газовой цементации или цементации в твердом карбюризаторе.

УДК 621.9.047

Влияние тепловых и электрических параметров на устойчивость и производительность электролитно-плазменной обработки

Алексеев Ю.Г., Нисс В.С., Головач С.И.

Белорусский национальный технический университет

В качестве альтернативы электрохимическому полированию для повышения качества поверхности в промышленности в последнее время широко используется метод электролитно-плазменной обработки (ЭПО) поверхностей металлических изделий. ЭПО обеспечивает снижение шероховатости, очистку поверхности, удаление заусенцев, скругление острых кромок. Под действием рабочего напряжения в процессе ЭПО вокруг погруженного в электролит изделия возникает пленочное кипение и по всей обрабатываемой поверхности происходят импульсные электрические разряды.

Целью данной работы является исследование закономерностей влияния тепловых и электрических условий на устойчивость пленочного кипения, а также производительность ЭПО.

Для определения влияния тепловых условий на устойчивость пленочного кипения была предложена модель обработки детали при постепенном погружении ее в электролит. Момент срыва фиксировался по переходу процесса от стабильных значений напряжения и тока к броску тока и падению напряжения в 10 и более раз. Моделировались следующие условия обработки:

- напряжение питания – 320 В;
- электролит – водный раствор сульфата аммония;
- концентрация электролита – 4%;
- мощность источника питания – 96 кВт;
- диапазон рабочих температур электролита – 20 – 90 °С.

В результате моделирования с последующими экспериментальными исследованиями установлено, что в стабильном процессе ЭПО с

увеличением температуры электролита с 30 до 90 °С максимально возможная площадь обработки увеличивается в 3,7...4 раза.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при увеличении температуры электролита с 42 до 99 °С средняя скорость съема металла снижается в 6 раз.

Кроме того, установлено, что изменение внешних емкости и индуктивности источника питания для электролитно-плазменной обработки не приводит к существенному увеличению производительности, а увеличение индуктивности вызывает дестабилизацию процесса и значительное снижение качества обработки.

УДК 621.7

Напыление нанопокровтий дисилицида молибдена для активирования процессов формирования и спекания пористых порошковых материалов

Ковалевский В.Н., Антончик Д.И., Жук В.А.

Белорусский национальный технический университет

При нанесении покрытий формируется поверхность, активированная плазмой тлеющего разряда с удалением адсорбированных газов и тонких пленок оксидов, что обуславливает структурную целостность материала поверхностного слоя. Экспериментально установлена скорость осаждения на поверхность частицы конденсата (1,5 – 1,8 нм/мин); скорость осаждения зависит от ряда факторов: режимов распыления, размера, формы и технологических свойств материала частиц, коэффициента заполнения перемешивающего барабана и его дистанции от катода, скорости вращения барабана, давления рабочего газа.

Исходя из стехиометрического состава соединения MoSi_2 , получаемого в твердой фазе, определены размеры катодов. При нагреве в интервале 750 – 1000°С усадка протекает интенсивно, формирование FeSi наблюдается при температуре 940 – 1000°С. Установлена температура (1150°С) спекания порошков с покрытием, в покрытии присутствует Si и Mo. Рентгенофазовым анализом определена MoSi_2 фаза. Двухслойное покрытие состоит из слоя Fe_3Si , прилегающего к частице и внешнего слоя из MoSi_2 . Уплотнение и упругая деформация частиц в зоне контакта приводит к сдвигу материала в конденсате, что активирует процесс спекания частиц. Спекание прессованных образцов проводили по ступенчатой схеме с изотермической выдержкой при реакционном спекании 850 °С и при активированном спекании при температуре 1100°С. как высокотемпературный припой.

Пористые порошковые материалы из сферических порошков стали 12Х18Н10Т формируются в изделие-фильтр за счет деформации в металлической пресс-форме при наличии на поверхности частиц конденсата толщиной свыше 300нм, поверхность которого содержит кластерный рельеф. Последовательность осаждения слоев кремния и (Si – С) или (Mo – Si) позволяет создавать конденсат с аморфным слоем кремния. Конструирование материала выявило, что для коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т в качестве компонента, обеспечивающего диффузионное спекание сферических частиц, следует использовать слой кремния, наносимый при длительном магнетронном распылении охлаждаемого катода на активированную плазмой тлеющего разряда поверхность частиц.

УДК 621.793

Получение гальванических покрытий в катодном режиме электролитно-плазменной обработки

Нисс В.С., Паршутю А.Э., Симончик А.П.

Белорусский национальный технический университет

В работе проводились исследования особенностей нанесения гальванических покрытий в катодном режиме электролитно-плазменной обработки (ЭПО).

ЭПО является относительно новой технологией инженерии поверхности, которая включает в себя как анодные процессы (такие как очистка, полирование, создание окисных пленок и т.п), так и катодные процессы (например, термическая и химико-термическая обработка, очистка). ЭПО имеет электрохимическую природу аналогичную гальваническим процессам. Однако применяемое рабочее напряжение во всех технологических процессах ЭПО значительно выше, чем в гальванических технологиях. Двухфазная система электрод-электролит, возникающая при обычном электролизе превращается в четыре составляющих: электрод, парогазовая оболочка, газовый электрический разряд и электролит. В канале электрического разряда образуется низкотемпературная плазма, оказывающая химическое и термическое воздействие на поверхность образца.

Проведенные исследования показали, что производительность процесса нанесения покрытий повышается при снижении температуры электролита и при снижении рабочего напряжения. Повышение скорости нанесения покрытий при снижении температуры электролита связано с уменьшением парообразования в парогазовой оболочке, что обеспечивает

уменьшение её толщины. Уменьшение толщины парогазовой оболочки приводит к повышению плотности рабочего тока и, соответственно, производительности процесса нанесения покрытий.

Установлено, что формирование качественных покрытий возможно в следующих диапазонах технологических параметров: концентрация электролита – 16–24 %, температура электролита – 75–90 °С, рабочее напряжение – 200–260 В, продолжительность обработки – 30–90 с.

Исследование технологических особенностей метода позволило сделать вывод о том, что наиболее перспективной областью его применения является нанесение гальванических покрытий на поверхности плоских и цилиндрических профилей бесконечной длины, получаемых прокаткой и волочением и требующих защиты от коррозии. В частности, метод может быть использован для нанесения покрытий на поверхность катанки, ленты, листа, проволоки, прутка, арматуры и др.

УДК 661.665.2.022.51:661.185

Импульсное электроконтактное спекание модифицированных порошков на основе отходов твердых сплавов

¹Горанский Г.Г., ²Полюян А.И., ¹Поболь А.И., ¹Пайташ А.Н.

¹Белорусский национальный технический университет,

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

В работе доказана возможность получения импульсным электроконтактным спеканием (ИЭС) порошковых композиций и изделий на основе отходов (стружка) твердых сплавов, модифицированных аморфизированными порошковыми добавками системы Fe–Ni–Mo–Co–Cr–B–Si, с достаточно высоким и стабильным уровнем механических свойств.

Создание порошков осуществлено механосинтезом и последующим диспергированием в аттриторе. Введение модифицирующей добавки выполнено с целью повышения формуемости композиции, снижения термобарических параметров ее компактирования, повышения свойств. Содержание добавки составляло 5 и 10 мас. %. Совместный сухой помол сопровождался плакированием материалом добавки поверхности частиц твердого сплава. Степень плакирования зависела от количества добавки и составляла в пределе до 38% поверхности частиц. Толщина слоя – 2–4 мкм.

ИЭС выполнялось на установке УЭКС-2 с модернизированным блоком управления РКС-801М. Для первого состава композиита оптимальный режим спекания: $I_n=7,5$ кА; $p = 40$ МПа; $t_n = 10$ с; время импульсов и пауз $t_{имп}$, $пауз = 0,02$ с; общее время цикла $t_{ц} = 60$ с, для второго состава: $I_n=6,2$ кА; $p = 35$ МПа; $t_n = 10$ с; время импульсов и пауз $t_{имп}$, $пауз = 0,02$ с;

общее время цикла $t_{ц} = 60$ с. Были изготовлены рабочие элементы правящих фильер, имеющие форму втулки с наружным диаметром $\varnothing 20$ мм, внутренним диаметром $\varnothing 10$ мм и высотой h_{10} мм. Пайка рабочих элементов фильер к корпусу стальной обоймы осуществлена на той же установке УЭКС-2 с применением соответствующей оснастки. Припоем служил тот же порошок твердого сплава, что и для рабочего элемента фильеры.

Для первого состава на торцах рабочего элемента твердость составила HRC 60-63, по образующей на боковой поверхности – HRC 58-60, снижаясь к центральной части образца. Для второго состава соответственно: на торце HRC 60-63 и по образующей – HRC 56-60.

Пористость образцов после ЭИС распределена относительно равномерно по высоте и радиальному сечению и составляла около 6-10%. Средний размер пор – 8-18 мкм, отдельные поры достигали максимальных размеров в 40 мкм. Плотность материала составила 14,4-14,6 г/см³, работа разрушения – 28 МДж/м³.

УДК 661.665.2.022.51:661.185

Механические и триботехнические свойства модифицированных порошков на основе отходов твердых сплавов после импульсного электроконтактного спекания

¹Горанский Г.Г., ²Жорник В.И., ²Полуян А.И., ¹Поболь А.И., ¹Пайташ А.Н.

¹Белорусский национальный технический университет,

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Модифицирование шихты на основе стружки ВК8 перед импульсным электроконтактным спеканием (ИЭС) добавками аморфизированных сплавов систем Fe-Ni-Mo-Co-Cr-B-Si (состав 1) и Ni-Cr-Si-B (состав 2) приводит к возрастанию прочностных и пластических свойств композитов. В частности, предел прочности при сжатии увеличивается в 1,2-1,7 раза, пластичность – в 1,5-1,9 раза, а твердость по Виккерсу – на 200-2200 МПа (таблица).

Максимальная износостойкость твердых сплавов (ТС) достигается при концентрации модификатора 5 мас.%. Интенсивность изнашивания I_q для ТС с 5 мас.% Fe-Ni-Mo-Co-Cr-B-Si, в 2,1 раза, а для ТС с 5 мас.% Ni-Cr-Si-B – в 1,2 раза ниже по сравнению с ТС, спеченным без добавок модификатора.

Рост концентрации модификатора до 10 мас.% снижает износостойкость ТС. В то же время лучшие антифрикционные свойства (коэффициент трения в 1,4-1,7 раза ниже по сравнению с ТС без

модификатора) имеют сплавы с содержанием модифицирующей добавки в количестве 10 мас. %.

Таблица. Интенсивность изнашивания I_q , коэффициент трения f , предел прочности σ_B , пластичность δ и твердость HV твердосплавных композитов после ИЭС

Состав ТС	$I_q \cdot 10^4$ мг/м	f	σ_B , МПа	δ , %	HV, МПа
ТС без модификаторов	6,2	0,9-1,0	1 262,4	8,7	8500
ТС+5 мас.% состава 1	2,9	0,8-0,9	1 843,6	12,4	8800
ТС+10мас.% состава 1	10,7	0,7-0,8	2 117,6	16,9	10700
ТС + 5 мас. % состава 2	5,3	0,7-0,8	1382,1	12,6	8700
ТС + 10 мас. % состава 2	5,9	0,6-0,7	1 528,3	12,0	8900

УДК 620.22

Легирование металлических материалов внедрением в объем сгустков дискретных порошковых частиц

Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно повышение уровня физико-механических свойств достигается за счет дополнительного легирования сплава. Рост концентрации дополнительных легирующих элементов, как правило, реализуют за счет введения лигатуры в расплав.

Известны динамические методы легирования, которые позволяют существенно изменять концентрацию легирующих элементов за доли секунды. Дополнительным достоинством динамического легирования является возможность синтеза т.н. метастабильных соединений.

Технология динамического легирования основана на эффектах динамического массопереноса. Ударные волны перемещаются по металлическим твердым телам со скоростями 5000–6000 м/с. Как правило, новые структурные элементы создаются на основе растворов внедрения и представляют собой метастабильные соединения.

Сверхглубокое проникание (СПП) реализуется при соударении сгустков легирующих порошковых частиц с твердыми телами. При скоростях соударения 300 – 3000 м/с дискретных порошковых частиц с металлической преградой в ней создается неравномерное пульсирующее поле давлений. За счет суперпозиции ударных волн возникают зоны высокого давления (5–20 ГПа), окруженные зонами фонового давления (0,2-1 ГПа). Частицы легирующего вещества, двигаясь внутри зон

высокого давления, трутся о стенки формируемых канальных элементов. За счет этого зоны высокого давления избирательно легируются. В объеме твердого металлического тела создается композиционный материал.

Особенностью СГП является дополнительная кумуляция энергии. В период динамического фазового перехода материал теряет дальние связи и представляет собой плотную плазму (квазижидкость). Движение частиц в такой квазижидкости приводит к известным гидродинамическим эффектам, когда за счет турбулентности за ударником создается микрополость. Под действием пульсирующего поля зоны высокого давления полость захлопывается в точку ($\approx 10^{11}$ - 10^{16} Н/м²), а масса стенок канала задает время задержки сверхвысокого давления ($\approx 10^{-8}$ с). В этих точках синтезируются новые химические элементы и их изотопы, а за счет этого реализуется дополнительное легирование армирующих зон композиционного материала.

УДК 621.795:544.6

Морфология и микроструктура электрохимических композиционных покрытий (Ni-B)-SiO₂ в зависимости от условий получения

Якубовская С.В., Корбит А.А

Белорусский национальный технический университет

Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) на основе никеля характеризуются повышенной твердостью, износостойкостью, термической стабильностью и представляют несомненный практический интерес для использования в промышленности.

В настоящей работе изучалось влияние концентрации дисперсного SiO₂, борсодержащего соединения в составе органического электролита никелирования на основе карбамида и условий проведения процесса электролиза на морфологию и микроструктуру КЭП (Ni-B)-SiO₂. Электрохимическое осаждение покрытий проводили из электролитараствора Co(NH₂)₂-NiCl₂-H₃BO₃-SiO₂ при стандартной схеме электролиза. Исследование морфологии и микроструктуры поверхности покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA / TESCAN (Япония) и на оптическом микроскопе Micro-200.

Установлено, что микроструктура КЭП определяется концентрацией SiO₂ и степенью дисперсности частиц, а также концентрацией борной кислоты. Влияние температуры электролиза на микроструктуру покрытий проявляется слабо.

В области режимов формирования покрытий (Ni-B)-SiO₂ микроструктура представляет собой матрицу на основе сплава Ni-B, в

которой расположены ультрадисперсные (50-100 нм) и дисперсные (0,5-5,0 мкм) частицы диоксида кремния. Внедрение SiO_2 в покрытие осуществляется по двум механизмам: электрокристаллизацией никеля в объеме конгломератов SiO_2 с образованием композиционного материала (в области невысоких значений плотностей тока); осаждением на активных центрах одновременно с восстановлением никеля.

Увеличение концентрации H_3BO_3 в электролите сопровождается увеличением концентрации дисперсных частиц боридов никеля и изменением морфологии покрытий: на фоне дендритов никеля образуются более крупные дендриты сложного строения.

Установлено, что в области температур 365-400 К и плотности тока 8-25 мА/см² осаждаются плотные, толстые (50-80 мкм) покрытия, не отслаивающиеся от основы. Концентрация SiO_2 и H_3BO_3 в электролите может варьироваться от 0,5-3,0 мас.% и 1-5 мас.% соответственно без изменения параметров процесса нанесения КЭП (Ni-B)- SiO_2 .

УДК 620.22

Особенности динамического упрочнения инструментальных сталей при проникании порошковых составов.

Ушеренко Ю.С., Марукович Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Инструментальные стали обладают высокой прочностью на изгиб и ударную вязкость. Стали уступают по стойкости на износ твердым сплавам, кубическому и гексагональному нитриду бора. В качестве инструментальных сталей наиболее широко используются быстрорежущие стали. Их износостойкость примерно в 100 раз ниже, чем у традиционных вольфрамкобальтовых твердых сплавов. Попытка повысить эксплуатационную стойкость инструментальных быстрорежущих сталей за счет использования технологии традиционной порошковой металлургии оказалась не совсем удачной. Повышение износостойкости привело к существенному повышению себестоимости.

Рассматривали вариант нетрадиционной порошковой металлургии. В качестве рабочего инструмента использовали высокоэнергетический ступок порошковых микрочастиц с размерами 1-100 мкм. Сгустки порошковых частиц разгоняли до скоростей в диапазоне 300 – 3000 м/с. В результате соударения керамических и металлических частиц со стальными заготовками на их основе формировался волоконный композиционный материал. Волокна синтезировались на основе метастабильных соединений вводимого порошка и стальной матрицы.

Легирование вводимым и синтезированным материалом происходило в захопнутых канальных (волоконных) зонах.

Поскольку процесс легирования и синтеза реализовывались в период взаимодействия сгустка частиц с преградой, а реальное время высокоэнергетического взаимодействия не превышало 0,001 секунды, то процессы диффузионной перестройки структуры оставались незавершенными.

Быстрорежущие стали представляют для динамического легирования особый интерес. Такие стали имеют значительные по времени (до 3-х часов) и по температуре (до 600⁰ С) режимы термической обработки, что позволяет эффективно реализовать окончательную диффузию. За счет диффузии на основании дефектных волоконных зародышей вырастают армирующие волокна повышенной прочности на изгиб и на износ. В результате конечный инструментальный материал, сохраняя высокий уровень прочности на изгиб и удар, имеют износостойкость в 1,5-2 раза выше исходного уровня. Исключено использование процесса спекания.

УДК 666.797.2

Режимы и условия распыления графита при формировании тонкопленочных покрытий

Ковалевский В.Н., Григорьев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Углеродистые и графитометаллические высокотемпературные материалы получили широкое применение для изготовления конструкционных и антифрикционных изделий. Конструирование материала осуществляется на этапах нанесения покрытий на микрочастицы металлических порошков и их термомеханической обработки. Вакуумное осаждение эмиссионных потоков, полученных магнетронным распылением высокоплотных графитовых катодов, позволяет получить углеродистые покрытия толщиной 10–300 нм.

Тонкопленочные графитовые покрытия получали магнетронным распылением охлаждаемых графитовых катодов, представляющих собой высокоплотный графит с гексагональной решеткой, который содержал до 7% орторомбического углерода (графита), при использовании в качестве плазмирующего газа аргона при давлении 3,5 Па, низких значениях вольтамперной характеристики разряда $U = 0,6\text{кВ}$, $I = 0,6\text{А}$, и силе тока в индукционной катушке $I_k = 0,7\text{А}$, что обеспечивало низкие температуры осаждения углеродного конденсата. Принцип действия магнетронных распылительных систем основан на локализации плазмы тлеющего

разряда в скрещенных магнитном и электрическом полях. Высокая плотность ионного тока (на 2 порядка выше, чем в обычных диодных системах) и большая удельная мощность значительно в 50...100 раз увеличивает скорость распыления материалов в магнетронной системе. Интенсивный эрозионный износ катодов протекает неравномерно, особенно в узкой зоне эрозии, что вызывает неравномерный нагрев катода. После образования зоны эрозии повышается интенсивность распыления графита и повышается его температура. Охлаждение катода ведется путем снятия напряжения электрического разряда и увеличения подачи рабочего газа под давлением выше 1Па (аргон). При длительном распылении графита в течение 6 часов наблюдается разогрев мишени графита до 600°C. Для упрочнения графитового покрытия наносили карбидообразующий элемент Si. Оценку однородности эмиссионного потока и выбор режимов нанесения графитовых покрытий осуществляли с использованием в качестве подложки фотостекла Ф1, которое обладает высокими твердостью, химической инертностью, изоляционными свойствами, качеством поверхности, прозрачностью, аморфностью.

УДК 620.17; 621. 791

Некоторые практические рекомендации по контролю теплоэнергетического оборудования

Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

На основании обобщения литературных данных, информации, изложенной в ряде нормативных документов, а также результатов собственных исследований рекомендуются следующие основные этапы контроля основных теплоэнергетических конструкций, в том числе котлов, трубопроводов пара и горячей воды, технологических трубопроводов:

1. Наружный и внутренний (внутренний – по возможности) осмотр;
2. Визуальный и измерительный контроль;
3. Капиллярная дефектоскопия;
4. Магнитопорошковая дефектоскопия;
5. *Магнитный метод контроля (по коэрцитивной силе) – для ферромагнитных материалов**;
6. *Капиллярная и магнитопорошковая дефектоскопия (в местах с максимальным значением коэрцитивной силы и со значениями, превышающие допустимые)**;
7. Ультразвуковая толщинометрия стенки;

8. *Ультразвуковой контроль сварных соединений и основного металла* (в т.ч. в местах с максимальным значением коэцитивной силы и со значениями, превышающие допустимые)*;
9. *Измерение твердости и механических свойств переносными приборами* (в т.ч. с получением значений показателей механических свойств по эмпирическим формулам взаимосвязи параметров отпечатка пирамидального индентора с пределом прочности, пределом текучести, относительными удлинением и сужением, а также ударной вязкостью)*.
10. Исследование микроструктуры металла по репликам, сколам (рекомендуется применение *метода полевой металлографии непосредственно на диагностируемой конструкции*)*;
11. Исследование химического состава, механических свойств и микроструктуры металла элементов на контрольных образцах (в случае необходимости);
12. Испытания на прочность и плотность.

*Примечание: * – дополнительно предлагаемые этапы контроля и дополнительные рекомендации, позволяющие повысить объективность контроля.*

УДК 621.745.669.13

Особенности при сварке стали марки HAR DOX

Острога С.П.

Белорусский национальный технический университет

HARDOX — семейство марок сверхтвердых сталей, обладающих высокой стойкостью к износу, одинаковой по всей толщине листа. В настоящее время выпускаются марки — HARDOX 400, 450, 500 и 600. Индекс показывает величину твердости данной марки стали по Бринеллю (HBW).

HARDOX представляет собой низколегированную сталь. Типичный химический состав, например, для марки HARDOX 400 (толщина листа – 30 мм): C = 0.16%, Si = 0.32%, Mn = 1.3%, Cr = 0.60%, B = 0.002%.

Фактический срок службы толстолистовой стали зависит от твердости материала, контактирующего с листом, а также от типа износа.

Различные условия износа обычно требуют использования материалов с различным составом и свойствами. Так, керамические изнашиваемые детали отличаются превосходным сопротивлением износу при трении скольжения, но совершенно непригодны в условиях износа при ударе. Резина и марганцовистая сталь противостоят износу лишь при условии,

что частицы материала соударяются с износостойкой поверхностью под прямым углом, в то время как их сопротивление износу при трении скольжения неудовлетворительно. Изнашиваемые части из чугуна выдерживают износ при трении скольжения и умеренный износ при ударе.

Износостойкие листы из стали HARDOX с твердостью по Бринеллю 400-600 способны выдерживать большинство типов износа. Типичное значение предела прочности стали HARDOX 400 составляет 1250 МПа, предела текучести – 1000 МПа,

При сварке конструкционных и высокопрочных сталей важно свести к минимуму вероятность образования холодных трещин. Главной причиной такого растрескивания является присутствие водорода при возникновении напряжений в сварном шве. Для снижения вероятности растрескивания можно:

1) подогреть основной металл перед сваркой (чем выше температура при и после сварки, тем легче водороду выйти из стали; чем больше толщина металла, тем больший подогрев необходим)

2) обеспечить полную чистоту и сухость свариваемых поверхностей;

3) свести к минимуму напряжения от тепловой усадки — для этого обеспечить хорошую пригонку свариваемых частей и правильно спланировать последовательность наложения основных швов.

УДК 621.791

Разработка аттестационных требований к сварочному персоналу для допуска к работам при строительстве Белорусской АЭС

Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А., Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Так как качество сварных конструкций, в первую очередь, зависит от квалификации сварщиков, а также руководителей сварочных работ, то в контексте формирования системы сварочной деятельности при строительстве Белорусской АЭС актуальным является адаптация соответствующих требований в атомной энергетике к действующим в Республике Беларусь правилам и ТНПА.

Основные требования к квалификации (аттестации) сварщиков, инженерно-техническим работникам, осуществляющим руководство работами по сборке, сварке и т.п., установлены в ПНАЭ Г-7-008-89 и ПНАЭГ-7-009-89.

Аттестация сварщиков АЭС проводится в соответствии с требованиями ПНАЭ Г-7-003-87.

По отношению к действующим в настоящее время в Республике Беларусь правилам аттестации сварщиков, 1994 г. регламентные требования правил в атомной энергетике имеют отдельные несоответствия.

Общими требованиями указанных правил является формирование аттестационных комиссий сварщиков на базе производственных предприятий из числа квалифицированных специалистов сварочного производства.

Инженерно-технические работники, осуществляющие руководство сварочными работами, должны проходить аттестацию в соответствии с руководящим документом РД-3-3 в экзаменационных комиссиях министерств, ведомств, объединений, предприятий и объектов с участием представителей надзорных органов.

В Республике Беларусь аттестация специалистов сварочного производства (руководителей сварочных работ) обязательна для всех предприятий, выполняющих работы на потенциально опасных объектах.

Требования и порядок проведения аттестации регламентированы положениями СТБ 1063-2003.

В настоящее время специалистами БНТУ проведены работы по пересмотру правил аттестации сварщиков на объектах, поднадзорных Госпромнадзору и в новую редакцию правил включены требования, касающиеся аттестации сварщиков и руководителей сварочных работ, осуществляющих деятельность на объектах атомной энергетике, включая Белорусскую АЭС. Правила находятся на утверждении в Госпромнадзоре.

УДК 621.172

Анализ факторов, влияющих на качество и надежность тяжелонагруженных сварных соединений при изготовлении металлоконструкций

Снарский А.С., Жемойта А.В.

Белорусский национальный технический университет

Повышение качества, а, следовательно, надежности и конкурентоспособности отечественной продукции было и остается весьма важной государственной задачей. Это положение в полной мере относится и к продукции сварочного производства. Очевидно, что в металлоконструкциях, полученных сваркой, лимитирующими их надежность, как правило, являются сварные соединения; при этом к наиболее нагруженным из них предъявляются повышенные требования по качеству. В связи с этим были проанализированы факторы, оказывающие наиболее сильное влияние на качество указанных объектов, с позиции анализа СТБ

ИСО 3834 и реального производства различных сварных конструкций и элементов самосвалов, выпускаемых БелАЗом.

Установлено, что все факторы, оказывающие влияние на качество сварных соединений при изготовлении конструкции, можно условно разделить на 4 группы: факторы, зависящие только от квалификации исполнителя (сварщика, слесаря-сборщика, руководителя сварочных работ, дефектоскописта); факторы, зависящие от качества материалов (основных, сварочных и материалов для дефектоскопии); факторы, зависящие от применяемого оборудования и приспособлений (от его качества, точности, стабильности работы); факторы, зависящие от полноты и качества технической документации (инструкций, технологических карт и т.п.). Как видно все указанные факторы дополнительно можно укрупнить до двух групп: субъективные факторы и объективные факторы. Предварительный анализ показывает, что к объективным факторам относится качество основных и сварочных материалов – это своеобразная данность. Однако более глубокий анализ показывает, что и данным фактором не только можно, но и нужно управлять – за счет правильно поставленной на конкретном предприятии и продуманной системы входного контроля; некачественный материал не должен попасть на изготовление конструкции. При этом следует не забывать, что своеобразным первым этапом входного контроля является контроль наличия и содержания сертификатов качества на материалы. Данный этап при минимуме затрат на выполнение уже позволяет не допускать к производству материалы, не соответствующие требованиям.

УДК 621.791

Изготовление газоплотных узлов вентиляционных систем с применением сварки в монтажных условиях

Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А.

Белорусский национальный технический университет

Применение дуговых сварочных процессов при монтаже тонколистовых вентиляционных систем на практике затруднено по технологическим особенностям сварки, прожогам и невозможностью формирования сварных швов оптимального качества, а также в связи с отсутствием квалифицированного персонала, специализированных сварочных установок.

В результате проведенных исследований особенностей сварки тонколистового проката воздухопроводов из низкоуглеродистых, включая оцинкованный прокат, высоколегированных сталей и алюминиевых

сплавов с различными конструктивными особенностями сварного соединения и применением сварки плавлением типа «coldArc», «TIG», «MIG/MAG» проведен выбор параметров режимов сварки, сварочных материалов, выполнены экспериментальные работы при сварке образцов вентиляционных систем.

Установлены характер и зоны проплавления для различных соединений, а также влияние уровня тепловложений на образование отдельных несоответствий сварных швов, разработаны базовые параметры режимов сварки, а также комплексная технологическая инструкция с модульной структурой, адаптированная к особенностям производственных конструкций и элементов систем вентиляции.

Наиболее эффективное применение разрабатываемая комплексная технология может найти в условиях монтажа вентиляционных систем при условии автоматизации перемещения сварочной горелки и разработки соответствующих вспомогательных направляющих, а также узлов и блоков регулирующих уровень стабильности ее перемещения.

Данное вспомогательное оборудование будет малогабаритным, недорогостоящим и многофункциональным, что позволит его использовать также при сварке металлоконструкций и металлопроката средней и большой толщины, как при выполнении сварки стыковых соединений с разделкой кромок, так и тавровых (угловых) соединений.

Комплексная технология сварки тонколистового проката вентсистем совместно с недорогим мобильным вспомогательным и сварочным оборудованием инверторного типа будет востребована организациями строительной отрасли Республики Беларусь, а также производственными предприятиями широкой сферы деятельности.

УДК 621.375.826 + 621.357.7

Лазерная модификация поверхностного слоя электрохимического железного покрытия

Боровик Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Представлены результаты исследований влияния лазерной обработки на структуру и физические свойства электрохимических железных покрытий, полученных осаждением из хлористого электролита. Особенностью процесса являются различные режимы лазерной обработки, отличающиеся как по плотности энергии, так и по длительности обработки.

Образцы для нанесения электрохимических железных покрытий (ЭЖП) выполнялись из низкоуглеродистой стали в виде пластин. В качестве электролита использовали хлористый электролит железнения со следующим составом: FeCl_2 - 350 ± 10 г/дм³, HCl - 1 г/дм³ (рН = 0,8). Технологические параметры нанесения покрытий: катодная плотность тока (I_k) - 15, 30, 45 А/дм²; температура электролита 60 ± 5 °С; время осаждения 60 – 120 мин.

При проведении экспериментов был использован комплекс лазерной наплавки, состоящий из установки лазерной наплавки «Комета-2» и манипулятора (переоборудованного станка 16А20ФЗРМ139). Для увеличения площади обработки и глубины обработки использовали лазер с непрерывным излучением. Основные характеристики комплекса: мощность – до 1,5 кВт; подача образца – 0...7, 5 м/мин.

Режимы лазерной обработки: мощность излучения — 0,5-1 кВт; диаметр пятна нагрева 1-3 мм; скорость перемещения пятна нагрева — 500-2000 мм/мин; расстояние между дорожками — 1,0-2,0 мм.

ЭЖП до лазерной обработки получались качественными, плотными, без внешних дефектов. Микротвердость матрицы ЭЖП до лазерной обработки была $\text{HV} = 3500-4000$ МПа, что соответствует твердости железного покрытия при осаждении на «средних» режимах. После лазерной обработки твердость локально обработанных участков ЭЖП снижается в 2 раза и составляет 1800-2200 МПа.

В результате проведенных исследований, были получены данные о влиянии режимов лазерной обработки на механические свойства и микроструктуру ЭЖП. Оптимальным режимом обработки ЭЖП с частичным проплавлением и толщиной слоя 300 ± 50 мкм является: мощность излучения – 500 Вт, диаметр пятна – 2 мм, скорость перемещения пятна – 1000 м/мин.

УДК 621.793

Лазерная обработка плазменных покрытий

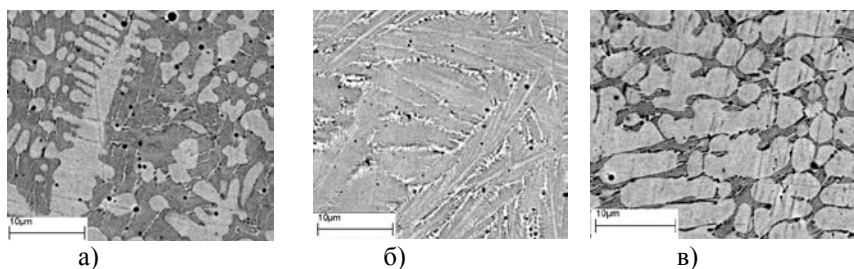
Пантелеенко А.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Лазерному модифицированию подвергались плазменно-напыленные покрытия из диффузионно-легированного порошка ПР-Х18Н9 на установке лазерной наплавки Комета-2; режимы модифицирования: мощность – 1 кВт; подача образца – 200...300 мм/мин; плотность энергии – $1 \cdot 10^9$ Вт/м²... $4 \cdot 10^9$ Вт/м².

При лазерном модифицировании поры покрытия оттесняются зоной термического влияния вглубь на границу с подложкой; они также коалесцируют. Например, пористость покрытия после лазерного модифицирования снижается с 14...15 % до 1.4 % (в зависимости от режима обработки).

Все полученные после модифицирования образцы обладают тремя характерными типами микроструктуры: доэвтектической (рисунок а), эвтектической (рисунок б), заэвтектической (рисунок в). В ряде случаев микроструктура модифицированных покрытий имеет смешанное строение, наблюдается присутствие эвтектической (квазиэвтектической) микроструктуры.



Режимы лазерной модификации: а) доэвтектическая микроструктура; б) эвтектическая микроструктура; в) заэвтектическая микроструктура;

Рисунки: Микроструктура плазменно-напыленного покрытия с лазерным оплавлением

Следует также отметить, что лазерное модифицирование оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики покрытия. Наблюдается увеличение износостойкости в 1,5-2,5 раза (в зависимости от режима обработки и условий эксплуатации).

УДК 621.793

Устройство для нанесения защитного покрытия в режиме электронно-лучевого легирования

Саранцев В.В, Лойко В.А.* , Калиновский В.Р.¹

Белорусский национальный технический университет,

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Повышение срока службы лопаток паровых турбин последних и предпоследних ступеней, которые в процессе эксплуатации подвергаются

капельно-эрозионному износу, возникающему в результате ударов капель влаги, конденсирующейся в турбине, является важной задачей изготовителей и ремонтных организаций энергетики.

Для защиты лопаток турбин предложено использование технологии электроискрового легирования (ЭИЛ), которая основана на явлении электрической эрозии и полярного переноса материала анода (расходуемый электрод-инструмент) на катод (поверхность лопатки) при протекании импульсных разрядов в газовой среде.

По разработанной схеме изготовлено устройство для электроискрового легирования – электромеханический вибратор. В разработанной конструкции вибратора диапазон частоты вибрации можно регулировать в диапазоне от 50 до 200 Гц.

Для расширения круга наносимых материалов, в зону формирования покрытия может подаваться защитный (Ar, He) или активный (N_2 , O_2 , H_2) газ, подводимый через штуцер по электрододержателю из баллона. При использовании защитных газов возможен перенос материала электрода на поверхность детали в чистом виде. Микроструктурный анализ участка покрытия, нанесенного на лопатку турбин вибратором позволил установить, что в режиме ЭИЛ при использовании электрода марки «стеллит» можно получить толщину покрытия на подложке за один проход 0,2–0,3 мм.

Разработанный электромеханический вибратор позволяет повысить качество формируемого легирующего слоя за счет стабильности амплитуды и частоты вибрации; достичь устойчивой работы с фиксированной амплитудой и частотой вибрации при нанесении защитного покрытия; охлаждать конструктивные элементы устройства и локального участка поверхности обрабатываемой детали за счет прямой подачи по электрододержателю защитного или активного газа в зону искрового разряда; повысить ресурс работы устройства за счет использования внешнего электропривода; уменьшить динамическое вибровоздействие устройства на мышечную ткань руки оператора за счет снижения массы вибратора, что является актуальным при работе в течение рабочей смены.

Обработка материалов давлением

Разработка технологических схем формообразования сферообразных полых изделий с использованием локального очага пластической деформации

Карпицкий В.С., Логачев М.В., Карпицкий Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Секционные разжимные пуансоны используют как рабочий инструмент в штампах для получения сферообразных полых изделий. Данный способ формоизменения заготовок объединяет с формовкой сходная схема напряженного состояния – двухосное растяжение, а также уменьшение толщины заготовки в зоне пластической деформации.

Схема штампа для формоизменения разжимным секционным пуансоном показана на рис. 1, а. Усилие прессы передается через верхнюю подвижную часть штампа 1 на разжимной пуансон 2, секции которого, перемещаясь относительно конусной оправки 5, расходятся по мере опускания верхней плиты штампа, при этом диаметр секционного пуансона и зазор между секциями z увеличиваются, а заготовка, надетая на секционный пуансон, пластически деформируется и приобретает форму пуансона. Если зазоры между секциями большие (при малом числе секций), то деталь может иметь заметную огранку между секциями пуансона. Поэтому число секций должно быть не менее 10-12. В исходное положение разжимной пуансон возвращается под действием толкателя 4, работающего от буферного устройства штампа или прессы.

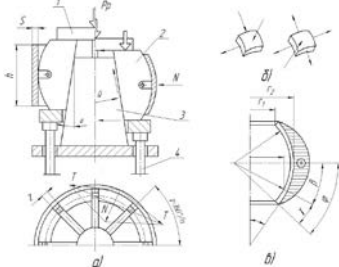


Рисунок 1 – Штамп для кольцевой обтяжки (а), механическая схема деформирования (б) и эпюра распределения напряжений (в)

заготовки, находящегося в зоне пластической деформации, строго говоря, также объемное.

При штамповке секционным пуансоном вся заготовка, в конечный момент формоизменения, охвачена пластической деформацией. Любой ее кольцевой участок растягивается в окружном направлении. При этом в соответствии с условием несжимаемости происходит уменьшение толщины стенки кольцевого участка и уменьшение ее ширины. Таким образом, деформированное состояние пластической зоны - объемное (рис. 1, б). Напряженное состояние элемента

Изготовление асимметричного полосового профиля переменной толщины с локальным изгибом.

Исаевич Л.А., Пушкевич В.И., Король В.А., Иваницкий Д.М.
Белорусский национальный технический университет

Одной из актуальных проблем нашей страны является импортозамещение. Рассмотрим в качестве примера данной проблемы, импортозамещение изделий из металла, а именно чеку тормозной колодки подвижного состава железной дороги. В настоящее время потребность данного изделия для Республики Беларусь составляет около 100 000 штук в год. С 2008 года на Минском вагоноремонтном заводе производится чека тормозной колодки в количестве 40 000 изделий в год, а остальная часть закупается в странах СНГ (в России и Украине). На Минском вагоноремонтном заводе чеку тормозной колодки изготавливают ковкой на пневматическом молоте. Данный процесс экономически невыгоден как с точки зрения трудоемкости, так и качества изготавливаемых изделий.

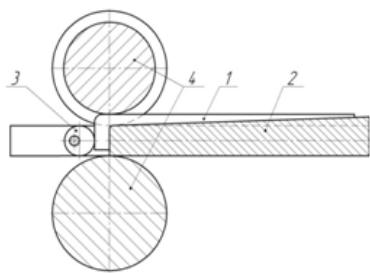


Рисунок 1 – Предлагаемая схема прокатки

Предлагаемая технология (рисунок 1) заключается в том, что 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 калибрующую оправку 2 и прокатывает переменный профиль. Затем отжимают кулачек 3 и снимают прокатанную заготовку переменного по длине профиля с торцевым ее локальным изгибом. Снижения уширения получаемого изделия можно достичь натяжением заготовки в момент прокатки, что в свою очередь обеспечивается рассогласованием скоростей движения валка и калибрующей оправки, осуществляется за счет того, что валок контактирует с оправкой ребрами, а бочка валка меньшего диаметра катится по заготовке.

Таким образом, изготавливаемое изделие получается более высокого качества, снижаются энергозатраты и повышается производительность.

Способы поверхностного пластического упрочнения рессорных подвесок большегрузных автомобилей

Исаевич Л.А., Иваницкий Д.М., Баранов Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Предлагаемый процесс поверхностного упрочнения заключается в дробной деформации при прокатке с созданием в поверхностном слое рессоры, полученной в результате формообразования, деформированной структуры параллельных канавок периодического профиля (рисунок 1).

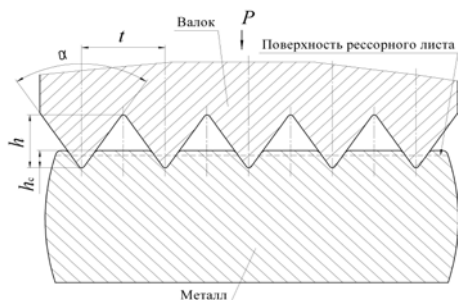


Рисунок 1 - Схема процесса деформирования

Данный профиль выполняют на вогнутой стороне рессоры, так как она наиболее подвержена действию растягивающих напряжений, а во втором исполнении – на обеих сторонах.

При центробежной обработке на обрабатываемую поверхность наносят последовательные удары рабочими элементами (шарами или роликами), свободно сидящими в радиальных отверстиях вращающегося диска. Рабочие элементы под действием центробежных сил занимают крайнее положение в радиальных отверстиях, а при ударе об обрабатываемую поверхность опускаются на глубину, равную натягу, отдавая энергию, создаваемую центробежной силой (рисунок 2).

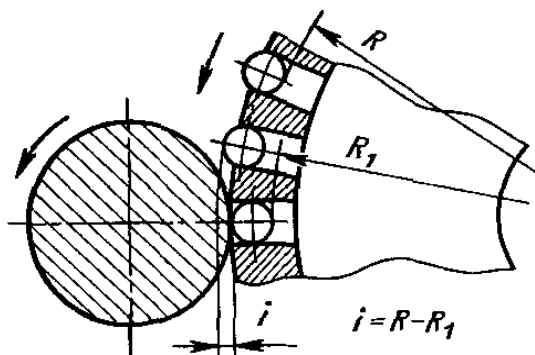


Рисунок 2 – Схема процесса центробежной прокатки

Композиционный двухслойный материал с порошковым антифрикционным слоем, полученный прокаткой, для подшипников скольжения

Белявин К.Е., Белый А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Композиционными двухслойными антифрикционными материалами называются комбинированные материалы на металлической подложке, на которой формируется антифрикционный рабочий слой. Передовым решением в разработке таких материалов является метод порошковой металлургии для создания на стальной подложке пористого бронзового слоя толщиной 0,25-1,0 мм.

В результате выполнения работы был проведен анализ способов и материалов, применяемых для получения подшипников скольжения, который показал, что наиболее перспективным является спекание с последующей прокаткой композиции Сталь 3 (толщина 1 – 1,5 мм) и БрОФ 10-1 (сферический порошок, фракция 0,3 – 0,4 и 0,4 – 0,63 мм).

Для улучшения контакта между стальным основанием и порошком бронзы предварительно проводили пластическую деформацию стальной пластины прокаткой, для получения сетки с зубом наклоном 60°, глубиной 3,23d (d – размер частиц порошка антифрикционного слоя).

Антифрикционный порошковый слой на пластину наносили методом свободной насыпки и подвергали спеканию в защитно-восстановительной атмосфере эндогаза при температуре 750 – 780 °С, в течении 50 – 60 мин, после этого проводили прокатку на прокатном стане Kalmag (диаметр бочки валков – 200 мм, скорость вращения – 3 об/мин, наибольшее давление металла на валки – 600 кН, мощность электропривода – 14 кВт).

Проведенные микроструктурные исследования полученных образцов показали, что после спекания на границе соединения порошка бронзы и стального основания наблюдается слой взаимодействия, толщиной 20 – 25 мкм.

В антифрикционном порошковом слое наблюдается равномерная пористость 25–35 %; поры при этом открытые и сообщающиеся. После проведения операции прокатки пористость уменьшилась до 12 – 15 %, причем материал сохранил свойство аккумулировать жидкие смазки. Проведенные триботехнических испытания показали, что коэффициент трения образцов составил 0,028 – 0,03, что соответствует требованиям, предъявляемым к антифрикционным материалам на основе бронзы.

Разработка конструкции и технологии производства луговых борон

Давидович А.Н., Лемеза А.Г., Давидович Л.М., Мазуренок А.В.,
Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

Луговые бороны применяются для вычесывания трав на пастбищах и лугах, разрыхления кротовин и продуктов жизнедеятельности крупного рогатого скота. Наиболее широко применяются в странах Европы с высоким уровнем культуры земледелия. В частности в Германии луговые бороны изготавливает и реализует фирма Кокерлинг. В Республике Беларусь луговые бороны типа БЛШ применяются, в основном в Гомельской и Брестской областях.

Существующая технология изготовления луговых борон предусматривает изготовление чугунных отливок, содержащих корпусную часть с ребрами жесткости, монтажные части для крепления к сетке и раме, а также конические зубчатые выступы, которые, собственно, и производят операцию боронования (рисунок 1). Недостатком данной бороны является низкая износостойкость зубьев из-за невысокой твердости чугуна. При этом после износа зубьев луговая борона восстановлению не подлежит.

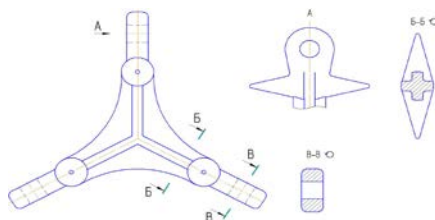


Рисунок 1 – Схема луговой бороны

Нами разработана сборная конструкция луговой бороны, которая содержит основание с монтажными частями, а также двусторонние зубья, закрепленные на основании с помощью замка патентуемой конструкции. Поскольку изготовление зубьев осуществляется отдельно, а форма и их размеры удовлетворяют условиям процесса поперечно-клиновой прокатки, то в качестве технологии изготовления выбран этот процесс. Вследствие высокой производительности прокатки и возможности её совмещения с операцией термообработки достигаются следующие преимущества – повышение стойкости зубьев за счет высокой твердости после термообработки, меньшие затраты на изготовление луговой бороны и возможность замены зубьев после износа.

Особенности механизации индукционного нагрева длинномерных заготовок малого поперечного сечения

Давидович А.Н., Лемеза А.Г., Давидович Л.М., Давидович В.А.,
Шиманович И.М.

Белорусский национальный технический университет

Особенностью длинномерных заготовок малого поперечного сечения является их полная потеря продольной устойчивости после нагрева под пластическую деформацию до температуры 1100-1200°C. Поэтому технологические приемы загрузки и выгрузки заготовки из индуктора требуют применения специальных механизмов. Примером таких заготовок может считаться заготовка стойки чизельного культиватора (рисунок 1). При поперечном сечении этих деталей 30×30мм длина развертки детали составляет 2500мм.

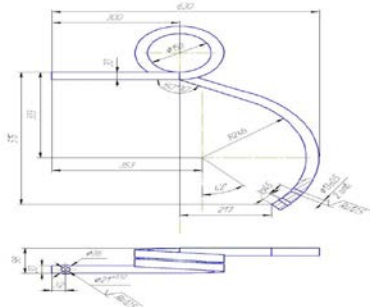


Рисунок 1 – Стойка чизельного культиватора

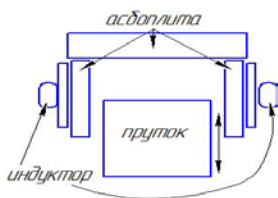


Рисунок 2 – Индукционный нагреватель

Традиционное транспортирование таких заготовок на проход по индуктору невозможно в силу указанной выше причины. Поэтому в качестве индукционного нагревателя выбрана конструкция с токопроводом П-образного типа (рисунок 2).

После размещения заготовки на рольганге вилочные опоры поднимают заготовку в индуктор, где она нагревается до нужной температуры. Затем вилочные опоры опускаются вниз ниже роликов, а заготовка остается на роликах. Далее включают привод роликов, и заготовка подается в зону формообразования.

Процесс полностью автоматизирован.

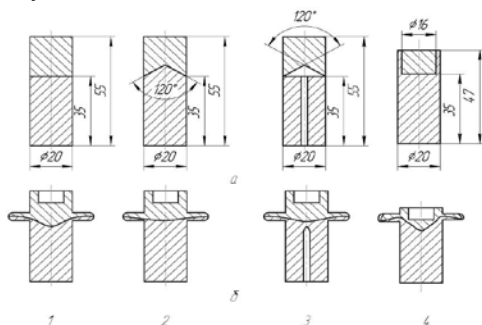
Результаты исследований скоростного горячего выдавливания биметаллического формообразующего инструмента на основе оптимизации формы и размеров исходной составной заготовки

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

Основная задача при создании металлических композиций заключается в обеспечении прочного соединения составляющих по всей поверхности контакта. При этом необходимо получить заданное соотношение толщин слоев составляющих, исходя из формы и размеров исходной составной заготовки.

Для исследования оптимальной формы контакта сопрягаемых поверхностей и возможности совместного течения в кольцевую проточку двух частей заготовки при получении биметаллического формообразующего инструмента рассмотрены варианты, представленные на рисунке 1.



а) – составные заготовки до нагружения; б) – составные заготовки после нагружения

Рисунок 1 – Схемы составной заготовки

Общим недостатком схем 1 и 4 является значительное искривление волокон в зоне шва, что приводит к снижению пластичности соединения, а следовательно к снижению прочности при динамических нагрузках. Эти схемы предпочтительней использовать при получении относительно неглубоких полостей. Схемы 2 и 3 позволяют получать практически ровный шов даже при формообразовании глубоких полостей, однако в случае со схемой 3, несмотря на снижение усилия деформирования в сравнении со схемой 2, полный физический контакт сопрягаемых поверхностей происходит на завершающей стадии формообразования, что снижает прочность соединения. Схему 3 предпочтительней использовать при наличии сложного рельефа полости и большей контактной поверхности для снижения усилия деформирования.

Моделирование пластического течения на основе использования DEFORM-3D при скоростном горячем выдавливании биметаллических формообразующих деталей штамповой оснастки

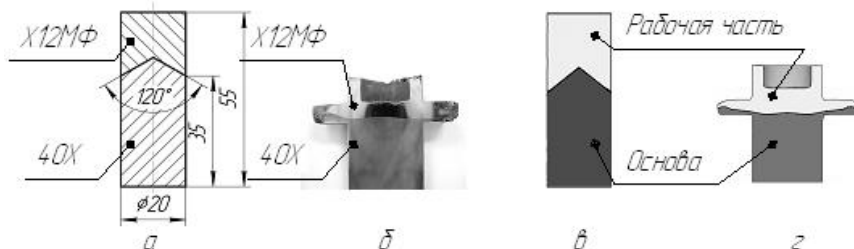
Качанов И.В., Ленкевич С.А., Власов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Альтернативой экспериментальному исследованию и теоретическому анализу является использование имитационного моделирования процессов объёмной штамповки с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

DEFORM-3D – мощная система моделирования технологических процессов, предназначенная для анализа трехмерного (3D) поведения металла при различных процессах обработки давлением.

Для получения данных о совместном пластическом течении двух сталей: основы 40X и рабочей части X12MФ, входящих в состав составной биметаллической заготовки (рисунок 1) при скоростном горячем выдавливании (СГВ) провели эксперименты по схеме с комбинированным выдавливанием (обратное и боковое) и построили модель в DEFORM-3D по заданным технологическим параметрам.



а) – эскиз составной заготовки; б) – экспериментальный образец, полученный СГВ; в) – модель составной заготовки; г) – модельный образец

Рисунок 1 – Вид натуральных и модельных биметаллических образцов

Сравнительный анализ пластического течения натуральных образцов и полученных моделей можно провести визуально по анализу образцов на рисунке 1, где видно значительное сходство в характере пластического течения сравниваемых образцов б) и г), а некоторые отличия обусловлены упрощениями принятыми для моделей и неучтенными физическими явлениями при деформации натуральных образцов. В целом же моделирование пластического течения биметаллических составных заготовок можно считать качественным и достоверным.

Моделирование процесса скоростного горячего выдавливания биметаллического инструмента для метизного производства

Кудин М.В., Евсеев М.М., Власов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы, является установление возможности изготовления навивочной оправки (далее – инструмент) методом скоростного горячего выдавливания с возможностью плакирования рабочей поверхности.

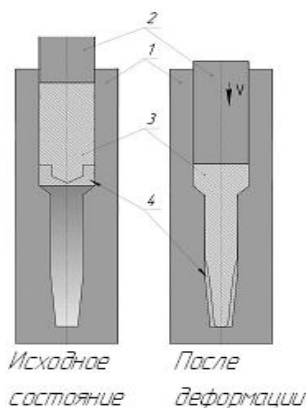


Рисунок 1 – Моделирование пластического течения составной заготовки в закрытом штампе при скоростном горячем выдавливании

штамповки с точным расчетом объёма заготовки.

Компьютерное моделирование проводилось с использованием математического пакета DEFORM-3D. Пластическое течение составной заготовки показало возможность одновременного формирования геометрии инструмента и плакирующего слоя на его рабочей части (рисунок 1).

Использование данной схемы изготовления инструмента позволяет достичь значительной экономии дорогостоящих штамповых сталей (до 90%), а также улучшить качество изделий за счет лучшей проработки структуры. При этом повышаются эксплуатационные характеристики инструмента.

Поставленная задача достигается тем, что предварительно нагретую до температуры штамповки составную заготовку 3 и 4, помещают в матрицу 1 и осуществляют выдавливание инструмента в ней путем высокоскоростного ударного воздействия на заготовку ударником 2 со скоростью 50-60 м/с. Заготовка выполнена составной из двух частей, при этом верхняя часть 3 выполнена из легированной конструкционной стали, а нижняя 4 – из высоколегированной штамповой стали. Формирование размеров и геометрии готового инструмента осуществляется за счет закрытой

**Исследование неравномерности деформации слоев
при комбинированной вытяжке полых двухслойных изделий**

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Данная работа направлена на совершенствование способов изготовления полых двухслойных тонкостенных изделий с целью повышения их качества. Проведенные исследования показали, что применение метода комбинированной вытяжки позволяет использовать для получения таких изделий составные заготовки из обычного монометаллического проката, взамен биметаллических. Это значительно снижает себестоимость многослойных изделий и делает рентабельным их изготовление даже в условиях мелкосерийного и единичного производства. Однако технологические возможности любого метода обработки определяются не только экономическими показателями, но и качеством получаемых изделий. Исследования показали, что двухслойные изделия, получаемые комбинированной вытяжкой из составных заготовок, характеризуются неравномерным соотношением толщин слоев как по длине изделия, так и по его периметру. Качество же полых двухслойных изделий в немалой степени определяется равномерной толщиной слоев при требуемом их соотношении. Еще одним важным показателем качества для некоторых групп двухслойных изделий является прочность соединения слоев.

Для установления причин неравномерной деформации слоев был проведен теоретический анализ совместного пластического деформирования составных двухслойных заготовок из разнородных металлов при комбинированной вытяжке. Было установлено, что причинами, приводящими к неравномерному соотношению толщин слоев в осевом и окружном направлениях, являются различие пределов текучести материалов слоев и модулей их упрочнения, соотношение толщин и расположение слоев в составной заготовке, анизотропия механических свойств материалов слоев, а также силы контактного трения на межслойной поверхности.

Проведенный теоретический анализ и полученные в результате экспериментальных исследований процесса комбинированной вытяжки закономерности позволили целенаправленно подойти к разработке технических решений, связанных с повышением качества полых двухслойных изделий различной формы и назначения при изготовлении их другими методами.

Изготовление полых двухслойных изделий комбинированными методами обработки металлов давлением

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

С целью расширения технологических возможностей получения полых двухслойных изделий с заданными характеристиками были проанализированы различные технологические схемы изготовления таких изделий с применением комбинированных методов обработки. При этом рассматривалась возможность получения полых двухслойных изделий различной формы из плоских и полых однослойных заготовок с высокой прочностью соединения слоев и требуемым соотношением их толщин в готовом изделии. Предложенные схемы предполагают применение различных технологических операций, таких как вытяжка, прямое и обратное выдавливание, обжим, раздача, волочение, дорнование и др.

Прочность соединения слоев в готовом изделии обеспечивается за счет создания замковых соединений. При пластическом деформировании материал более мягкого слоя заполняет микронеровности, канавки, локальные углубления, имеющиеся на поверхности заготовки более твердого слоя, обеспечивая прочное механическое зацепление слоев. Прочность соединения слоев определяется как величиной упругого натяга, так и суммарной площадью выступов замковых соединений. Форму и размеры замковых соединений выбирают такими, чтобы они обеспечивали требуемую прочность сцепления слоев в направлении наибольших сдвигающих усилий, действующих в процессе эксплуатации изделия.

Возможны два подхода при изготовлении таких изделий. В первом случае осуществляется обжатие заготовки по толщине стенки при незначительном (около 5%) уменьшении ее диаметра или вообще без его уменьшения. При этом замковые соединения создаются преимущественно за счет пластического деформирования заготовки более мягкого слоя одним из инструментов (матрицы или волоки, пуансона или дорна). Во втором случае имеет место существенная деформация и по толщине и по диаметру заготовки.

Создание замковых соединений возможно как при одновременном деформировании слоев составной двухслойной заготовки, так и при отдельном (последовательном) их деформировании. Метод последовательного деформирования заготовок слоев имеет более широкие технологические возможности и позволяет получать полые двухслойные изделия более сложных форм, с равномерной толщиной слоев по длине изделия и требуемым соотношением их толщин.

Материаловедение в машиностроении

Влияние полей упругих межфазовых деформаций на структуру и триботехнические свойства сплава Zr-2,5%Nb

Кононов А.Г., Кукареко В.А.

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Проведено исследование структуры и триботехнических свойств сплава Zr-2,5%Nb, подвергнутого интенсивному пластическому деформированию (ИПД) и отпуску, а также ионно-лучевой обработке азотом. Показано, что в деформированном состоянии сплав Zr-2,5%Nb имеет структуру твердого раствора α -Zr с ультрадисперсным зерном (≈ 100 нм). После отпуска деформированного сплава при температурах 670–770 К в нем регистрируется выделение наноразмерных частиц β -Nb, приводящих к формированию в сплаве мощных полей упругих межфазовых деформаций ($\Delta V/V < 0$), вызывающих моноклинные искажения кристаллической решетки выделяющихся частиц (рисунок). Исследованы триботехнические характеристики сплава Zr-2,5%Nb после ИПД и отпуска. Показано, что повышение износостойкости деформированного сплава после кратковременного отпуска при 670 – 770 К обусловлено частичной релаксацией упругих межфазовых деформаций, приводящей к уменьшению уровня растягивающих напряжений в окрестностях межфазовых границ. Снижение износостойкости сплава при длительных изотермических выдержках вызвано образованием микропор на межфазовых границах, способствующих ускоренному зарождению и распространению микротрещин.

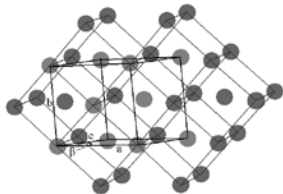


Рисунок – Схема моноклинно-искаженной кристаллической решетки частиц β -Nb, выделяющихся в сплаве Zr-2,5%Nb при отпуске.

Исследовано влияние ионно-лучевой обработки азотом деформированного сплава Zr-2,5%Nb на его структурно-фазовое состояние и триботехнические характеристики. Показано, что максимальный уровень износостойкости азотированного слоя достигается после обработки сплава ионами азота при 820 К, приводящей к выделению в нем нитридов циркония и формированию упругодеформированных выделений высокотемпературной фазы β -Zr ($\Delta V/V > 0$). Снижение износостойкости сплава,

подвергнутого ионно-лучевой обработке азотом при 870 К, обусловлено протеканием процессов релаксации упругих межфазовых деформаций, приводящих к снижению уровня сжимающих напряжений на границе матричной фазы α -Zr и частиц высокотемпературной фазы β -Zr.

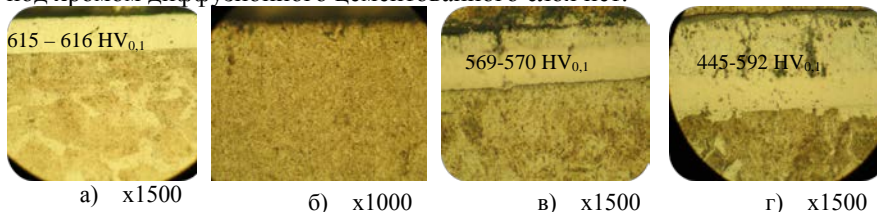
Структурообразование карбидизированных хромовых покрытий

Гурченко П.С.¹, Синиченко Т.Н.¹, Штолик Т.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет,
²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Целью работы являлось исследование структуры и свойств образцов из стали 40Х с электролитическим хромовым покрытием после цементации в печи «IPSEN» с последующей закалкой и низким отпуском и цементации в печи Ц-105 с последующим охлаждением на воздухе.

На рисунке 1 приведены микроструктуры образцов из стали 40Х с электролитическим хромовым покрытием и без после различных режимов термической и химико-термической обработки. Микроструктура образца из стали 40Х с Cr-покрытием без термической обработки (рисунок 1,а) имеет слой хрома. На поверхности образца из стали 40Х (рисунок 1, в) слой хрома с поверхности претерпел в результате химико-термической обработки (ХТО_ диффузионное превращение примерно на 1/3 толщины. На поверхности образца из стали 40Х с Cr-покрытием (рисунок 1, г) произошла карбидизация хромового покрытия на 2/3 толщины слоя хрома, под хромом диффузионного цементованного слоя нет.



а) (толщина 15 мкм) без ТО; б) без покрытия +цементация в печи «IPSEN» с последующей закалкой и низким отпуском; в) (толщина 15 мкм) + цементация в печи «IPSEN» с последующей закалкой и низким отпуском; г) (толщина 30 мкм) +цементация в печи Ц-105

Рисунок 1 - Микроструктура образца из стали 40Х с Cr-покрытием

По данным рентгеноструктурного анализа в результате цементации происходит карбидизация хромовых покрытий с образованием следующих соединений: $Cr_{23}C_6(420)$, $Cr_{23}C_6(422)$, $Cr_{23}C_6(440)$, $Cr_{23}C_6(620)$, $Cr_7C_3(202)$, $Cr_7C_3(402)$, $Cr_7C_3(800)$, $Cr_7C_3(811)$. При этом наблюдаются отдельные участки хромового покрытия – Cr (200). Химико-термическая обработка электролитического хромового покрытия путем газовой цементации и последующей закалки по стандартным режимам приводит к карбидизации электролитических хромовых покрытий с образованием устой-

чивых карбидов хрома, что в значительной степени будет влиять на триботехнические ха-

рактеристики и долговечность.

УДК 678:621

Триботехнические испытания стали 40X после поверхностного упрочнения

Ахмед М.Ш., Назарова О.И.

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

Изучены возможности упрочнения стали 40X путем ионно-плазменного азотирования (ИПА) и комбинированным методом, включающим электронно-лучевую закалку (ЭЛЗ). Исследования по выбору режимов ИПА и ЭЛЗ проводили на созданных в Физико-техническом институте НАН Беларуси промышленных комплексах оборудования. ЭЛЗ выполняли на установке с мощностью луча до 15 кВт. В оборудовании ИПА мощность разряда – до 60 кВт. В качестве рабочей среды при азотировании применяли газовые смеси, состоящие из водорода, азота и аргона. Триботехнические испытания проводились в режиме сухого трения с нагрузкой 1 МПа по схеме возвратно-поступательного перемещения образца (с размерами 8×5×6 мм) по контртелу (90×30×3 мм) из стали У8 с твердостью 8,1 ГПа. Величина износа образцов измерялась по потере массы при испытаниях. Интенсивность изнашивания определялась с помощью выражения $I_q = \Delta q / L$, где Δq – масса изношенного вещества, удаленного с поверхности образца за единицу пути трения L. Видно, что интенсивности изнашивания образцов, подвергнутых всем вариантам поверхностного упрочнения, в 40-79 раз ниже по сравнению с исходным состоянием.

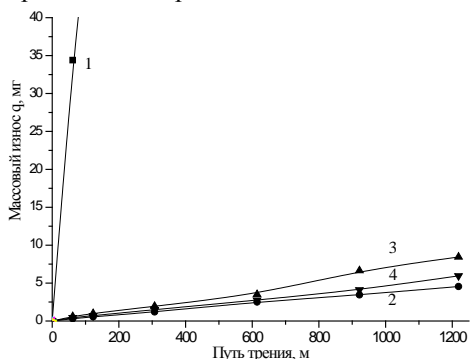


Рисунок - Результаты испытаний на износ образцов из стали 40X, подвергнутых различным видам упрочняющей обработки: 1 - исходная (закалка + отпуск, $T=600^{\circ}\text{C}$); 2 - исходная + ЭЛЗ; 3 - исходная + ИПА; 4 - исходная + ИПА+ЭЛЗ.

УДК 621.791

Структурообразование наплавленных покрытий системы Fe-Л.Э.-С-N-B

Стефанович В.А., Стефанович А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы являются структурообразование наплавочных покрытий из стружечных отходов инструментальных сталей, подвергнутых диффузионному легированию (ДЛ).

Для исследований были выбраны стружечные отходы штамповых и инструментальных сталей. Насыщение углеродом; углеродом и азотом; углеродом, азотом и бором инструментальных сталей проводили в порошковых смесях на основе углеродо-, азотосодержащих солей и карбида бора при температурах от 550 до 1050 °С в течении 1, 2, 4 часов.

Большая концентрация углерода в стружке после ДЛ углеродом отходов формирует структуру наплавленного покрытия характерную для доэвтектического белого чугуна. Эвтектика состоит из смеси карбидов и продуктов распада аустенита, а дендриты из мартенсита и аустенита остаточного. Количество эвтектики в структуре составляет 70–80%, а аустенита остаточного в дендридах незначительное количество менее 10%.

Для структур наплавленных покрытий предварительно подвергнутых ДЛ углеродом и азотом есть определенные отличия. Как показывает металлографический анализ, дендриты представляют собой смесь аустенита с иглами мартенсита, по границам которых располагается вырожденная эвтектика и по всему сечению структуры равномерно распределены нитриды.

При ступенчатом предварительном ДЛ вначале азотом и углеродом, а затем бором формируется структура наплавленного покрытия, состоящая из дендридов и эвтектики. Количество эвтектики в структуре наплавленного покрытия зависит от количества бора. В наплавленном покрытии количество эвтектики может достигать до 60–80%, а содержание аустенита в аустенитно-мартенситной матрице до 80–90%.

УДК 621.785.5

Технология низкотемпературного диффузионного упрочнения крупногабаритных валков для профилированной накатки стального листа

Ситкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Крупногабаритные валки для профилированной накатки стального листа (металлочерепица, профнастил) эксплуатируются в условиях интенсивного

изнашивания при значительных контактных давлениях, в результате чего температуры на выступающих рабочих поверхностях валков за счет сил трения могут превышать 500°C. Вследствие этого для обеспечения повышенной стойкости накатных валков при их изготовлении целесообразно использовать высоколегированные инструментальные стали повышенной износостойкости и теплостойкости в сочетании с оптимальными параметрами термической обработки и последующего термодиффузионного упрочнения. Рекомендуемые стали для изготовления крупногабаритных валков для профилированной накатки стального листа: Х6ВФ, 6Х6ВЗСМФ, 6Х4М2ФС, 6ХЗВЗМФС, Х12М, Х12Ф1, Х12МФ. Термическая обработка крупногабаритных валков из данных сталей: закалка с температур нагрева 980–1050 °С, отпуск при температурах 550–560°C. Твердость после термообработки не менее 52–56 HRC. После термической обработки крупногабаритных валков для профилированной накатки стального листа проводится окончательная механическая обработка для устранения неизбежных последствий термообработки – деформации, коробления, окисление и обезуглероживание поверхностного слоя. Изготовленные в окончательный размер крупногабаритные валки для профилированной накатки стального листа подвергаются процессу диффузионного упрочнения, основанному на применении новых видов диффузионоактивных смесей, контактирующих с рабочими частями готовых, изготовленных в окончательный размер изделий. Диффузионное химико-термическое упрочнение проводится при температурах 540–550 °С (на 10–20 °С ниже, чем температура отпуска) в обычных камерных печах с воздушной атмосферой. Время диффузионного упрочнения крупногабаритных валков для профилированной накатки стального листа 10–12 часов после полного прогрева контейнера, в который помещается валок и засыпается диффузионоактивной смесью для проведения ХТО.

УДК 620.22

Разработка новой методики нанесения диоксида циркония на зубные коронки

Хома М.Ю., Поболь И.Л.

Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск

К зуботехническим материалам для изготовления несъемных ортопедических конструкций предъявляются многочисленные требования. При этом набор желательных характеристик к конечному изделию – коронке, зубному протезу – претерпевает изменения со временем. Считавшийся ранее цвет «под золото», присущий нитриду титана, до сих пор применяемый и считающийся «престижным» у определенной категории пациентов, не имеет большие перспективы применения в будущем. В настоящее время пациенты хотят, чтобы коронки не выделялись на фоне здоровых зубов.

Для этих целей наиболее приемлемым материалом является диоксид циркония. Он имеет высокие прочностные характеристики и схож с цветовыми характеристиками естественных тканей зуба. Единственной проблемой является высокая цена этих коронок и протезов.

Сейчас металлокерамические коронки с покрытием из диоксида циркония изготавливают золь-гель методом. Данный метод трудоемкий и требует послойное нанесение диоксида циркониевого золя, на подготовленную поверхность коронки, с сушкой каждого слоя. Далее коронку с нанесенной керамической массой, подвергают спеканию в печи при температуре 1500 °С. Поэтому полученные металлокерамические коронки имеют высокую цену; разрабатываются новые методики получения металлокерамических коронок с покрытием из диоксида циркония, которые должны существенно снизить их стоимость. В качестве одного из вариантов выбран метод нанесения покрытия из диоксида циркония с электронно-лучевым испарением. Для этой цели используется установка ВУ-1А. С помощью электронного луча испаряется навеска диоксида циркония, легированного 5-9 % иттрия. Пары осаждаются на подложки размерами 9x9 мм из нержавеющей стали X18H9T (этот материал разрешен к применению в стоматологии). В результате напыления в течение 2-8 мин наносится требуемое покрытие белого цвета из диоксида циркония. В ходе работы подтверждена возможность нанесения диоксида циркония на зубные коронки методом электронно-лучевого испарения.

УДК 621.81:539.382

Макролокализация пластической деформации и сопротивление усталости материалов деталей машин

Сидоренко А.Г.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Изменение состояния материала при циклическом нагружении является гипертрофированно локальным, многостадийным, кинетическим процессом. Важнейшей его особенностью является развитие в стали неомогенной макропластической (макролокализованной) деформации, предшествующей разрушению. Показано, что одним из основных факторов, ответственным за ее существование является химическая и структурная неоднородность зерен, их приграничных объемов, которая определяет склонность к макролокализации пластической деформации.

Для оценки изменчивости характеристик сопротивления усталости в связи с данной неоднородностью использованы основные положения кинетической теории механической усталости проф. Почтенного Е.К. На

примере испытанных образцов из малоуглеродистых и низколегированных сталей в состоянии после нормализации, отжига и после охлаждения в воде с 515–540 ° установлено следующее. Наиболее чувствительным параметром является коэффициент выносливости (Q). Снижение склонности к локализации деформации приводит к существенному росту долговечности (увеличению параметра Q в 1,5–2 раза при изменении (росте) на 12–15 % пределов выносливости. Параметр v_0 , который вместе с пределом выносливости определяет угол наклона кривой усталости, изменяется незначительно. Число циклов до точки нижнего перегиба кривой усталости (N_G) определяется величиной предела выносливости и коэффициентом выносливости. Причем, для однотипных объектов с одинаковой склонностью к макролокализации пластической деформации, этот коэффициент, по-видимому, можно считать величиной постоянной, что позволяет использовать параметры Q , v_0 и σ_R для прогнозирования долговечности.

Показано, что значительной информативностью о характере локального деформирования в зависимости от состояния границ зерен обладает метод демпфирующей способности. В этом случае он может выступать в качестве одного из способов оценки склонности стали к макролокализации пластической деформации, а применение его в качестве меры усталостного повреждения может быть использовано для установления зависимости между характеристиками сопротивления усталости и рассеянием энергии.

УДК 669.58

Анализ формирования цинковых диффузионных слоев в условиях распада пересыщенного твердого раствора (мартенсита)

Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

При реализации процессов термодиффузионного цинкования (ТДЦ) в общем цикле термической обработки изделий интерес представляет влияние структуры, сформированной предварительной термической обработкой (закалкой) на характер роста интерметаллидных диффузионных слоев. При формировании диффузионных слоев на основе цинка большое значение имеет структура подложки, на которой происходит диффузионное взаимодействие атомов насыщающего элемента и насыщаемой основы. С учетом температурного интервала протекания процессов ТДЦ (380 – 420 °С), формирование диффузионного цинкового слоя на изделиях после закалки на мартенсит происходит в условиях распада пересыщенного твердого раствора (мартенсита). Следует учитывать, что, в зависимости от марки стали и степени ее легирования, принимая во внимание различную устойчивость мартенсита к термическому воздействию, формирование

диффузионного цинкового слоя может происходить в условиях полного и неполного распада мартенсита. В случае использования легированных сталей с мартенситной структурой после закалки, устойчивой к термическому воздействию при температурах протекания процессов ТДЦ, реализация стадий ХТО, будет происходить в условиях неполного распада пересыщенного твердого раствора (мартенсита). Рассматривая процессы диффузионного взаимодействия атомов цинка с поверхностью пересыщенного твердого раствора (мартенсита) следует учитывать влияние структурных напряжений на характер диффузии атомов железа. Формирование диффузионного слоя на мартенситной подложке будет происходить активнее по сравнению с ферритно-перлитной подложкой, т.к. большинство стадий ХТО будет реализовываться в условиях распада мартенсита, предоставляя больше путей диффузии для реализации стадий 4, 5 (см. таблицу 2). С одной стороны, легирование карбидообразующими элементами затрудняет реализацию элементарных стадий ХТО, так как наличие легирующих элементов будет препятствовать взаимной диффузии атомов Fe и C. С другой стороны, с учетом того, что для легированных карбидообразующими элементами сталей наблюдается торможение процессов распада мартенсита, реализация стадий формирования диффузионного слоя в такого рода сталях может быть интенсифицирована, за счет сохранения большей степени дефектности насыщаемой подложки по сравнению с углеродистыми сталями.

УДК 669.58

Управление составом продуктов коррозии диффузионных покрытий на основе цинка

Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

Изучение продуктов коррозии после длительного времени выдержки (13-16 лет) в различных типах атмосфер показало, что образование основных солей цинка (симонколлеита и гидроцинкита) значительно улучшает долговременную защиту от коррозии. Присутствие в поверхностной зоне цинковых покрытий атомов металлов позволяет изменять состав продуктов коррозии на оцинкованных изделиях, повышая их стойкость к дальнейшему коррозионному разрушению, снижая интенсивность коррозионного разрушения защитного покрытия в целом. Образование основных солей цинка (симонколлеита и гидроцинкита) значительно улучшает долговременную защиту от коррозии. Присутствие магния в легированных покрытиях влияет на механизм торможения коррозии на различных стадиях коррозионного разрушения. Во многих случаях магний является более

электроактивным чем цинк, что повлечет изменение гальванических характеристик. Продукты коррозии, сформированные под воздействием примесных элементов и коррозионного воздействия окружающей среды должны быть электрически не проводимыми и компактными. Для цинка природа проводимости его продуктов коррозии зависит от химического состава, так как большинство продуктов коррозии цинка не проводят ток за исключением ZnO , который является полупроводником n-типа. Компактность продуктов коррозии зависит от специфических кинетических характеристик их строения и особо чувствительна к параметрам окружающей среды и истории формирования. В присутствии ионов Cl^- и диоксида углерода продукты коррозии цинка также могут содержать $Zn_5Cl_2(OH)_8 \cdot H_2O$ (симонколлеит, гидроксихлорид цинка $ZnHC$), $Zn_4CO_3(OH)_6$ (гидроцинкит), $ZnCO_3$ (смиссонит). Формирование определенных продуктов коррозии может быть достигнуто посредством изменения термодинамического равновесия системы, что может быть достигнуто изменением состава сплава, электролита и/или состава насыщающей смеси. Выборочное, целенаправленное легирование цинковых покрытий атомами примесных металлов позволяет формировать на поверхности изделия защитные пленки более стойкие к воздействию внешних механических и химических факторов, повышая срок эксплуатации изделия в целом.

УДК 621.81

Исследование фрикционной искробезопасности диффузионных покрытий

Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что для повышения искробезопасности стали может проводиться различная химико-термическая обработка, в частности, борирование. Бориды железа, составляющие диффузионный слой, практически не искрят при тех же условиях фрикционного контакта, что и сталь без обработки. Предполагается, что такой эффект достигается образованием легкоплавкого борного ангидрида на поверхности оторванной частички при высокотемпературном окислении. Однако боридный диффузионный слой обладает сильной скальваемостью и непригоден для большинства изделий.

На основании теоретических положений было проведено несколько различных видов химико-термической обработки: борирование, боротитанирование, боро-хромирование, боросилицирование, однофазное борирование. Исследован ряд диффузионных слоев на стали 40ХФА после таких видов химико-термической обработки. Были проведены измерения микротвердости диффузионных слоев, сделаны фотографии ряда микроструктур.

Испытание на искрообразование всех полученных диффузионных покрытий проводилось на специальной установке для оценки искро-образования материалов и покрытий. Так же для сравнение было проведено испытание на искрообразование стали 40ХФА без покрытия. При испытании производился удар образца с определенным усилием о вращающийся абразивный круг и первые секунды искрения поверхности записывались на видеокамеру в высоком качеством съемки. Для повышения чистоты эксперимента абразивный круг использовался только один раз для определенного образца. Выводы об искрообразовании того или иного диффузионного слоя делали исходя из анализа полученных записей. Из результатов данных испытаний очевидно, что наивысшей искробезопасностью обладают боросилицированные диффузионные слои. Однако, кроме боросилицирования достойный результат показало борохромирование. Также нужно отметить, что борохромированные диффузионные слои выгодно отличаются своей высокой твердостью и износостойкостью, что объясняется наличием в диффузионном слое высокотвердых боридов, легированных хромом. В тоже время при боросилицировании проходил процесс преимущественно силицирования, и относительно мягкие силициды не обеспечивают должной износостойкости поверхности.

УДК 621.81

**Особенности влияния структуры и свойств
наплавленных покрытий на искрообразование
при истирании абразивным кругом**

Дашкевич В.Г., Бакиновский А.А.

Белорусский национальный технический университет

Разработка составов искробезопасных материалов и покрытий с целью применения в производственных условиях обуславливает необходимость испытаний покрытий в специализированной лаборатории по СТБ 11.05.04-2007. Существующая методика оценки поджигающей способности в паровоздушных смесях не распространяется на узлы и детали горношахтного оборудования, а также на оборудование, для которого фрикционные искры являются характерными при эксплуатации и не носят случайный характер. Методика не позволяет моделировать режим соударения со значительной энергией удара, плохо подходит для выбора варианта покрытий в лабораторных условиях и для сопоставительного анализа различных вариантов покрытий близких по характеристике искробезопасности. Один из вариантов лабораторных испытаний при исследовании искробезопасных покрытий – истирание образцов вращающимся абразивным диском. Образование искр в этом случае

зависит от зернистости, твердости, скорости вращения диска, а также от силы, с которой образец прижимается к диску. В нашем случае испытание проводили на специальной лабораторной установке для обеспечения безопасных условий прижима образца к абразивному диску и повторяемости экспериментов по динамике соударения образца и абразивного круга в момент контакта.

Известно, что температура искр образующихся при истирании образца вращающимся абразивным диском заметно снижается при легировании углеродсодержащих сплавов карбидообразующими элементами (Cr), элементами образующими легкоплавкие оксидные пленки (В).

Исследования проводились для образцов с покрытием которые наплавлены газопламенным способом порошком на никелевой основе (до 20 % Cr; до 4 % С; до 4 % В; до 5 % Fe ост Ni). При изменении твердости поверхности таких образцов в пределах 35-45 HRC искробразование увеличивалось как по количеству, так и увеличивалось количество слабозвездчатых пучков искр. Искры в этом случае «прилипают» к поверхности шлифовального диска.

Исходный параметр шероховатости напыленных (с последующим оплавлением) покрытий, который варьировался в пределах Ra 50-Ra 12,5 (1-3 класс шероховатости) не оказывал видимого влияния на искробразование.

УДК 621.774

Анализ основных факторов влияющих на хладостойкость сталей

Галимский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Горячекатаные трубы по ГОСТ 633 для групп прочности К, Е, Л применяют в процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин для транспортировки жидкостей и газов внутри обсадных колонн, а также для ремонтных и спускоподъемных работ.

Условия эксплуатации насосно-компрессорных труб нефтегазового сортамента весьма разнообразны: интервал рабочих температур от -60 до 150-200 °С, знакопеременные нагрузки, коррозия под напряжением в среде сероводорода. Поэтому они должны быть изготовлены из сталей, обладающих достаточно высокой прочностью и пластичностью, сопротивлением усталостному и хрупкому разрушению.

Одной из особенностей эксплуатации данных труб является применение их в условиях климатического холода. С этим фактором и связаны проблемы производства труб северного исполнения. Работоспособность данных труб определяют не только высокие механические показате-

ли в соответствии с требованиями нормативной документации ГОСТ 633 (группы прочности К, Е, Л) но и ударная вязкость при отрицательных температурах ($KCV_{-60} \geq 50$ Дж/см²). Также важным показателем надежности труб в северном исполнении является температура перехода в хрупкое состояние t^{50} , которая гарантирует стабильность структуры при отрицательных температурах ($DVC \geq 50\%$).

Высокая хладостойкость сталей обеспечивается снижением содержания углерода, высокой чистотой по вредным примесям (особенно по фосфору) выгодным распределением фосфора в структуре стали, микроструктурой стали. Оптимальной является структура сорбита отпуска, которая получается после сквозной закалки на мартенсит по всему сечению трубы и высокого отпуска, т.е. после улучшения. Известно, что в среднеуглеродистой стали при содержании фосфора порядка 0,003% ударная вязкость и температура перехода в хрупкое состояние практически не зависят от балла зерна аустенита.

Рынок указанных труб достаточно широк. Поэтому научно-техническое обоснование, а так же сопровождение производства и расширения сортамента таких труб является актуальной задачей.

УДК 621.794.61

**Физико-механические свойства алюмооксидной керамики,
полученной методом высоковольтного
электрохимического оксидирования при низких температурах**

Соколов Ю.В., Паршуту А.А.

Научный инженерный центр «Плазмотег» Физико-технического института
НАН Беларуси,
Белорусский национальный технический университет

Наиболее простым и надежным способом защиты алюминия и его сплавов от коррозии является химическое и электрохимическое оксидирование. Сформированная в результате анодного окисления металла оксидная пленка состоит в основном из кристаллической модификации оксида алюминия Al_2O_3 . В зависимости от условий получения оксидных пленок их свойства могут изменяться, и соответственно будет изменяться степень влияния на эксплуатационные характеристики деталей.

Снижение температуры раствора электролита оксидирования позволяет устранить такой фактор как травление растущей оксидной пленки. Однако температура ниже 0°C также препятствуют росту пленки, так как замедляется вытравливание пор и барьерный слой значительно увеличивается. В результате происходит образование более мягких или порошкообразных покрытий, которые впоследствии можно без труда удалить. По этой

же причине покрытия не обладают одинаковой твёрдостью и сопротивлением износу по всей плёнке, эти показатели снижаются по мере приближения к внешнему краю образца. Повышение напряжения способствуют росту пленки и могут приводить к возникновению прожогов или возникновению микродуговых разрядов, что приводит к разрушению однородности покрытия.

Оптимальными режимами для высоковольтного электрохимического оксидирования являются температуры не ниже 5°C.

Температура, °С	Микротвёрдость, HV 0,05	Параметр шероховатости, мкм	Напряжение пробоя, В
18	460	0,320	1800
5	620	0,270	>2000

Использование пониженной температуре благоприятствует образованию более твёрдых покрытий. Всегда существует баланс между образованием оксидной плёнки и её повторным растворением в электролите и таким образом осуществляется как регулирование верхнего предела её толщины, которую можно получить при любых определённых условиях обработки, так и контролирование её свойств.

УДК 621.794.61

Получение глянцевых покрытий алюмооксидной керамики на сплаве Д16

Соколов Ю.В., Смягликов И.П., Паршуту А.А.

Научный инженерный центр «Плазмотег» Физико-технического института НАН Беларуси,

Белорусский национальный технический университет

Получение глянцевых или блестящих оксидных покрытий на сплавах алюминия широко применяется в защитно-декоративных и строительных областях промышленности. Основными требованиями выступают однородность и износостойкость. Однако с увеличением толщины пленки снижается отражающая способность пленок алюмооксидной керамики. Важнейшим требованием к получению глянцевых пленок являются материал основы и предварительная подготовка поверхности, перед процессом оксидирования. Для достижения хорошего результата поверхность детали должна быть хорошо отполирована и очищена, а в качестве материала выступают сплавы алюминия с низким содержанием примесей. В результате получают блестящие покрытия толщиной до 10 мкм.

Одним из наиболее распространенных сплавов для изделий сложной формы и высокой прочности является дюралюминий с основными леги-

рующими элементами, которыми являются медь (до 5 %), магний (1,6 %) и марганец (0,7 %). Наличие примесей негативно сказывается как на толщине, так и на отражающей способности пленок оксида алюминия.

В качестве предварительной подготовки применяются растворы химического глянцеваания на основе фосфорных, серных и азотистых кислот. Однако они не позволяют получать блестящую поверхность на сплаве алюминия Д16. Повышение качества поверхности основы может быть достигнуто при использовании технологии электролитно-плазменной обработки для предварительной подготовки алюминиевых образцов вместо химической полировки. В результате параметр шероховатости поверхности образца из сплава алюминия Д16 составил 0,110 мкм. Последующее оксидирование в щавелевокислом электролите (40 г/л щавелевой кислоты), методом высоковольтного электрохимического оксидирования приводит к получению непрозрачных глянцевых покрытий серого и светло-серого цвета. Параметр шероховатости пленок составляет около 0,150 мкм при времени обработки 40 мин и толщине 20 мкм.

Представленная методика позволяет получать глянцевые покрытия на различных сплавах алюминия, при этом сокращается количество операций предварительной подготовки деталей.

УДК 621. 785

Предпосылки формирования наноразмерной структуры при термической обработке углеродистой стали

Бетень Г.Ф., Андрушевич А.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

На современном этапе развития материаловедения, требуемые конструктивные прочность, надежность, долговечность, износостойкость стальных деталей достигаются путём целенаправленного формирования в них субмикро- и нанокристаллического состояния структуры. Получение изделий с наноструктурированным объёмным строением является одним из наиболее перспективных и востребованных подходов в использовании конструкционных материалов с уникальным сочетанием их служебных свойств.

Достижение нанокристаллического состояния в сталях в процессе термической обработки обусловлено особыми термодинамическими факторами, которые возникают при определенных технологических режимах. Наноструктурные состояния мартенсита являются сильно неравновесными, и их формирование и сохранение существенно зависит от кинетических условий воздействия на сталь. Для мартенситного превращения при традиционных режимах закалки необходимо переохлаждение относитель-

но равновесной точки только на 200-250⁰С. Образование нанокристаллического состояния мартенсита предполагает уже степени переохлаждения порядка 600-650⁰С при разности свободных энергий аустенита и мартенсита порядка 1300Дж/моль. Такой мартенсит образуется в результате интенсивного охлаждения при переохлаждении до температур 80 - 20⁰С, и может иметь фрагментированную структуру кристаллов порядка 0,06 – 0,1 мкм (60 - 100нм) с высокой плотностью дислокаций.

Проведенными экспериментами по закалке углеродистых сталей с использованием технологии импульсного закалочного охлаждения и низкого отпуска установлена возможность формирования элементов наноразмерной структуры мартенсита, обеспечивающей оптимальное соотношение прочностных и эксплуатационных характеристик стальных деталей.

УДК 669.041

Комплекс энергосберегающих технологий термической обработки стальных деталей

Синиченко Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

Работа направлена на создание новых и оптимизацию существующих технологий термической обработки конструкционных сталей путем регулирования температурно-временных параметров режимов термической обработки и рациональной замены видов термической обработки на менее энергоемкие с сохранением требуемого уровня механических и эксплуатационных свойств.

На Минском автомобильном заводе в рамках выполнения ряда заданий ГППНИ «Металлургия» проведены исследования, направленные на изыскание резервов экономии энергоресурсов в процессе термической обработки стальных поковок. На основании технико-экономических показателей в технологический процесс улучшения крупногабаритных поковок (320×56 мм) выполненных из сталей марок 35, 40Х, 45 были внесены изменения. Нагрев под закалку (900 °С) сократили с 90 мин. до 50 мин.. Сокращение нагрева не привело к снижению механических свойств: прочность (825 МПа), ударная вязкость (160 Дж/м²), твердость (НВ 235) изделий соответствовали требованиям технологического процесса. Исследования микроструктуры и прочностных свойств деталей из стали 40ХН, позволили отказаться от предварительной нормализации поковок, а оставить закалку и высокий отпуск. На технологию составлена технологическая инструкция ТИ АТЮФ 530.00.12 «Энергосберегающая оптимизация термической обработки детали 64221-2979030 «палец» от 17.12.2009 г., разработан временный технологический процесс «Упрочнение методом объем-

но-поверхностной закалки с применением индукционного нагрева колец подшипников из стали У8А». Использование энергосберегающего технологического процесса в кузнечном производстве позволяет ежегодно экономить 14 094,0 м³ природного газа и 8 174,4 кВт электроэнергии, что обеспечивается освобождением мощности агрегата APN-1800G на 13,5 часов в месяц. В результате проведенных исследования по разработке энергосберегающих технологий получен акт практического использования технологии на РУП «МАЗ». Способ термического упрочнения заявлен как изобретение «Устройство для охлаждения металлических изделий» № а 20101850 от 20 декабря 2010 г. и «Способ закалки металлических изделий» № а20101800 от 14 декабря 2010 г.

УДК 681.3

Создание мультимедийных учебников для студентов технических университетов

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Современная практика преподавания в техническом университете требует систематического сопровождения иллюстративным материалом, который излагается в виде лекций и практических занятий. Электронные презентации до сих пор остаются одним из важнейших звеньев общения студента и преподавателя. Конечно, часть материала может быть выложена в интернете в виде методических пособий. Мультимедийные пособия являются наиболее эффективным способом изложения материала для современной молодежи.

Как показывают исследования, человек по-разному воспринимает информацию. Прочитанная информация запоминается в среднем на 15-20%. Прослушанная информация остаётся в памяти в объеме около 30%. Увиденная информация – тоже около трети первоначальной. А сочетание всех трех способов восприятия приводит к эффекту около 75% запоминания.

Наиболее продвинутое программное обеспечение для создания мультимедийных пособий самого разного типа предложено фирмой SunRav (<http://www.sunrav.ru>). С помощью программы SunRav BookEditor можно создать электронные книги, учебники, электронный словарь или энциклопедию, HTML-документы, СНМ-документы, PDF-документы (функция доступна в лицензии – SunRav BookOffice.PDF), документы в произвольном формате (с помощью шаблонов). Дополнительно программа позволяет компилировать книги в EXE файлы, что обеспечивает их полную автономность и защиту от редактирования.

Модифицирование пластичных смазок наноразмерными алмазно-графитовыми добавками

Жорник В.И.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Введение наноразмерных добавок в пластичные смазки представляет значительную технологическую сложность, что связано с характерной трехмерной структурой дисперсной фазы пластичных смазок, имеющей вид связанных друг с другом волокон из солей высокомолекулярных кислот. Применение высокоэнергетических диспергирующих устройств для измельчения агломератов наночастиц, введенных в готовую пластичную смазку, невозможно, так как в процессе диспергирования будет происходить интенсивное механическое разрушение волокнистой структуры дисперсной фазы смазки. Наряду с этим частицы наноразмерной добавки остаются в дисперсионной среде незакрепленными в структурном каркасе дисперсной фазы, способствуя образованию из них в процессе работы твердых абразивных агрегатов.

С целью устранения этого недостатка разработан метод получения модифицированных пластичных смазок, при котором наноразмерная добавка вводится в состав смазочной композиции до начала процесса формирования структурного каркаса дисперсной фазы; в результате частицы добавки выступают в качестве активных центров структурообразования дисперсной фазы и при этом оказываются имплантированными в нее. Модифицирование обеспечивает формирование более разветвленной структуры дисперсной фазы с большей маслосодерживающей способностью. При разрушении структурного каркаса пластичной смазки наноразмерные частицы алмазно-графитовой шихты, входящие в состав волокон дисперсной фазы, высвобождаются и попадают в зону трения в активном состоянии, сохранив свои сверхмалые размеры. Это предопределяет повышенные противозадирные и противозносные свойства смазки и обеспечивает ее приработочный эффект.

В процессе проведения испытаний на трение ряда материалов и покрытий в присутствии смазки, содержащей частицы наноразмерной алмазно-графитовой шихты ША-А (ТУ РБ 100056180.003-2003), было обнаружено явление трибомеханического модифицирования поверхности трения, внешне проявляющееся в существенном улучшении триботехнических характеристик пар трения на стадии приработки. Установлено, что проявление этого эффекта зависит от типа и структурного состояния материала, а также от уровня контактных давлений в зоне трения и концентрации ША-А в смазке.

Исследование физико-механических свойств боридных покрытий на углеродистых сталях

Кухарева, Н.Г., Галынская Н.А., Петрович С.Н.
Белорусский национальный технический университет

Разработаны новые синтезированные порошковые среды на основе боридов железа и тугоплавких металлов (хрома, циркония, вольфрама, никеля, молибдена, ванадия) высокой насыщающей способности, получаемые методом внепечной металлотермии по принципу самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

По результатам микрорентгеноспектрального анализа содержание бора в слоях, сформированных из разработанных смесей, составляло до 35 масс. % в то время как в слоях, полученных из традиционных смесей его содержание не превышало 16,2 масс. %.

Исследование физико-механических свойств позволило установить, что:

- суммарный балл хрупкости двухфазных боридных слоев, полученных при насыщении в разработанных составах значительно ниже, чем у одно- и двухфазных слоев, формирующихся при использовании традиционных порошковых сред;

- максимальной износостойкостью обладают однофазные боридные покрытия. Тот же уровень износостойкости при малой нагрузке (25 daN) имеют двухфазные слои из насыщающей смеси с добавками оксидов циркония и молибдена;

- рассчитанные по данным проведенных испытаний значения коэффициента трения боридных покрытий из разработанных составов находится в узком диапазоне значений: при нагрузке 25 daN - 0,095 - 0,14, при нагрузке 50 daN - 0,15 - 0,22, что соизмеримо с величиной коэффициента трения для покрытий, формирующихся при азотировании и цементации.

Разработанные порошковые композиционные насыщающие среды обеспечивают получение диффузионных боридных покрытий с высоким комплексом эксплуатационных характеристик на изделиях, работающих в условиях трения скольжения, абразивного износа, а также в условиях повышенного искрообразования. Технология упрочнения из разработанных порошковых сред может быть использована на таких предприятиях Республики Беларусь, как: ЗАО «Атлант», РУП «Гомсельмаш» и ОАО Радосковичский керамический завод. Могут быть также получены равномерные покрытия на основе бора на изделиях сложной конфигурации, что делает возможным и эффективным их использование взамен гальванических.

Сравнительный анализ характеристик диффузионных слоев, полученных в «кипящем» слое и при традиционном печном нагреве

Галынская Н.А., Стасевич Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Изучены характеристики диффузионных слоев на основе бора, азота и углерода, полученные в порошковой среде с использованием плавкого затвора для создания в контейнере избыточного давления и без него, так как при проведении процессов химико-термической обработки в кипящем слое не предполагается герметизация контейнеров.

Установлено, что наличие плавкого затвора оказывает существенное влияние на толщину слоя и микротвердость только при осуществлении процесса борирования; его влияние при осуществлении процессов карбидизации и карбонитрации минимально. С учетом полученных результатов разработаны составы порошковых сред на основе соединений бора, азота и углерода для проведения химико-термической обработки при традиционном печном нагреве и в кипящем слое.

Исследование процесса борирования углеродистых и инструментальных сталей в кипящем слое позволило установить, что структура и химический состав боридных покрытий не соответствуют традиционному, а именно, в диффузионных слоях не обнаружено сплошной зоны боридов FeB и Fe₂B.

Формирование карбонитридных и карбидных слоев на инструментальных сталях (структура, фазовый состав, толщина слоя) проходит аналогично формированию слоев при традиционном печном нагреве.

Разработанные порошковые среды позволяют получать на углеродистых и легированных сталях диффузионные покрытия, обладающие высокой износостойкостью, как при обработке с использованием традиционного печного нагрева, так и кипящего слоя. Установлено, что износостойкость в условиях трения-скольжения со смазкой борированных с использованием кипящего слоя сложнолегированных сталей 4X5МФС и X12МФ при всех применяемых нагрузках значительно выше износостойкости стали 20, борированной при аналогичных условиях. Увеличение нагрузки до 400 МПа не приводит к катастрофическому разрушению диффузионного слоя, средние значения износа при этом не превышают 10-12 мкм за 100 минут испытаний. Проведение процессов карбонитрации и карбидизации сложнолегированных сталей в кипящем слое дает возможность увеличить их износостойкость на 30 %.

**Исследование износостойкости термодиффузионных покрытий,
полученных в кипящем слое**

Кухарева, Н.Г., Петрович С.Н., Протасевич В.Ф.
Белорусский национальный технический университет

Проведена оценка возможности флюидизации используемых порошковых сред для цементации, нитроцементации и борирования. Установлены схемы проведения исследуемых процессов химико-термической обработки (ХТО) в кипящем слое: флюидизация процесса борирования достигалась восходящим потоком азота, цементации и нитроцементации – механической вибрацией. Использование метода конечных элементов для оценки явлений, происходящих при обработке в кипящем слое в химически активных засыпках, позволило подтвердить высокую скорость прогрева порошковых сред при температурах проведения процессов ХТО. Установлено, что при проведении процессов цементации и нитроцементации в кипящем слое с использованием механической вибрации на стали 20 формируются диффузионные слои традиционной структуры, фазового и химического состава. Проведение процесса борирования сталей 20, 4Х5МФС и Х12МФ в кипящем слое с использованием восходящего потока азота не привело к получению на исследуемых сталях диффузионных слоев традиционной структуры и фазового состава.

На основании анализа результатов испытаний на износ трехвалковым методом установлено:

- разработанные авторами порошковые среды могут быть использованы в качестве химически активной засыпки при химико-термической обработке в кипящем слое;

- возможно получение термодиффузионных покрытий на основе бора, азота и углерода на легированных и углеродистых сталях в кипящем слое;

- полученные покрытия могут быть использованы в узлах трения скольжения со смазкой в широком диапазоне удельных нагрузок – от 50 до 400 МПа;

- для изготовления деталей, работающих в узлах трения скольжения со смазкой при малых удельных нагрузках (50 и 100 МПа) можно рекомендовать борированные стали 20, 4Х5МФС и Х12МФ;

- для изготовления деталей, работающих в узлах трения скольжения со смазкой при средних (200 МПа) и высоких (400 МПа) удельных нагрузках можно рекомендовать борированные стали 4Х5МФС, Х12МФ и нитроцементованную сталь 20.

Характерные особенности образования видманшеттовых структур

Менделеева О.Л., Иваницкий Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Общеизвестно, что видманшеттовы структуры образуются при значительных степенях переохлаждения твердого раствора, который находится в критически напряженном состоянии.

Зарождение кристаллов избыточных фаз происходит бездиффузионным путем, что возможно только при высокой степени совершенства субструктуры исходной фазы, следовательно, требует высокой температуры гомогенизации исходной фазы. Затрудненный рост кристаллов новой фазы в не пластичной матрице вызывает в ней рост напряжений, что приводит к росту плотности дислокаций и порождает второй – сопряженный кристалл (с прямо противоположным направлением сдвига). Такая двойная пластина растет путем accommodations – одновременного согласованного сдвига сопряженных кристаллов, разделенных малоугловой границей.

Характерной особенностью превращения твердого раствора в области температур образования видманшеттовых структур является относительно медленный, термически активируемый рост кристаллов избыточной фазы. Термическая активация в условиях недостаточной движущей силы превращения создает возможность преодоления барьеров на пути консервативно перемещающейся полукогерентной границы кристаллита. В отличие от скольжения дислокаций (консервативного движения, не связанного с переносом массы), переползание дислокаций (неконсервативное движение) происходит диффузионным путем. Широкие плоские участки поверхности пластины являются полукогерентными границами и практически неподвижны, а ступеньки – высокоподвижными некогерентными границами, через которые происходит быстрый диффузионный переход. Пробеги одной ступеньки вдоль пластины приводят к утолщению ее на высоту ступеньки. Рост видманшеттова кристалла происходит путем миграции ступеней по широкой грани пластины. Боковой рост кристаллов контролируется скоростью диффузионного отвода легирующего элемента. Если легирующий элемент не успевает диффундировать из кристалла, он декорирует пробеги ступени высокодисперсными частицами выделений, которые зарождаются только на плоских неподвижных фасетках и медленно растут диффузионным путем.

Влияние модифицирования поверхности подложки на эксплуатационные свойства покрытий TiN

Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Ковальчук А.В.
Белорусский национальный технический университет

Научно-исследовательская работа направлена на создание топокомпозита из нитрида титана и стальной подложки с высокими эксплуатационными характеристиками.

Материалом подложки было выбрано армо-железо. Модифицирование поверхности заключалось в формировании нитридов железа в тонком поверхностном слое (до 0,05 мм) за счет низкотемпературного азотирования (550 °С). Основная задача, решаемая азотированием, заключается в повышении жесткости подслоя для исключения продавливания тонкой пленки в мягкую подложку. Пленка нитрида титана (5 мкм) предназначена для повышения износостойкости топокомпозита.

Износостойкость топокомпозита с модифицированной поверхностью в 1,5 раза выше стойкости нитрида титана нанесенного на не модифицированную подложку.

Помимо износостойкости топокомпозит должен обладать коррозионной стойкостью, прочностью сцепления пленки с поверхностью. Определение коррозионной стойкости заключалось в сопоставлении изменения массы образцов и площади поверхности пораженной участками коррозии. Условия эксперимента: 10% водный раствор NaCl, температура 20 °С, продолжительность 2 суток. Предварительное азотирование железа позволило увеличить коррозионную стойкость топокомпозита более чем в 2,5 раза и по скорости коррозии, и по площади продуктов коррозии. Повышение коррозионной стойкости можно объяснить смещением равновесного потенциала коррозии в положительную сторону, снижением общего уровня напряжений, появлением в подложке барьеров (в виде оксидов и нитридов железа) для диффузии кислорода.

Оценка адгезии покрытий проводилась при определении пластичности методом испытания на вытяжку сферической лунки по Эриксену. Качество адгезии оценивалось по площади сколов и трещин на сферической части пластины. Покрытия, нанесенные на пластину, и не подвергнутые отжигу проявили наименьшие адгезионные свойства. Пластина нержавеющей стали после отжига 620 °С в течение 1 ч сохранила свою пластичность, адгезия и пластичность самого покрытия увеличились.

Таким образом, предварительное модифицирование поверхности топокомпозита азотом позволяет повысить износостойкость в 1,5 раза, коррозионную стойкость в 2,5 раза. Адгезионная прочность пленок нитрида титана возрастает в случае дополнительного низкотемпературного отжига.

Изготовление и термическая обработка колец подшипника из стали У8А

Гурченко П.С., Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Впервые для двурядных цилиндрических подшипников применена высокоуглеродистая инструментальная сталь. Выбор обусловлен сопоставимостью механических свойств традиционной подшипниковой стали марки ШХ15 и углеродистой У8А. Твердость и прочность после закалки и отпуска 62...65 HRC, прочность 2200 МПа. Основные преимущества заключаются в низкой стоимости прутка из У8А, который дешевле в 1,5 раза стали ШХ15.

Технологический процесс изготовления колец из стали У8А заключался в следующих операциях: ковка, отжиг на зернистый перлит, механическая обработка, закалка с индукционного нагрева, самоотпуск, шлифовка в размер, низкий отжиг, сборка подшипника. Использование новой марки стали позволило применить закалку с индукционного нагрева и отпуск закаленных изделий за счет внутреннего тепла, сохраняющегося после закалки в сердцевине колец. Детали, закаленные таким образом, не требуют последующего стационарного низкого отпуска. Следовательно, исключается одна термическая операция, что приводит к снижению затрат и снижает себестоимость термообработки. Нагрев колец подшипника под температуру закалки (810 ± 20 °С) осуществляли на установке ВПЧ 100/8,0 с частотой 8000 Гц. Равномерность прогрева по сечению обеспечивали низкой скоростью нагрева (8 ± 2 °С/с). Закалка осуществлялась в специально спроектированном закалочном модуле с системой спрейерного охлаждения. Для минимизации коробления и деформации кольца подшипника по диаметру применяли обжимной центр, с торца кольцо фиксировалось стальной плитой прессы. После закалки с самоотпуском на кольцах была сформирована градиентная микроструктура, которая обеспечила разность механических свойств по сечению кольца. После объемно-поверхностной закалки с самоотпуском на поверхности колец подшипника сформирована структура скрытоигольчатого мартенсита с твердостью 68 HRC, в сердцевине стали троостомартенситная структура с твердостью 50...60 HRC. Сочетание таких структур обеспечивает высокую износостойкость поверхности, гарантирует отсутствие хрупкого разрушения, а также исключает продавливание закаленного слоя дорожки.

Износостойкость покрытий из отходов чугунной дробы

Щербаков В.Г.,

Белорусский национальный технический университет

Наплавка твердыми сплавами позволяет значительно повысить долговечность деталей за счет высокой абразивной износостойкости упрочняющего слоя. В настоящее время разработаны новые способы и составы для получения диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов на железной основе. В качестве основы используются отходы металлических порошков и отходы обработки резанием. Разработанные технологии получения ДЛ сплавов позволили существенно повысить технологические и эксплуатационные свойства получаемых наплавочных материалов.

В качестве основы сплава для индукционной наплавки были выбраны отходы чугунной дробы ДЧЛ 08 после дробеструйной обработки с размерами фракции 0,4–0,5 мм. ДЛ (борирование) проводили в лаборатории кафедры в подвижной порошковой среде. Индукционную наплавку выполняли на высокочастотной установке типа ВЧН-63/0,44 - ЗП-Л01 мощностью 63 кВт и частотой 440 кГц на РУП «Минский завод шестерен», применительно к плужным лемехам и накладкам.

Анализ полученных ДЛ порошков установил, что исходные отходы чугунной дробы ДЧЛ 08, смешанные с ферросплавом не оплавляются, а только интенсивно окисляются в процессе нагрева. Смеси ДЛ отходов чугунной дробы с ферросплавом при индукционном нагреве оплавляются без окисления. Наплавленные слои характеризуется доэвтектическим, эвтектическим и заэвтектическим строением. Твердость наплавленных слоев составляет 55 – 62 НRC. Следует отметить существенный рост среднего значения микротвердости по сечению слоя при увеличении содержания ДЛ дробы в шихте с 35% до 50% в связи с увеличением количества карбидов. Пористость в слоях не значительная и составляет порядка 3-5%. У линии сплавления металл имеет четко выраженную дендритную структуру. В верхнем слое наплавленного металла содержатся включения первичных карбидов веерообразной формы. Также между наплавленным металлом и металлической основой обнаружена переходная зона, что также свидетельствует о качественном сплавлении основного металла и слоя.

Установлены особенности структуры борированного порошка из чугунной дробы и влияние на него метода ХТО в подвижной порошковой смеси. В частицах ДЧЛ 08 после ХТО происходит процесс графитизации. Показана возможность получения покрытий наплавкой ТВЧ из ДЛ бором порошка отходов дробы ДЧЛ 08.

Фильтрующий материал из медных отходовЩербаков В.Г.¹, Чугаев П.С.²¹Белорусский национальный технический университет,²Белорусский государственный аграрно-технический университет

Известно, что работа машин и механизмов без использования соответствующих смазочных материалов невозможна. Одним из методов очистки смазочных материалов является фильтрование. Большой интерес вызывают фильтрующие материалы (ФМ), изготовленные из отходов производства медного кабеля – т.н. медной сечки.

Традиционная технология заключается в предварительном прессовании медных волокон и последующее спекание в печи. Нами было предложено предварительное диффузионное легирование (ДЛ) медных волокон перед прессованием. Цинк повышает прочность и пластичность меди, но только до 30%. Исходя из диаграммы состояния Cu-Zn, цинк также снижает и температуру плавления меди. Анализ ДЛ медных волокон цинком в подвижной порошковой среде с различными концентрациями выявил, что при содержании цинка в смеси более 30% он резко снижает пластичность и прочность медных волокон и прессование не происходит. Оптимальным содержанием цинка в смеси установлено 10%. При данном содержании цинка при ДЛ на поверхности медных волокон образуется слой латуни, что положительно влияет на прессование и снижение температуры спекания. Экспериментальные исследования выявили снижение температуры спекания с 1020°C до 860°C и снижение давления прессования с 20-25 тонн до 10-15 тонн в связи с повышением пластичности.

При спекании волокон с содержанием цинка на поверхности от 30...50% спекание образцов не произошло, образец разрушался во время извлечения его из печи. Спекание образцов с содержанием на поверхности от 10...20 % цинка произошло во всем объеме образца. Анализ результатов по спеканию образцов показал, что лучшие результаты спекания у образцов с содержанием цинка на поверхности 10%.

ДЛ медных волокон цинком положительно влияет на технологические свойства волокон и позволяет снизить энергетические затраты при производстве ФМ. Анализ результатов по спеканию образцов показал, что лучшие результаты спекания у образцов с содержанием цинка на поверхности 10%. Исследован один из возможных способов влияния на технологические свойства медных отходов кабельной промышленности при изготовлении фильтрующих материалов. Предварительное ДЛ цветных отходов – является интересным направлением производства ФМ.

Теория механизмов и машин

Методика оценки напряженного состояния поверхностей элементов кинематических пар после лазерной обработкиПилипчук А.П.¹, Грибков Ю.А.¹, Авсиевич А.М.²¹Военная академия Республики Беларусь,²Белорусский национальный технический университет

Одним из основных параметров качества рабочих поверхностей кинематических пар после лазерной обработки являются остаточные напряжения, которые достигают значительных величин. В сумме с напряжением, возникающим от приложения внешних сил к звеньям механизмов, они формируют результирующее напряженное состояние. На характеристики динамической прочности остаточные напряжения влияют как постоянные предварительные напряжения. Высокий уровень остаточных напряжений растяжения опасен, так как они могут увеличиваться с приложением внешних нагрузок и приводят к появлению усталостных трещин.

В механике остаточных напряжений не полностью решены задачи выявления механизма образования остаточных напряжений, изменения формы (коробление и поводки) деталей, влияния остаточных напряжений на сопротивление усталости, прогнозирования напряженного состояния.

Для выявления закономерностей образования остаточных напряжений после поверхностного упрочнения предлагается использовать метод переменных параметров упругости, иллюстрируемый расчетом температурных напряжений в нагреваемой по краю пластине. На первом этапе выполнен расчет напряжений в предположении идеально упругого тела, при этом напряжения в точке с максимальной температурой ($t_{max} = 800^{\circ}\text{C}$) значительно превосходят предел текучести. Для расчета по методу переменных параметров упругости в каждой точке сечения пластины в качестве модуля упругости в n -м приближении принимаем секущий модуль, определяемый в соответствии с кривой деформирования по значениям напряжения и деформации предыдущего приближения. Расчет заканчивается при достаточной близости значений напряжений данного и предыдущего приближения, при условии, что изображающая точка лежит на кривой деформирования.

Таким образом, применение метода переменных параметров упругости позволяет решить задачу оценки напряженного состояния в детали при интенсивном нагреве. Полученное решение возможно использовать для определения оптимальных способов и режимов поверхностного упрочнения деталей на стадии их проектирования, что позволит при сравнительно небольших затратах улучшить качество выпускаемых деталей.

Определение параметров мобильных машин с маховичным рекуператором

Астахов Э. И., Шкурко С. С.

Белорусский национальный технический университет

В современных мобильных машинах автотракторной техники наряду с традиционным двигателем внутреннего сгорания (ДВС) начинают широко использоваться гибридные двигатели. Среди таких гибридных двигателей можно выделить ДВС с маховичным рекуператором, которые кроме снижения затрат дорогого органического топлива обеспечивают и экологическую безопасность, снижение максимальных динамических пиковых нагрузок на трансмиссию мобильной машины. Ранее в работах авторов была разработана общая и кинематическая схема мобильной машины трактора с маховичным накопителем. В данной работе ставится задача по определению необходимых параметров подобной машины.

Изучение экспериментальных записей крутящих моментов $M_d(t)$ выходного вала двигателя от времени t , показало резкое увеличение M_d при пиковых нагрузках. Параллельное подсоединение к валу отбора мощности маховичного рекуператора позволяет накопить кинетическую энергию на холостых режимах, когда скорость вращения вала больше средней, и отдавать ее при пиковых нагрузках. Для этого в параллельный привод рекуператора от вала отбора мощности вставлена обгонная муфта и ускоряющая планетарная зубчатая передача, обеспечивающая величину передаточного отношения не менее $U \approx 10$. Диаметр маховичного рекуператора сделан около 1 м и массой около 200 кг для получения достаточного запаса кинетической энергии. При пиковых нагрузках, когда угловая скорость вала уменьшается ниже установленной, обгонная муфта подключает маховик рекуператора к трансмиссии машины, что увеличивает кинетическую энергию привода и уменьшает максимальные пиковые моменты M_d .

Конструктивная форма маховика рекуператора должна обеспечивать наибольшую величину отношения момента инерции J_z относительно оси z вала маховика к его массе m . Исследовав различные конструктивные формы, было предложено два варианта: 1) маховик Рабенхорста с винтовыми лопастями, которые обеспечивают снижение вертикальной осевой нагрузки на подшипники маховика и наибольшее J_z/m , но довольно сложен в изготовлении; 2) цилиндрический маховик в форме широкого обода, имеющий меньшую величину J_z/m , но значительно проще в изго-

ТОВЛЕНИИ.

Моделирование динамики и автоколебаний процесса резания при токарной обработке

Астахов Э.И., Тетерина О.С.

Белорусский национальный технический университет

Как известно из литературы при токарной обработке вследствие конечной жесткости системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) и нелинейного характера силы сопротивления резанию, в этой системе возникают автоколебания, которые во многом определяют качество обрабатываемой поверхности. Известные методы анализа устойчивости автоколебаний в процессе токарной обработки довольно сложны, поэтому задачей данной работы является разработка более простой методики анализа устойчивости таких автоколебаний.

Динамическая модель процесса автоколебаний резца в системе СПИД по вертикальной оси Z представлена одномассовой с приведенной массой m_n , с приведенными коэффициентами сопротивления b_n и жесткости c_n под действием возмущающей силы $F_z(v)$, зависящей от скорости резания $v = dz/dt = \dot{z}$. Динамика автоколебаний такой динамической модели описывается дифференциальным уравнением второго порядка с правой частью

$$m_n \ddot{z} + b_n \dot{z} + c_n z = F_z(v) \quad (1)$$

По известной из литературы экспериментально-эмпирической зависимости для заданных параметров системы СПИД численно рассчитываются зависимости силы резания $F_z(v)$ для конкретного диапазона скоростей $\Delta v = v_{\max} - v_{\min}$, крутизна $H = dF/dv \approx \Delta F/\Delta v$ на рабочем участке Δv скоростей резания. После математических преобразований дифференциальное уравнение (1) получает вид

$$\ddot{z} + 2n_H \dot{z} + k^2 z = 0, \quad (2)$$

решение которого $z(t)$ описывает гармонические колебания

$$z(t) = A_0 e^{-n_H t} \cdot \sin(kt + \alpha), \quad (3)$$

где A_0 – условная начальная амплитуда; n_H – приведенный коэффициент демпфирования с учетом крутизны, $n_H = b_n/m_n - H$; k – круговая частота

$$k = \sqrt{(c_n/m_n)^2 - n_H^2} \quad (4)$$

По величине коэффициента n_H делается анализ характера и устойчивости автоколебаний при резании. Если $n_H > 0$, то автоколебания устойчивые (в одном цикле при $t < 2\pi/k$ затухающие), а при $n_H < 0$, автоколебания неустойчивы с возрастающей амплитудой $A_z = A_0 \cdot e^{n_H t}$.

Анализ потерь механической энергии в машинных агрегатах и способы их уменьшения на примере ДВС

Авсиевич А.М., Михальков С.Л.

Белорусский национальный технический университет

Потери энергии в любом машинном агрегате складываются из потерь механической энергии в результате трения и потерь при преобразовании энергии в двигателе. Например, непосредственно в узлах двигателя внутреннего сгорания согласно анализу литературных источников механические потери на трение составляют до 10...15 % от всех потерь, включая неполное сгорание топлива и рассеяние тепла. Снижение потерь механической энергии приведет не только к повышению общей энергоэффективности машинного агрегата, но и существенно повысит ресурс его узлов ввиду уменьшения интенсивности изнашивания поверхностей пар трения.

Потери на трение в ДВС возникают в подшипниках скольжения на коренных и шатунных шейках коленчатого вала, между поршневыми пальцами и втулками, поршнем и цилиндром, в опорах распределительного вала, направляющих толкателей клапанов, между кулачками и толкателями, в опорах валов навесного оборудования. В четырехцилиндровом двигателе таких сопряжений насчитывается не менее 30.

Критериями, определяющими потери энергии и относительную износостойкость трущихся элементов кинематических пар, является работа трения, выделяемая на каждом элементарном участке поверхности, во всей паре трения и в машинном агрегате в целом за один цикл его работы. Добиться ее уменьшения работы трения можно варьированием основных геометрических размеров и масс подвижных звеньев, диаметров вращательных пар, подбором материалов пар трения, модифицированием физико-механических свойств с заданным их распределением по поверхности.

Решение данной задачи связано с большим объемом вычислений и реализуется с созданием программного комплекса на современных ЭВМ. Основными этапами расчетов являются: определение передаточных функций механизмов; вычисление ускорений точек и звеньев, инерционных нагрузок, реакций в кинематических парах с определением их ориентации относительно подвижных звеньев; расчет распределения контактных напряжений по поверхностям кинематических пар; определение пути трения для каждого j -го элемента кинематической пары в каждый i -й момент работы механизма. Интегральное значение контактного напряжения по пути трения позволит определить работу на элементарном участке поверхности и в кинематической паре в целом.

Многофакторный анализ в выборе конструкционных параметров распределительных устройств в гидравлических системах управления

Горавский С.Л.
УП «МЭТЗ им. В.И.Козлова»

Количественная оценка влияния конструктивных факторов, т.е. получение математической модели сервораспределителя в виде системы дифференциальных уравнений, представляется затруднительной ввиду сложности механизма совместного влияния факторов на протекающие динамические процессы. Практическая оптимизация конструкции сервораспределителя по конструкционным параметрам реально осуществима только сравнением вариантов при большом объеме вычислений на основе метода математического планирования.

Используя разработанную программу, в начале расчета задавалось сочетание факторов для каждого опыта, соответствующее матрице планирования, и определялось значение выходного сигнала при выполнении цикла вычислений. По результатам вычислительного эксперимента определены коэффициенты регрессии, являющиеся частными производными функции отклика по соответствующим переменным. В решаемой задаче откликом является отклонение реальной кривой, построенной при определенном сочетании влияющих факторов, от идеальной. Анализ полученного уравнения регрессии показывает, что на линейность расходной характеристики сервораспределителя наибольшее влияние оказывает суммарная площадь дросселирующих пазов впускного золотника. С помощью этой зависимости, характеризующей рассматриваемую модель в локальной области проведения вычислительного эксперимента, можно определить величину нелинейности расходной характеристики сервораспределителя при любом сочетании конструкционных параметров.

После проверки адекватности можем перейти к движению по градиенту (крутое восхождение или спуск). Задача выбора рациональных конструкционных параметров сервораспределителя решается путем наискорейшего спуска по поверхности отклика. При этом используется регрессионный анализ и движение по градиенту. Направление градиента функции отклика является наиболее коротким путем в области оптимума.

Предположено, что направление градиента задается однозначно и присутствует только один оптимум. По критерию минимального значения отклика выбрано сочетание конструкционных параметров сервораспределителя. Серия опытов наискорейшего спуска проведена на основании анализа результатов предварительного планирования.

Применение ПК при расчёте и проектировании многозвенного механизма в приложении Excel

Николаев В.А., Николаенко В.Л., Гурский М.С.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время с развитием информационных технологий широко используются возможности ПК для проектирования различных механизмов. Это обусловлено высокими требованиями к надёжности и долговечности машин и их элементов, что и определяет рост конкурентоспособности изделий, разработанных с помощью многокритериального подхода к проектированию оптимальной конструкции. Данная работа посвящена теме проектирования и расчёта многозвенного механизма с помощью ПК. Задача программы заключается в определении различных параметров механизма (кинематика, силовой расчёт) по заданным параметрам. В приложении Excel производится расчёт и отображение графической информации этого механизма, который может использоваться в различных областях машиностроения.

Исходными данными для проектирования являются геометрические параметры механизма, массы и моменты инерции звеньев, угловая скорость вращения кривошипа. После ввода исходных данных, автоматически производится расчёт для каждого положения механизма через 6° , и построение графической информации.

Программа условно разбита на 2 части: кинематику и силовой расчёт. В первой части отображаются: базовая схема механизма; область ввода размеров; схема механизма, построенная по введённым данным; область диагностики; план 12-ти положений; график функции положения, аналогов скорости и ускорения ползуна; числовые данные результатов кинематического расчёта. Во второй части отображаются: область ввода рабочей нагрузки для каждого положения механизма через 6° ; область ввода угловой скорости кривошипа, массы и моментов инерции звеньев; график рабочей нагрузки; диаграмма амплитуды гармоник; годограф главного вектора сил инерции; график движущего момента; график реакции на ползун; годографы реакций в шарнирах; числовые данные результатов силового расчёта. Программа проста в использовании, имеет интуитивно понятный интерфейс. Использование данной программы значительно сокращает время проектирования и расчёта многозвенного механизма. Сразу после ввода исходных данных можно проанализировать всю полученную информацию: в виде различных графиков, построенной схеме механизма, результатам кинематического и силового расчётов.

УДК 621.825.5

Учет влияния динамической нагруженности машинного агрегата при проектировании предохранительных муфт

Николаев В.А., Карабанюк И.А., Прузан М.А.
Белорусский национальный технический университет

Оценкой эффективности ограничения динамических нагрузок является коэффициент динамичности муфты в самом тяжелом режиме нагружения привода – жестком стопорении. Задавая различные угловые скорости вращения ведомого вала стопорением, получаем зависимости изменения крутящего момента от времени $T = f(t)$. Имея максимальные значения крутящих моментов при различных скоростях их нарастания, получаем общую зависимость $T_{\max} = f(V_T)$. Из ее анализа следует, что, начиная с определенной скорости нарастания крутящего момента, максимальный момент срабатывания значительно превышает момент настройки муфты. Количественно степень увеличения момента срабатывания может быть определена коэффициентом динамической чувствительности, который характеризует муфту определенной конструкции относительно влияния скорости нарастания крутящего момента на величину максимального момента срабатывания.

Установка предохранительной муфты на тихоходном валу привода с большим крутящим моментом приводит к увеличению габаритов и металлоемкости муфты, отсюда рациональным будет установка муфты на более быстроходном валу. В этом случае должна быть учтена фактическая скорость нарастания крутящего момента в месте установки. Она определяется приведенной податливостью машинного агрегата от предохранительной муфты до максимально вероятного места заклинивания механизма.

Зная величину указанной приведенной податливости можно определить время нарастания крутящего момента до того значения, на которое настроена муфта. Скорость нарастания крутящего момента в любой точке привода пропорциональна угловой скорости и обратно пропорциональна приведенной податливости от данной точки до места заклинивания привода. Отсюда вытекают рекомендации по проектированию привода с целью применения муфты на максимально возможных скоростях, при минимальной металлоемкости. Определив наиболее подходящее с этих позиций место установки муфты, можно рассчитать скорость нарастания крутящего момента, а по ней максимальный момент срабатывания муфты. Зная значения максимального момента срабатывания предохранительной муфты в рассматриваемой точке, можно решить вопрос о постановке муфты в данном месте или переносе ее в менее динамичную зону привода.

Момент инерции маховика многоцилиндрового двигателя внутреннего сгорания

Кудин В.В., Грибов А. В.

Белорусский национальный технический университет

В типовом курсовом проекте по теории механизмов и машин автотракторных специальностей расчет момента инерции маховых масс выполняется только для одноцилиндрового двигателя внутреннего сгорания. В действительности же используются многоцилиндровые двигатели, имеющие различные компоновочные схемы, параметры которых существенно отличаются друг от друга. Авторы данной работы задались целью исследовать влияние наиболее существенных из них на величину момента инерции маховика. В основу расчета момента инерции маховика в разработанной компьютерной программе положен метод Н. И. Мерцалова.

Первоначально было установлено влияние коэффициента неравномерности вращения на момент инерции маховика. Уменьшение этого коэффициента ведет к значительному увеличению момента инерции маховика. Затем исследовали влияние отношения длин кривошипа и шатуна на маховик. Было установлено, что увеличение этого отношения ведет к линейному увеличению момента инерции маховика.

Увеличение количества цилиндров ДВС повышает равномерность его работы, стабилизируя скорость вращения коленчатого вала двигателя. При этом переменная составляющая приведенного момента инерции практически становится неизменной и уже при 6-8 цилиндрах расчет можно вести по изменению кинетической энергии. Таким образом, чем больше цилиндров в двигателе, тем момент инерции маховика меньше и теоретически может быть сведен почти до нуля.

Сегодня схемы построения ДВС делятся на два основных типа: рядные и V-образные. Последние в зависимости от угла развала могут иметь вариации в виде оппозитных (угол развала 180°) и рядно-смещенных (с общей головкой блока) моделей. Были проведены исследования влияния угла развала на момент инерции маховика при прочих равных условиях. Установлено, что при угле развала 180° (оппозитная схема) момент инерции маховика имеет минимальные значения.

В заключении можно сказать, что оппозитные двигатели имеют относительно малый момент инерции маховика, но их использование затруднено из-за больших габаритных размеров. Поэтому чаще всего используются рядные и V-образные модели, имеющие несколько больший момент инерции маховика, но меньшие габаритные размеры.

**Применение программного пакета SolidWorks 2012
при моделировании свободных и вынужденных колебаний
с одной и двумя степенями свободы**

Кудин В.В., Семёнов Р.А.

Белорусский национальный технический университет

В курсе «Колебания в машинах», читаемом студентам машиностроительного факультета БНТУ, предусмотрены лабораторные работы по моделированию свободных и вынужденных колебаний с одной и двумя степенями свободы и расчёту параметров колебательной системы. Однако моделирование как свободных, так и вынужденных колебаний связано с трудностями изготовления лабораторной установки, в которой были бы предусмотрены возможности варьирования инерционными, диссипативными и жёсткостными параметрами системы.

Авторами данной работы предложена схема виртуальной лабораторной работы на современной вычислительной технике с использованием программного комплекса SolidWorks 2012, текущая версия которого является популярным приложением трёхмерного компьютерного моделирования и обеспечивает разработку изделий любой сложности и назначения. Использование SolidWorks в цикле лабораторных работ по курсу «Колебания в машинах» позволяет создать анимацию механической колебательной системы, в которой в трёхмерном пространстве изображаются инерционные параметры (поступательно движущаяся масса либо вращающийся вал), а также упруго-диссипативные элементы (пружины, работающие на сжатие-растяжение, кручение, а также амортизаторы, выполняющие функцию рассеивания энергии).

Внешнее силовое воздействие задаётся функцией силы $F(t)$, представляемой рядом Фурье. Виртуальная модель лабораторной установки изображается в трёхмерном пространстве и в движении, что позволяет студенту более быстро адаптироваться к объекту исследования и понять, какие критерии положены в основу моделирования колебательного процесса. Анимационная модель даёт возможность отследить влияние всех параметров системы как при свободных, так и при вынужденных колебаниях. При этом виртуальная модель может изменять число степеней свободы (одна либо две) линейных и крутильных колебаний. Лабораторная работа оснащена вычислительным пакетом, обеспечивающим необходимый расчёт параметров и графическую иллюстрацию процесса.

Таким образом, использование возможностей программного комплекса SolidWorks позволяет сделать лабораторные работы в виртуальном исполнении более понятными и доступными.

УДК 621.01

Компьютерные технологии обучения структуре механизмов

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М., Ратников А.В.
Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ в соответствии с научно-исследовательской работой «Принципы обучения общетехническим дисциплинам с использованием информационных технологий» проводится целенаправленная работа по внедрению в учебный процесс инновационных образовательных технологий, новых форм и методов обучения. Одним из разделов, которым уделено внимание, является «Структура механизмов». Данный раздел является начальным при изучении курса «Теория механизмов, машин и манипуляторов». Из-за высокой общей информационной насыщенности курса на этот раздел выделяется всего 4 часа из планируемых по учебным планам 51 часа лекций. Курс излагается в третьем семестре, и студенты, как правило, не имеют начальных знаний о терминологии, чтении схем механизмов, условных обозначениях в схемах, развитого представления о движении отдельных частей друг относительно друга. Поэтому возникают определенные трудности при преподавании и усвоении студентами программных вопросов. Важность данного раздела связана с тем, что от правильно выполненного структурного анализа механизмов зависят и последующие кинематические и динамические исследования. Незнание или ошибки в структуре механизмов не позволяют продолжить проектирование схемы того или иного механизма.

Таким образом, существует необходимость постоянного совершенствования методики обучения, оптимизации и интенсификации учебного процесса, разработки пособий, макетов, плакатов, чтобы, используя различный наглядный материал, дать возможность студентам чисто визуально представить некоторые абстрактные понятия, необходимые для усвоения излагаемого материала.

Повышение качества и эффективности обучения студентов невозможно без создания различных компьютерных программ

В настоящее время с участием студентов проводится работа по внедрению в лекционный курс презентационных разработок, отвечающих вышеназванным требованиям. Кадры презентаций гармонично сочетают информационный текстовый материал, фотографии механизмов, их схемы и подвижные 3D модели.

Опыт нашей работы со студентами показывает, что применение компьютерных технологий обучения, использующих современное компьютерное оборудование, весьма эффективно.

УДК 681.3

Методическое обеспечение раздела «Динамика машин» для студентов-заочников

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М., Чернов В.Ф.
Белорусский национальный технический университет

С целью повышения качества обучения студентов-заочников на кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ большое внимание уделяется методическому обеспечению учебного процесса, внедрению инновационных образовательных технологий, поскольку студентам заочной формы обучения приходится значительное время уделять самостоятельной работе с учебно-методической литературой. В частности, на кафедре подготовлено методическое пособие «Динамика машинного агрегата», представляющее собой текст лекций по данному разделу курса «Теория механизмов, машин и манипуляторов». Этот раздел является одним из основных разделов курса и представляет определенные трудности для его усвоения студентами. Кроме того, значительная часть курсового проекта, выполняемого студентами после сдачи экзамена по курсу, посвящена вопросам динамического синтеза и анализа машинного агрегата. Для закрепления теоретических положений раздела в пособии приводятся примеры решения задач по определению законов движения звеньев при различных режимах работы машинного агрегата с подробными объяснениями. Определение законов движения по заданным характеристикам внешних сил выполняется с помощью составления уравнений движения звена приведения в дифференциальной и интегральной формах. В связи с этим большое внимание уделено методу приведения сил и масс к звену приведения и составлению динамических моделей машинного агрегата, состоящего из двигателя, передаточного механизма и исполнительного механизма. В методическом пособии также рассматриваются вопросы ограничения периодических колебаний скорости главного вала машины при установившемся режиме движения и обеспечения заданного коэффициента неравномерности движения звена приведения путем установки дополнительной вращающейся массы, выполняемой в виде маховика.

Решение задач динамики машинного агрегата непосредственно связано с последующими расчетами на прочность и жесткость элементов машин, которые проводятся с целью определения размеров и конструктивных форм деталей.

Опыт использования данного методического пособия при подготовке студентов-заочников к экзамену показал определенный положительный эффект.

Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент

Разработка моделей и методов анализа показателей надежности многолезвийных осевых инструментов

Ажар А.В.

Белорусский национальный технический университет

С усложнением конструкции режущие инструменты при оценке надежности необходимо рассматривать как многоэлементные системы. Модели надежности режущих инструментов можно разбить на две группы [1]: последовательные (сверла, зенкеры, комбинированные осевые инструменты) и системы с резервированием (фрезы, долбяки и т.д.). В случае, когда отказ инструмента есть отказ любого элемента, модель надежности системы может быть представлена в виде нескольких последовательно соединенных элементов. Каждый элемент имеет свою независимую причину отказа. Причины отказа действуют параллельно. Тогда вероятность того, что в данный момент времени T техническая система, состоящая из независимых элементов, находится в работоспособном состоянии, равна: $P(t \geq T) = P_1(t \geq T) \times P_2(t \geq T) \times \dots \times P_n(t \geq T)$, где $P_i(t \geq T)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента в течение времени t [1; 2]. Система с резервированием может быть представлена в виде параллельно–последовательной структурной схемы.

Более подробно безотказную работу режущей части такого инструмента можно описать логико-вероятностным методом, при условии существования допустимой ломающей подачи S_p , приводящей к поломке режущего элемента (зуба, пластины). Например, вероятность безотказной работы режущих элементов сборной фрезы с $z=6$ и условия, что отказ инструмента наступает в тот момент, когда два следующих друг за другом зуба выйдут из строя, равна [3]: $P(t) = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 + (1 - P_1) P_2 P_3 P_4 P_5 P_6 + (1 - P_1)(1 - P_3) P_2 P_4 P_5 P_6 + (1 - P_1)(1 - P_3)(1 - P_4) P_2 P_5 P_6$, где P_i – вероятность безотказной работы i -ой режущей пластины. Разработанные модели могут лечь в основу конструктивных и технологических методов обеспечения и прогнозирования надежности сложных инструментов и инструментальных наладок, и способствовать выбору правильной стратегии их эксплуатации.

Литература:

1. Острейковский, В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003.— 463 с.
2. Ажар, А.В. Надежность комбинированных режущих инструментов // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. №1, Мн., 1999г., с. 17-23
3. Ажар, А.В. Моделирование надежности сборных торцовых фрез // Машиностроение – Мн., 2007. – Вып. 23– с. 204 – 208.

Анализ параметров сечения среза при обработке торцовыми фрезами с прогрессивными схемами резания

Ажар А.В., Яцко А.С.

Белорусский национальный технический университет,
ОАО «Атлант»

При торцевом фрезеровании с прогрессивными схемами резания особую важность приобретает оптимальный выбор параметров сечения среза, определяющих мощность резания, износ инструмента и качество обработанной поверхности. Процесс обработки фрезами с различными схемами резания и углами в плане моделировался в ProEngineer (рисунок 1) путем имитации последовательного удаления материала с заготовки по траектории движения зуба каждой ступени инструмента, описываемой параметрическими уравнениями вида:

$$x = S \times n \times t + \frac{D \times \cos(2\pi \times n \times t)}{2}; \quad y = \frac{D \times \sin(2\pi \times n \times t)}{2},$$

где n – число оборотов фрезы; D – диаметр ступени инструмента; t – параметр углового положения режущей кромки (материальной точки) относительно центра вращения фрезы; S – оборотная подача.

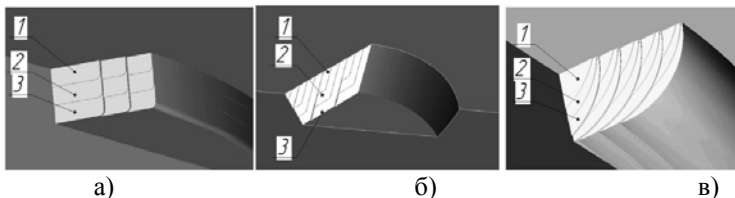


Рисунок 1 – Распределение припуска между зубьями при прогрессивных (спирально-ступенчатых) схемах резания пластинами с углами в плане $\varphi=90^\circ$ (а), $\varphi=45^\circ$ (б) и круглой формы (в). 1, 2, 3 – сечение среза первым, вторым и третьим зубом секции, соответственно.

Анализ сечения среза торцовыми фрезами со спирально-ступенчатой схемой среза припушка при равномерном осевом сдвиге зубьев секции на величину подачи на зуб показал, что простой формой, постоянством площади сечения и толщины среза обладает схема только с $\varphi=90^\circ$. Для пластин с углами $\varphi < 90^\circ$ стружка приобретает L-образную форму, площадь сечения среза увеличивается от зуба к зубу секции, что должно привести к дополнительной деформации стружки, росту и колебаниям сил резания, неравномерности износа зубьев. В данном случае из-за неравномерности распределения припушка рекомендуется осевой шаг зубьев делать переменным, соответствующим сечению среза каждого из зубьев.

Стружкообразование и стойкость инструмента при черновой токарной обработке с увеличенными подачами

Бачанцев А.И., Лой С.И., Туромша В.И.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время многие ведущие фирмы в сфере производства инструментов начали предлагать для черновой и получистовой обработки более высокие подачи [1]. Связано это с тем, что подача оказывает наибольшее влияние на производительность. Но вместе с этим, для увеличения производительности, предлагается снимать припуск за один проход.

Разработанный метод назначения режимов резания для предварительной обработки, при ограничении оборудования по мощности, позволяет повысить производительность на 30–60%. Предлагаемые режимы резания выходят за рамки рекомендуемых в литературе и каталогах [1; 2]. Поэтому авторами проведены экспериментальные исследования влияния режимов обработки с увеличенными подачами на стойкость и стружкообразование.

С увеличением подачи влияние вспомогательной режущей кромки начинает возрастать, то есть более полно проявляются закономерности процесса несвободного резания. При резании с большими подачами стружка больше отклонялась в сторону необработанной поверхности. Подтверждение того, что стружка деформируется пропорционально воздействию рабочих кромок, можно увидеть на рисунке 1.

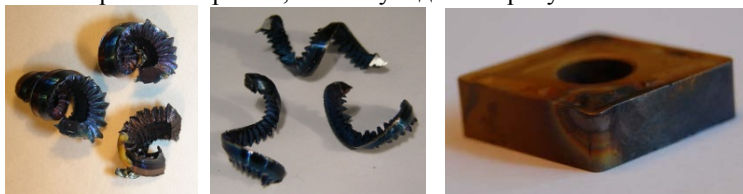


Рисунок 1 – Стружка, снятая при подаче $S=4$ мм/об и глубине резания $t=1,15$ мм и $S=1,6$ мм/об, $t=1,6$ мм; износ пластины

Стойкость инструмента в основном совпадала с расчётной (15 минут). В некоторых случаях наблюдалось деформирование режущей кромки.

Литература:

1. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В.И. Баранчиков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 400с.
2. СогоСеу Точение – фрезерование – сверление. Каталог SANDVIK COROMANT, 6-е издание 2010. – 216 с.

Влияние режимов резания на энергетические затраты при токарной обработке

Бачанцев А.И., Смычков И.Г., Туромша В.И.

Белорусский национальный технический университет

При осуществлении процесса резания большая часть потребляемой станком мощности расходуется непосредственно на резание, однако часть подводимой энергии тратится на потери в электродвигателе и в механической части привода. Известно, что на механические потери в приводе затрачивается около 10% мощности. Поэтому очень важным является анализ влияния различных параметров режимов резания и методик их назначения на величину энергетических затрат привода. В качестве объекта исследования была избрана токарная обработка, режимы резания для которой назначались по следующим методикам:

1. Традиционная методика [1] (максимальная глубина резания при черновой обработке);
2. Методика, предлагаемая сотрудниками кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» БНТУ [2] (подача наибольшей производительности с учётом мощности привода).

Авторами были определены энергетические потери в приводах вращательного движения, которая учитывает потери на трение в движущихся элементах механической части привода: в подшипниках качения, зубчатых передачах, ременной передаче и уплотнениях. На основании проведённых расчётов и их анализа было установлено следующее:

на потери мощности в механической части привода наименьшее влияние оказывает подача;

увеличение подачи уменьшает удельное энергопотребление.

С точки зрения максимальной производительности и минимизации энергопотребления наиболее оптимальным является обработка с режимами резания, определённых по методике, предлагаемой сотрудниками кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» БНТУ.

Литература:

1. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т./ Под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
2. Бачанцев, А.И., Туромша, В.И. Повышение эффективности обработки на токарных станках с ЧПУ. Машиностроение: Сб. научн. трудов. Вып. 17. / Под ред. И.П. Филонова. – Мн.: Уп «Технопринт», 2001. – С. 9 – 15.

Принципы интенсификации сверления глубоких отверстий специальными спиральными сверлами

Дечко Э.М.

Белорусский национальный технический университет

В результате обобщения комплексных исследований процесса резания при глубоком сверлении сталей специальными спиральными сверлами, опыта практического использования этих результатов, анализа тенденций совершенствования конструкций спиральных сверл $d=6...20$ мм с покрытием и внутренним подводом СОЖ (P до 40 бар, Q до 80 л/мин) для получения отверстий $L/d=5...40$, изготавливаемых ведущими зарубежными производителями режущего инструмента, сформулированы принципы интенсификации процесса сверления [1-3]. Группа общих принципов – это дробление стружки в зоне режущей части (1); обеспечение низкочастотных (300...350 Гц) колебаний режущих лезвий (2); шнековый отвод стружки из зоны резания за счет угла наклона канавок (3); выбор критериев оптимизации процесса резания при сверлении (4).

Общие принципы 1 и 2 включают в себя принципы конструирования специальных спиральных сверл (5), разделение рабочей части сверла на режущую и транспортирующую (6), оптимизацию формы и параметров режущей (7) и транспортирующей (8) частей сверла в зависимости от обрабатываемых материалов, изменение конструктивных элементов инструмента или оснастки для обеспечения колебаний с заданной частотой (9).

Общие принципы 3 и 4 включают в себя принципы оптимизации технологических параметров процесса сверления (10) и режимов резания при заданных стойкости инструмента и точности обработки (11), а также уменьшение вспомогательного времени за счет устойчивого отвода дробленой стружки, что исключает периодические выходы инструмента из отверстия (12).

Реализация всех этих принципов дает возможность повысить производительность и снизить себестоимость сверления глубоких отверстий в пластичных материалах.

Литература:

1. Дечко, Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях. – Мн.: Выш. школа, 1979. – 232 с.
2. Дечко, Э.М. Интенсификация процесса глубоких отверстий в сталях: Учебное пособие. – Мн: РМ ИПК, 1989. – 69 с.
3. Каталоги GUNRING, MITSUBISHI, SECO, Sandvik, Walter, Dormer, Maykestag, 2011...2013.

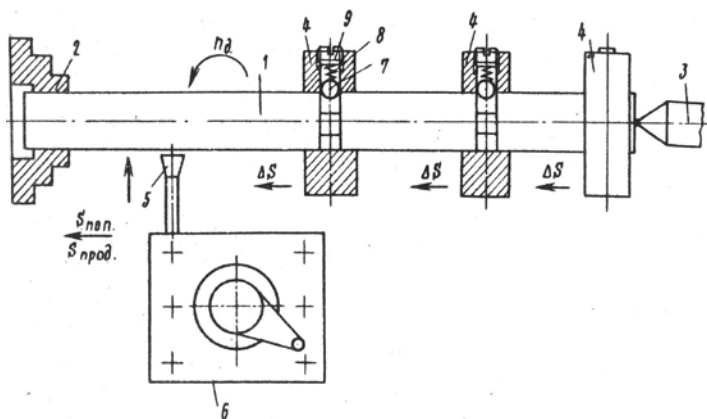
О возможности обработки маложестких деталей поперечным врезанием

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

Белорусский национальный технический университет

При нарезании нескольких канавок на длинной детали ее жесткость падает. Поэтому трудно добиться высокой точности обработки вследствие значительных радиальных деформаций детали [1].

Для повышения точности обработки предлагается [2] у одного из торцов детали 1 размещать ряд цилиндрических колец 4, которыми после образования канавки последовательно перекрывают с обеих сторон обработанную поверхность (см. рисунок). После образования первой канавки крайнее левое кольцо 4 двигают влево до тех пор, пока оно не зафиксируется в канавке от смещения в осевом направлении шариком 7, удерживаемым пружиной 8 и установочным винтом 9. При нарезании последующей канавки кольцо 4 смещают в следующую канавку, крайнее слева кольцо в пакете смещают в предыдущую канавку и т.д., до тех пор, пока не образуют последнюю канавку. При надевании кольца 4 на канавку жесткость детали восстанавливается и даже увеличивается, что обеспечивает необходимую точность обработки.



Литература:

1. Денежный П.М. [и др.] Токарное дело. – М.: «Высшая школа», 1976. – С.193, рис. 318.
2. Ивашин Э.Я. [и др.] Способ токарной обработки А.С. 935216 (СССР), опубл. в Б.И. 1982, №22.

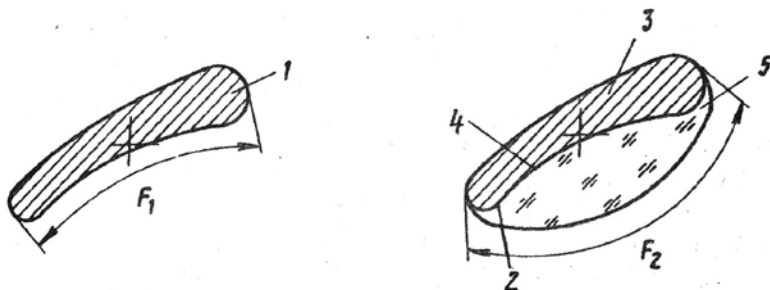
Способ определения деформации деталей фасонного профиля

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

Белорусский национальный технический университет

При измерении нежестких деталей стандартными средствами невозможно получить точные результаты из-за деформации детали в процессе измерения. Поэтому обычно используют оптические методы, для чего на деталь наносят точную координатную сетку с размером ячейки 0,05...0,15 мм [1]. Очевидно, такие методы весьма трудоемки.

Для упрощения процесса измерения предлагается временно повысить жесткость измеряемой детали [2]. Для этого на поверхность 2 измеряемой детали 3 со стороны 4, противоположной исследуемым точкам, наносится слой эпоксидной смолы или легкоплавкого материала 5. Площадь нанесения материала определяется как величина, обратно пропорциональная коэффициентам теплоотдачи измеряемой детали 3 и этого вспомогательного материала. Это обеспечивает одинаковую теплоотдачу и, следовательно, одинаковую температуру исходной и измеряемой деталей 1 и 3.



Детали 1 и 3 обрабатывают на одном станке и сравнивают координаты исследуемых точек деформируемой детали 1 и недеформируемой детали 3 с помощью, например, измерительного микроскопа. По изменению координат исследуемых точек судят о величине деформаций деформируемой детали 1. Такой подход позволяет повысить точность определения деформаций за счет увеличения жесткости детали.

Литература:

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания. – М.: Машиностроение, 1975.
2. Ивашин Э.Я. [и др.] Способ определения деформации деталей сложной формы А.С. 991158 (СССР), опубл. в Б.И. 1983, №3.

Автоматизация выбора приводов и направляющих станков

Колесников Л.А.

Белорусский национальный технический университет

Выбор параметров шариковинтовых передач (ШВП) металлорежущих станков достаточно трудоемкий, а ошибка недопустима. Поэтому фирма Rexroth разработала программу WINKGT для автоматизации этого процесса при выборе стандартных ШВП своего производства. В качестве исходных данных задаются перемещаемая приводом масса и его ресурс, параметры винта и тип гайки, а также параметры (длина ходов и скорость) типового технологического цикла обработки. Результатом расчета является перечень стандартных ШВП, удовлетворяющих всем условиям, а также подробная характеристика выбранной передачи (грузоподъемность, жесткость, расчетный ресурс и т.д.).

Расчет направляющих качения заключается в выборе одного из стандартных сочетаний кареток и рельсов-направляющих. При этом необходимо обеспечить, чтобы при обработке всех типовых деталей не были превышены статическая и динамическая грузоподъемность опор направляющих, в них не происходило раскрытия стыка, деформация в зоне резания не превосходила заданного значения и т.д. Для автоматизации многовариантного расчета всех этих параметров фирма Rexroth разработала программу Profiled Rail System. При работе в этой программе следует выбрать конфигурацию направляющих, расположение оси привода подачи и ориентацию направляющих в пространстве; задать величину и расположение центров масс перемещаемых узлов. Эти данные возможно легко и быстро изменить, что существенно ускоряет проведение многовариантных расчетов. Далее следует задать параметры типового технологического цикла работы, в том числе, например, силы резания, а также особенности конструкции направляющих (тип, предварительный натяг, класс точности и т.д.). Затем выбрать одну из предложенных направляющих и оценить величину нагрузок и деформаций на разных этапах технологического цикла.

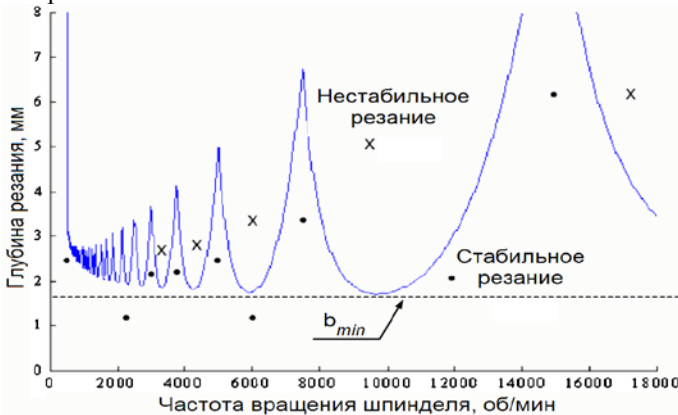
Моделирование типовых технологических циклов показало, что максимальные нагрузки на привод и каретки наблюдаются не на рабочих подачах, а при разгоне–торможении при быстрых перемещениях. Таким образом, для современных станков выбор приводов и направляющих следует производить, в первую очередь, из условия необходимых ускорений при разгоне–торможении, а не от нагрузки от силы резания, как в традиционных методиках расчета.

Оценка вибростойкости станков при резании

Колесников Л.А.

Белорусский национальный технический университет

Вибрации при металлообработке ограничивают допустимые режимы резания, приводят к снижению точности обработки и стойкости режущего инструмента, ускоренному износу узлов станка. В настоящее время основной причиной неустранимых вибраций при точении являются автоколебания, возникающие при потери устойчивости процесса резания. Обычно зависимость между частотой вращения шпинделя при точении и толщиной среза, обеспечивающей устойчивую работу станка, представляют в виде т.н. Lobe-диаграммы, пример которой показан на рисунке. Зона неустойчивой работы находится выше линии графика, зона стабильной работы – ниже этой линии.



На практике при точении наиболее полезно значение минимальной глубины резания b_{\min} , определяемой из выражения [1]:

$$b_{\min} = \frac{-1}{2 \times k_s \times G_{\text{Re}, \text{MIN}}} = \frac{2 \times k}{k_s} \times \xi \times (1 + \xi),$$

где k – жесткость СПИД, приведенной к точке резания, Н/м; k_s – удельная сила резания на единицу площади среза обрабатываемого материала, Н/м²; ξ – отношение коэффициента вязкого демпфирования h к значению критического демпфирования h_0 , $\xi = h/h_0$; $h_0 = 2 \times \sqrt{k \times m}$.

Литература:

1. Altintas Y., Weck M. Chatter stability of metal cutting and grinding // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2004. – № 53(2). – P. 619...642.

Влияние износостойких покрытий на износ зуборезных долбяков

Быков В.В., Корниевич М.А.

ПРУП «Минский тракторный завод»,

Белорусский национальный технический университет

В последнее время к инструменту предъявляются высокие требования, как по износостойкости, так и по надёжности, которые в значительной степени определяется динамическими характеристиками технологической системы. Важнейшими направлениями повышения ресурса инструмента являются нанесение износостойких покрытий, способных также эффективно противостоять динамическим нагрузкам при резании.

На Минском тракторном заводе в производственных условиях механического цеха проводились испытания долбяков с различными покрытиями при обработке детали с модулем $m=5$ мм, $z=85$, шириной венца $B=78$ мм, материал 38Х2МЮА, твердостью 269...321 НВ, дисковым долбяком $m=5$ мм, $z=20$, материал Р6М5, на станке 5А140. Сравнивались экспериментальные долбяки без покрытия и с покрытиями TiN, AlTiCrN, AlTiN и nACRo. После обработки детали инструмент снимался и замерялся износ при помощи лупы Бринелля. У долбяков без покрытия средний износ составил 0,85 мм; с покрытием TiN - 0,4 мм; с покрытием AlTiCrN - 0,35 мм; с покрытием AlTiN - 0,25 мм; с нанокompозитным покрытием nACRo - 0,2 мм. Диаграмма зависимости среднего износа долбяков от применяемого покрытия показана на рисунке 1.

Таким образом, наименьший износ инструмента обеспечивают покрытия nACRo и AlTiN. Инструмент с покрытиями отличается лучшими режущими свойствами, обеспечивая повышение периода стойкости в 1,5..2,5 раза или повышение скорости резания на 10...30 % при неизменной стойкости по сравнению с инструментом без покрытия.

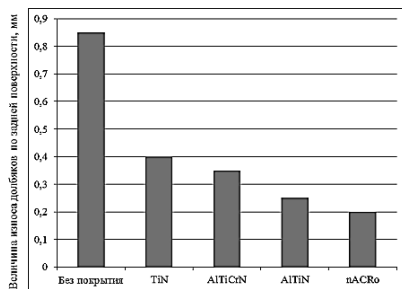


Рисунок 1 Диаграмма зависимости износа долбяков от применяемого покрытия

Анализ жесткости несущей системы осетокарного станка

Туромша В.И., Довнар С.С., Мищенко С.Н., Северинец Г.Г.
Белорусский национальный технический университет

На осетокарном станке с ЧПУ производится черновая обработка заготовок вагонной оси, получаемых методом свободнойковки. Вследствие неравномерного припуска возникают переменные силы резания, которые ведут к возбуждению колебаний в несущей системе станка, вызывая повышение напряжений и снижение жесткости и точности обработки. Для повышения виброустойчивости станка необходимо увеличить жесткость несущей системы станка.

Методом конечно-элементного моделирования [1] произведен анализ напряженно-деформированного состояния [2] несущей системы станка под действием собственного веса и приложенных внешних нагрузок. Выявлены детали с наименьшей жесткостью: стенки станины в местах установки шпиндельной бабки и люнета, передняя опора бабки, станина у фундаментных опор. Также произведен анализ жесткости заготовки при различных вариантах установки люнетов: без люнета, с одним люнетом и с двумя люнетами.

Предложено производить обработку с использованием двух люнетов, что позволяет увеличить жесткость заготовки в 2,9 раза.

Для увеличения точности обработки оси предлагается в месте крепления кронштейна люнета увеличить жесткость станины. Это достигается путем применения чугунных пластин толщиной 30 мм и поперечной перегородки в месте крепления кронштейна к станине. Кроме того, предложено увеличить площадь контакта кронштейна со станиной. При выполнении данных условий прогнозируется повышение жесткости станка в 5 раз.

Выявлено, что значительные деформаций на концах шпинделей связаны с отсутствием жесткой базы для закрепления шпиндельных бабок на станине. С учетом этого предложено изменить систему внутреннего оребрения станины и предусмотреть дополнительные ребра жесткости в районе крепления шпиндельных бабок и около фундаментных опор у основания станины.

Литература:

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов техники. – М.: Мир, 1975. – 539 с., ил.
2. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с., ил.

Анализ форм и частот колебаний осетокарного станка

Туромша В.И., Довнар С.С., Мищенко С.Н., Северинец Г.Г.
Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования является многоцелевой токарный станок с ЧПУ, построенный по блочно-модульному типу. На данном станке производится черновая обработка заготовок вагонной оси, получаемых методом свободнойковки. Переменные нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации станка приводят к возникновению интенсивных вибраций, которые могут вызывать резонансы и приводить к увеличению механических напряжений.

В рассматриваемом станке в процессе черновой обработки наблюдаются интенсивные вибрации, которые носят характер осевых автоколебаний. Потеря устойчивости системы является следствием совпадения собственных частот колебаний станка и частот колебаний, возникающих в процессе резания.

Методом конечно-элементного моделирования [1] выявлена наиболее опасная собственная частота колебаний системы – 75,42 Гц. В результате происходит снижение точности и качества обработки. Предложено установить люнет в центральной части заготовки, что приведет к увеличению собственной частоты до 150 Гц.

Выявлен ряд резонансов, связанных с колебаниями суппортов станка, которые обусловлены наличием значительных маховых масс [2]. При этом узлы двигателей продольных подач также работают как маховые массы. Предложено увеличить жесткость станины в местах крепления узлов двигателей.

Данные гармонического анализа соответствуют результатам модального исследования. Предлагается увеличить жесткость станины в местах крепления узлов двигателей, что обеспечит уменьшение амплитуды колебаний. При этом резонансные частоты останутся практически на том же уровне. Также применение люнета обеспечивает большую жесткость и увеличивает резонансную частоту практически в два раза.

Литература:

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов техники. – М.: Мир, 1975. – 539 с., ил.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1979 – Т.2: Колебания нелинейных механических систем / Под ред. И.И. Блехмана. 1979. – 351 с., ил.

Математическое моделирование и анализ процесса образования стружки при обработке деталей концевой сферической фрезой

Кочергин А.И., Ратько Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

При обработке криволинейных поверхностей концевой сферической фрезой сложно создавать математический алгоритм для полного анализа процесса. Используя геометрический метод 3D-CAD анализа можно с минимальной погрешностью прогнозировать процесс резания при различных геометрических и технологических параметрах.

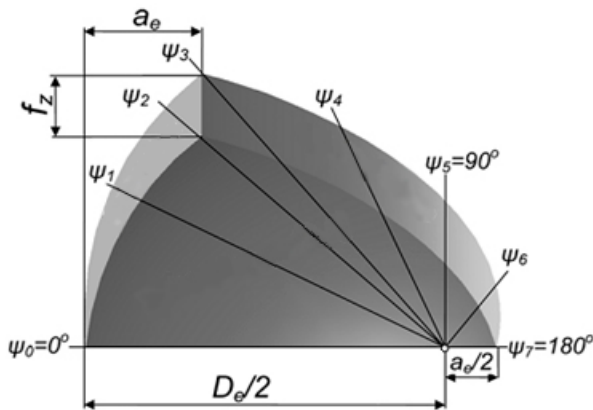


Рисунок 1 – Вид недеформированной стружки при обработке сферической концевой фрезой, определенной только геометрическими и технологическими параметрами инструмента.

В работе рассматриваются проекции радиальных сечений, которые соответствуют углу поворота режущей кромки инструмента от начальной ψ_0 до последней точки контакта ψ_7 (здесь для встречного фрезерования). При сравнении 3D модели стружки со стружкой полученной экспериментальным путем при работе фрезами разных диаметров при различных условиях, определяется величина погрешности предлагаемого метода, которая в общем случае составляет приблизительно 8%.

С помощью полученной математической модели можно определить силы резания при наличии входных параметров процесса обработки и геометрии стружки.

Математическая модель образования режущего клина концевой сферической фрезы с постоянными передними и задними углами вдоль режущей кромки

Кочергин А.И., Ратько Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Для улучшения эксплуатационных характеристик концевой сферической фрезы в описываемой математической модели учтена возможность создания равных передних и задних углов вдоль режущей кромки. Расчет и компьютерное моделирование концевой сферической фрезы позволяет усовершенствовать конструкцию и оптимизировать геометрическую форму как задних, так и передних поверхностей.

Большинство предыдущих работ фокусировались только на разработке режущей кромки, или передней поверхности, или задней поверхности, без учета условий работы. При традиционной заточке концевых сферических фрез передний угол получается переменным, что влияет на неравномерное распределение сил резания вдоль режущей кромки и на снижение эксплуатационных характеристик.

Уравнение криволинейной режущей кромки может быть выражено как:

$$r = \left\{ R \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{1 - (c\varphi)^2}, R \cdot \sin \varphi \cdot \sqrt{1 - (c\varphi)^2}, R \cdot c\varphi \right\}, c = 1 / \tan \omega,$$

где R – радиус концевой сферической фрезы, φ – полярный угол, ω – угол наклона винтовой линии режущей кромки.

В работе создана математическая модель как для передней поверхности с постоянным передним углом в нормальном сечении, так и для задней поверхности с постоянным задним углом.

Постоянные углы позволяют добиться равномерного распределения сил резания вдоль режущей кромки, улучшения схода стружки повышения и эксплуатационных характеристик концевой сферической фрезы. Предложенный метод заточки передней и задней поверхности этой фрезы осуществим при использовании системы ЧПУ с пяти осевыми связями.

Обработка производится одним и тем же коническим шлифовальным кругом стандартизованного профиля. Большой торец шлифовального круга может быть использован для шлифования передней поверхности, а его наружная коническая поверхность – для обработки задней поверхности. Это позволяет существенно снизить время изготовления инструмента и избавляет от необходимости проектирования и изготовления инструментов второго порядка (профилирования и заправки шлифовальных кругов).

Экономика и организация машиностроительного производства

**Экономические аспекты классификации новой техники
в ходе технической подготовки производства**

Адаменкова С.И., Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

При составлении плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ техника обычно классифицируется по двум направлениям: тип и сложность, Тип отражает степень новизны конструкции, а группа сложности соответствует конструкторско-технологической сложности новой машины. По типам различают:

- Принципиально новая машина – вид техники, являющийся новым для предприятия-изготовителя и ранее не проектируемым;
- Новая машина, расширяющая модельный ряд техники;
- Серийно выпускаемая в настоящее время машина;
- Модификация – видоизменение базовой машины для создания ее разновидности с целью расширения или специализации сферы применения. Причем базовая машина сохраняется в производстве;
- Модернизация – усовершенствование базовой машины с целью замены морально устаревших систем и узлов для улучшения технико-эксплуатационных характеристик при сохранении основных элементов конструкции. При этом производство базовой машины прекращается.

При классификации техники по сложности машины делятся экспертным путем на группы сложности (1-я, 2-я и максимально сложная 3-я).

Однако классификация по типам и группам сложности не отражает степень важности машины для предприятия, не определяет очередность разработки. В классификацию техники предлагаем ввести новое понятие *«группа экономической значимости машины»* – это характеристика экономической эффективности разрабатываемой модели техники для предприятия, устанавливаемая в зависимости от прогнозных показателей маркетинговых служб по объемам продаж и ценам техники в будущем.

К 1-й группе значимости отнесем машины, которые определяют хозяйственную политику и экономическую стабильность предприятия, имеют наиболее значительные прогнозные объемы реализации. 2-я группа значимости – машины, представляющие новое направление деятельности предприятия и могут дать в будущем существенный экономический эффект. 3-я группа значимости – машины, создаваемые для расширения товарного ассортимента ряда. Группа экономической значимости новой модели машины определяет степень важности для предприятия результативной работы ответственного за машину конструктора в ходе ее создания.

Стимулирование труда ответственного за разработку новой машины конструктора

Адаменкова С.И., Ефимчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс создания новой техники достаточно сложный и состоит из целого ряда этапов, начиная с согласования ТЗ и заканчивая постановкой на серию. На каждом этапе ее разработки необходимо стимулировать эффективный труд ответственного за машину конструктора. Для этого на предприятиях используется система премирования. Однако показатели премирования ответственных за машины носят общий характер, а размер премии в конечном итоге зависит от решения Генерального конструктора.

Целесообразно не останавливаться только на премировании и ввести более действенный стимул – персональную надбавку ответственному за машину конструктору с учетом типа, группы сложности и группы экономической значимости разрабатываемой им модели техники.

В первую очередь и в большем размере необходимо стимулировать разработку техники 1-ой группы экономической значимости, т.к. ее создание является экономически приоритетным для предприятия. Также на величину персональной надбавки влияет группа сложности новой техники (1, 2 и 3 max) и ее тип (ПНМ – принципиально новая, НМРС – расширяющая модельный ряд, МД – модернизация, МФ – модификация). Приведенная ниже таблица, отражает взаимосвязь классификационных факторов техники и размера персональной надбавки.

Тип техники	Группа сложности	Группа экономической значимости		
		1	2	3
ПНМ, НМРС	1	800 у.е.	700 у.е.	600 у.е.
	2	1000 у.е.	900 у.е.	800 у.е.
	3	1200 у.е.	1100 у.е.	1000 у.е.
МД, МФ	1	400 у.е.	350 у.е.	300 у.е.
	2	450 у.е.	400 у.е.	350 у.е.
	3	700 у.е.	600 у.е.	500 у.е.

По данным таблицы определяется сумма ежемесячной надбавки ответственного за машину, которая выплачивается ему при соблюдении высокого уровня качества и календарных сроков разработки техники.

Полагаем, что применение персональной надбавки ответственному за машину конструктору будет способствовать сокращению сроков конструкторской подготовки производства новой техники и улучшению ее технико-эксплуатационных характеристик.

**Системный подход в управлении ресурсосбережения на
промышленных предприятиях**

Балашенко В.Ф., Малашёнок Д.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях конкуренции, преимущественное положение на рынке принадлежит предприятиям, активно проводящим политику ресурсосбережения. Это вызвано в первую очередь материалоемкостью и энергоёмкостью продукции, самыми высокими тарифами на электроэнергию для предприятий среди европейских стран. Следовательно, промышленным предприятиям необходимо обратить свое внимание на качество управления ресурсосбережением. Опыт показывает, что на большинстве предприятий учет потребления ресурсов ведется локально, децентрализованно, нет системности учета; вызывает сомнение уровень подготовки персонала предприятия. Следовательно, очевидна необходимость комплексного управления потреблением ресурсов в системе предприятия. Для реализации данного принципа в управлении предприятием предлагается организовать ресурсосберегающую производственную систему (РПС) – совокупность структурных элементов, конкретных организационных форм, методов и условий по формированию, реализации и развитию ресурсосберегающей деятельности.

Системный подход к организации и управлению РПС предполагает взаимодействие подразделений и должностных лиц, ответственных за исполнение отдельных функций по ресурсосбережению, с учетом особенностей организации производства на предприятии. Конкретные формы взаимодействия служб устанавливаются в зависимости от основных задач ресурсосбережения и предполагают раздельное исполнение установленных функций по ресурсосбережению соответствующими службами с передачей необходимой информации с помощью современных информационных технологий специальному «бюро». Таким образом, централизованная модель управления ресурсами предприятия в системе предприятия, является более адекватной современному производственному менеджменту.

Системный подход к управлению ресурсосбережением позволит более эффективно использовать ресурсы предприятия через интеграцию всей сфер деятельности предприятия в ресурсосберегающей производственной системе.

Критерии и показатели оценки необходимости и целесообразности использования механизма ресурсосбережения на промышленных предприятиях

Балашенко В.Ф., Малашёнок Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Анализ литературных и нормативно-методических материалов свидетельствует о том, что в настоящее время отсутствует единая система критериев использования механизма ресурсосбережения на промышленных предприятиях.

В ходе анализа выявлена наиболее эффективная система критериев. Критерии эффективности использования механизма ресурсосбережения заложены в логике расположения темпов показателей оценки эффективности:

– темп вложений в природоохранные мероприятия и обеспечение техногенной безопасности должен быть максимальным;

– вложения промышленных предприятий в развитие человеческого капитала их сотрудников должны расти максимальными темпами, превышающими прибыли и инвестиций;

– темп роста инвестиций ресурсосберегающие технологии должен опережать темп роста общего объема инвестиций. Данное соотношение количественно отражает стратегический приоритет инновационной модернизации промышленного предприятия;

– темп роста инвестиций, осуществляемых промышленной системой, должен опережать темп роста генерируемой ею прибыли;

– темп роста чистой прибыли должен превышать темп роста валовой прибыли. Подобное соотношение может свидетельствовать об оптимизации коммерческих, управленческих, операционных расходов, что позитивно характеризует процесс экономии ограниченных ресурсов;

– темп роста численности ППП должен превышать темп роста численности рабочих, непосредственно задействованных в производственном процессе. Это свидетельствует об эффективном использовании информационных технологий производства и экономии ресурса «живого труда»

В целом, методика предоставляет возможность комплексно системно, количественно оценить уровень эффективности ресурсосбережения исследуемой промышленной системы и разработать рекомендации по его совершенствованию.

Реинжиниринг цепи поставки путем изменения системы транспортировки

Бутор Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Управление цепями поставок – это интеграция ключевых бизнес-процессов (в основном логистических), начинающихся от конечного потребителя и охватывающих всех посредников и поставщиков продукции, услуг и информации, добавляющих ценность для потребителей и других заинтересованных лиц.

В зависимости от количества звеньев, различают три уровня сложности цепей поставок: 1) прямая цепь поставок; 2) расширенная цепь поставок; 3) максимальная цепь поставок.

Объектная декомпозиция предполагает разделение цепи поставок на составляющие: подсистемы, звенья, элементы, каналы, цепи и т.д.

Существуют различные подходы к планированию поставок. Управление организационными изменениями в цепях поставок можно осуществить, основываясь на четырех основных подходах: 1) методика быстрого анализа решения (FAST); 2) бенчмаркинг процесса; 3) перепроектирование процесса; 4) реинжиниринг процесса.

Реинжиниринг – это концепция проектирования цепи поставок по горизонтальным или идущим от начала и до конца отдельным работам при создании ценности для потребителя в виде транспортных услуг. Он предполагает отказ от функций и переход на процессные методы работ.

Для того, чтобы процесс изменения системы транспортировки был максимально эффективным, необходимо четко представлять, чего и как надо добиться в конечном результате, т.е. должна быть некая «идеальная» модель, уже существующая и применяемая при управлении другими цепями поставок (методика использования лучшей практики) или спроектированная в «лабораторных» условиях (с помощью имитационного моделирования).

Необходимой базой для реинжиниринга является объединение всех информационных систем предприятия в одну сеть, а также пополнение библиотеки программного обеспечения новыми пакетами программ.

При организации же цепи поставки наибольшее значение будет иметь взаимодействие логистики и маркетинга, которые и будут отвечать за эффективность ее функционирования. При успешном проведении реинжиниринга процесса поставок с изменением системы транспортировки происходит снижение затрат и длительности цикла на 60-90%.

Преимущества использования концепции SCM при управлении логистикой

Бутор Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Управление логистикой, и, в частности, цепью поставок, можно рассматривать как стратегический фактор баланса между ориентацией на клиента и выгодным ростом. В цепи поставок, как и на предприятиях-участниках, осуществляется целенаправленное построение организации процессов с ориентацией на потребности клиентов.

Одним из инструментов для усиления конкурентных преимуществ предприятия является SCM (Supply Chain Management – управление цепочкой поставок). Интегрированная информационная система позволяет работать с информацией в режиме «on-line», она выполняет главенствующую роль для координации и управления вновь сложившимися взаимоотношениями как внутри самого предприятия, так и цепи поставок в целом. Применение концепции SCM позволяет предприятиям начать разработку собственных моделей управления логистикой на основе уже готового набора функций и процессов, т.к. она объединяет в единую кросс-функциональную структуру наиболее известные концепции реинжиниринга, бенчмаркинга и лучших практик.

При организации SCM происходит смещение акцента от управления отдельными видами ресурсов к интегрированной оптимизации всех логистических процессов: управление взаимоотношениями с потребителями; обслуживание потребителей; управление спросом; управление выполнением заказов; поддержка производственных процессов; управление снабжением; управление разработкой продукции; управление возвратными материальными потоками и т.д.

Для оценки эффективности использования концепции SCM при управлении логистикой необходимо определить и учитывать логистические показатели. Стандартными показателями являются: уровень издержек, скорость прохождения товара по цепи поставок, время реагирования цепочки поставок на изменение рынка, надежность, эффективность управления товарными запасами.

Практика показывает, что внедрение SCM позволяет достичь увеличения прибыли от 5 до 15%; снижения стоимости и времени обработки заказа от 20 до 40%; сокращения производственных затрат от 5 до 15%; увеличения качества обслуживания; снижения складских запасов от 20 до 40%; сокращения закупочных издержек от 5 до 15% и т.д.

Оценка эффективности ремонтного хозяйства

Василевич В.И.

Белорусский национальный технический университет

При анализе работы ремонтных хозяйств используется большой круг технико-экономических показателей: уровень издержек на ремонты и техническое обслуживание, затраты на 1000 единиц ремонтосложности, внутрисменная загрузка оборудования и простои по технической неисправности, время простоя оборудования в ремонтах и др. Анализ трудоемкости, материалоемкости и себестоимости ремонтов позволяет вскрыть резервы повышения эффективности работы ремонтной службы.

Наиболее рациональным показателем эффективности ремонтного хозяйства являются обобщающие показатели. В этих условиях наиболее рационально применять обобщающий показатель эффективности работы ремонтного хозяйства. Критерием эффективности этой службы является величина затрат, обеспечивающих требуемый ресурс работы оборудования при условии выполнения плановых заданий предприятия.

В качестве обобщающего показателя эффективности работы ремонтного хозяйства завода предлагается применять суммарные затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием оборудования, приходящиеся на один станко-час его работы. Такой расчет предлагается осуществлять по формуле

$$\mathcal{E}_p = \frac{C_{т.р} + C_{п.р} + K \cdot a}{N_r \cdot t_{шт} \cdot K_{м.в}},$$

где \mathcal{E}_p – удельные затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием оборудования;

$C_{т.р}$ – текущие затраты предприятия на ремонт и техническое обслуживание оборудования и на содержание ремонтной службы;

$C_{п.р}$ – потери, связанные с аварийными ремонтами, низким качеством ремонтов и ухудшением эксплуатационных параметров оборудования в результате низкого уровня организации ремонтов и технического обслуживания;

K – капитальные вложения в основные средства ремонтной службы предприятия;

a – коэффициент рентабельности основных средств предприятия;

N_r – годовая программа предприятия в натуральном измерении;

$t_{шт}$ – штучное время изделия;

$K_{м.в}$ – коэффициент, учитывающий долю машинного времени в штучном времени изделия.

**Анализ развития информационных маркетинговых коммуникаций
на развивающихся рынках: перспективы Республики Беларусь**

Глубокий С.В., Русак Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Применение маркетинговых коммуникаций в производственной деятельности при позиционировании товара внутри государства или продвижении продукта на зарубежные рынки должно учитывать сложившиеся правила в стране и ее культуру, существующий государственный строй и инфраструктуру, уникальность и традиции населения. Без учета этих факторов использование успешных, сложившихся и отработанных маркетинговых стратегий западных стран на развивающихся рынках не приносит должного эффекта. Для реализации маркетинговой политики предприятия осваиваемый рынок можно проанализировать с помощью следующих показателей.

Экономическая инфраструктура и роль государства. Показателем стандарта и уровня жизни в стране является уровень ВВП. Для маркетологов этот показатель позволяет проанализировать потенциал рынка и оказывает помощь при выборе ценовых решений, а статьи, формирующие ВВП, указывают на приоритетные пути развития и продвижения продукции. Степень экономической свободы является индикатором количества допустимых методов использования рычагов производства и сбыта, применения информационных маркетинговых коммуникаций (ИМК). Степень бюрократии указывает, в какой мере нормативно-правовые системы препятствуют или помогают предприятиям осуществлять свою деятельность, в том числе и маркетинговую, в стране. Широта распространения теневого рынка определяет возможные трудности с идентификацией потребителем продвигаемой продукции. Так, неграмотная маркетинговая деятельность предприятия может способствовать увеличению сбыта продукции-подделки на теневом рынке, потере репутации и доверия к производителю.

Использование СМИ характеризуется следующими показателями: развитием информационно-коммуникационных технологий, развитием цифровых технологий, степенью свободы использования СМИ. Стратегия ИМК должна создавать непротиворечивый образ продукции через синергетические связи на различных каналах средств массовой информации. Проблема в выборе стратегии ИМК заключается в достижении правильного баланса, не только в отношении к культурным ценностям и традициям, но и в условиях донесения сообщений по различным каналам до определенных сегментов потребителей.

Оценка эффективности маркетинговых коммуникаций промышленного предприятия

Глубокий С.В., Русак Е.К.

Белорусский национальный технический университет

Помимо воздействия маркетинговых коммуникаций (МК), на продажу продукта оказывают влияние многие внутренние и внешние факторы. К внутренним факторам в данном разрезе относятся качество продукта, его цена, упаковка. Внешние факторы включают в себя покупательскую способность населения, уровень конкуренции в данной группе, уровень культуры обслуживания. Все эти факторы вызывают сложность определения экономического эффекта именно от применения маркетинговых коммуникаций, поскольку абстрагироваться от вышеперечисленных факторов невозможно. Поэтому целесообразно произвести разделение показателей эффективности маркетинговых коммуникаций на экономические и коммуникативные.

К коммуникативной эффективности можно отнести число новых привлеченных клиентов и посредников, степень укрепления имиджа предприятия, степень увеличения узнаваемости бренда, степень убежденности потребителей в качестве выпускаемой продукции. Такие показатели представляют собой относительную меру измерения эффективности.

К экономическим методам относятся как классические методы оценки эффективности маркетинговых коммуникаций (дополнительный товарооборот, соотношению между дополнительной прибылью и расходами на МК, эффективность затрат на МК), так и эконометрические, основанные на применении регрессионных моделей. Традиционная линейная зависимость величины прибыли от расходов на МК не учитывает временное смещение действия маркетинговых коммуникаций и влияние размеров затрат на маркетинговые коммуникации на величину сбыта. Наиболее точную интерпретацию зависимости дает логарифмическая функция (формула 1).

$$Y = a + \frac{(X_{\text{нр}} - a) \cdot X}{b + X} \quad (1)$$

где Y – прибыль; a – прибыль при неиспользовании маркетинговых коммуникаций; b – коэффициент регрессии; X – расходы на маркетинговые коммуникации; $X_{\text{нр}}$ – предельная граница насыщения спроса.

Данное уравнение показывает, что существует такое значение X , при котором дальнейшее увеличение затрат на маркетинговые коммуникации ведет все более к меньшему отклику потребителей.

УДК 65.011

Проблемы внедрения информационных технологий на промышленных предприятиях Республики Беларусь

Демяшкевич В.А., Плясунков А.В.

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 автоматизации и упрощению все большего числа выполняемых работ с целью создания условий для лучшего контроля, максимально эффективного использования и распределения ресурсов, сокращения времени получения и повышения качества данных, необходимых для принятия оперативных и стратегических управленческих решений.

Процесс внедрения информационных технологий на промышленных предприятиях Республики Беларусь нельзя назвать динамичным. В то время как руководство конкурентов наших предприятий анализирует, каким образом улучшить существующие информационные системы, какие новые возможности и преимущества могут дать выводимые на рынок новые информационные продукты, руководство на наших предприятиях не вполне уверено в необходимости внедрения подобных систем. Возникновение таких сомнений объясняется рядом препятствий, к которым можно отнести:

1. Сложность расчета прямых и уж тем более косвенных выгод от реализации проекта;
2. Длительный процесс внедрения, связывающий как денежные средства, так и трудовые ресурсы;
3. Отсутствие готовности работников принять изменения в сложившемся рабочем процессе;
4. Высокие риски недостижения поставленных задач.

Внедрение предполагает серьезные изменения в бизнес-процессах компании, обусловленные методологией внедрения и имеющейся функциональностью внедряемых систем, что, безусловно, как минимум, увеличивает осторожность руководства в принятии решения. Здесь нужно понимать, что информационные системы изначально проектировались на основе успешных практик многих предприятий и изменения в

сложившемся способе ведения бизнеса приведут, в основном, только к положительным результатам.

**Проблемы адаптации автоматизированных систем управления на
промышленных предприятиях Республики Беларусь**

Демяшкевич В.А., Плясунков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблемы адаптации автоматизированных систем управления на промышленных предприятиях являются актуальными как для Республики Беларусь, так и для стран ближнего и дальнего зарубежья.

Основной задачей автоматизированных систем управления является автоматизация бизнес-процессов компании (производства, снабжения, сбыта), а также управленческих функций (планирования, учета, контроля). Однако внедрение подобных систем не всегда приносит желаемые результаты.

Результативность автоматизированных систем управления в значительной мере зависит от их настройки под определенные задачи конкретного предприятия.

Только правильно спроектированная и настроенная система «помогает» сделать работу предприятия более управляемой и «прозрачной» для руководства.

Серьезные и хорошо отлаженные АСУ, в большинстве своем, являются продуктом западных компаний, которые проектируют эти системы на основе успешных практик ведения бизнеса иностранных компаний и, как следствие, при их внедрении возникает несогласованность, связанная с разной спецификой ведения бизнеса, что в свою очередь требует серьезного реинжиниринга сложившихся бизнес-процессов предприятия, либо адаптации работников предприятия к встроеным моделям. Впрочем, всегда можно найти «золотую середину», но в таком случае, для нахождения этой «золотой середины» необходимо дополнительное время, денежные и трудовые ресурсы.

Для успешной адаптации АСУ на отечественном промышленном предприятии необходимо придерживаться следующих основополагающих принципов:

1. Проектирование АСУ с учетом стратегии развития компании;
2. Проектирование системы должно происходить «сверху – вниз»;
3. Уклонение от избыточного реинжиниринга бизнес-процессов;
4. Четкое представление экономического эффекта, который получит предприятие от внедрения АСУ;
5. Заинтересованность и непосредственное участие на всех стадиях процесса руководства высшего звена.

Обоснование процедуры санации субъектов хозяйствования в условиях экономической несостоятельности

Зеленковская Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Проблема поиска путей санации неплатежеспособных белорусских предприятий и организаций является первоочередной задачей современной практики хозяйственной деятельности.

Изучение научных трудов экономистов и нормативной базы Республики Беларусь по проведению процедуры санации позволило разработать методику, предназначенную для оценки уровня экономической состоятельности: мониторинга и диагностики хозяйственно-финансового состояния по выбранным показателям. Цель данной процедуры – уточнить уровень экономической состоятельности с учетом наличия возможности у предприятия дальнейшего развития.

Методика оценки экономической состоятельности включает:

- сопоставление фактического объема продаж с критическими (ликвидным объемом продаж, безубыточным объемом продаж и объемом необходимой прибыльности);

- оценку структуры бухгалтерского баланса, а также платежеспособности организации. Критерием может быть коэффициент обеспеченности собственных оборотных средств или коэффициент текущей ликвидности;

- сопоставление уровня платежеспособности организации с уровнем покрытия затрат от производства и реализации продукции, составление матрицы экономической состоятельности. В результате сочетания показателей предприятие может попасть любую из 12 зон матрицы, согласно чего определяется уровень экономической состоятельности предприятия;

- определение коэффициента обеспеченности просроченной задолженности активами и уточнение на его основе экономической состоятельности предприятия с учетом уровня его просроченных обязательств.

Детализировать уровень экономической состоятельности предприятия можно исходя и из дополнительных критериев. В соответствии с предлагаемым методическим подходом выполняется оценка финансово-хозяйственной деятельности предприятий и организаций и устанавливаются пределы экономической состоятельности.

**Волатильность финансовой прочности предприятий
обрабатывающей промышленности Республики Беларусь**

Ивашутин А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Современное состояние белорусской экономики во многом зависит от международной экономической конъюнктуры. Рецессия во многих странах влияет и на загрузку белорусских предприятий. Неустойчивые договорные отношения приводят к колебаниям объемов производства. Существует также проблема малопредсказуемых цен на сырье, топливно-энергетические ресурсы, готовую продукцию. Все это приводит к тому, что, во-первых, запас финансовой прочности (ЗФП) у предприятий невысокий, во-вторых, наблюдается большая волатильность (изменчивость) этого показателя. На основе концепции операционного анализа разработана методика оценки финансовой прочности в условиях информационного дефицита и проведена ее апробация на примере белорусских предприятий обрабатывающей промышленности. Информационной базой исследования явились данные республиканского центрального депозитария ценных бумаг об основных показателях работы предприятий акционерного типа.

Запас финансовой прочности можно считать показателем риска, так как он показывает долю (%) выручки, которую предприятие может потерять при неблагоприятной ситуации на рынке, работая в худшем случае с нулевой прибылью. При разработке методики расчета ЗФП основная проблема была связана с корректным определением доли переменных затрат (эти данные отсутствуют в отчетах депозитария). Эту информацию с достаточной степенью точности удалось получить, проанализировав имеющуюся открытую информацию по укрупненной структуре затрат предприятий разных видов экономической деятельности.

Волатильность может быть динамической и структурной. Анализ структурной волатильности показал, что в среднем в обрабатывающей промышленности (анализировалось 754 предприятия) ЗФП равен 27,9% и среднеквадратическое отклонение по этому показателю (σ) составило 19,1%. На предприятиях по производству транспортных средств и оборудования эти показатели соответственно равны 36,7% и 20,0%. Наиболее устойчиво чувствуют себя предприятия по производству пищевых продуктов (ЗФП=31,5% и σ =15,7%) и по производству электрооборудования (ЗФП=32,6% и σ =16,7%). В худшей ситуации находятся предприятия по производству машин и оборудования (ЗФП=24,4% и σ =18,0%).

Зарубежный опыт образования кластерных структур

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Изучая опыт различных стран, можно выделить два основных подхода (направления) современной политики в отношении поддержки формирования кластеров: восходящий и нисходящий.

Восходящий подход сосредотачивается на обеспечении эффективного функционирования рынка и ликвидации рыночного дефицита. Отправная точка – инициативы, порождаемые рынком, при этом правительство действует как помощник и регулятор, но не устанавливает нерушимые и ограниченные национальные и региональные приоритеты.

При *нисходящем* подходе правительство (в процессе консультаций с отраслями промышленности и исследовательскими агентствами) устанавливает региональные и национальные приоритеты, формулирует стимулирующее видение для будущего (до формирования процесса диалога), выбирает субъектов, которые будут вовлечены в диалог. Этот подход характерен для скандинавских странах.

Опыт зарубежных стран в формировании кластеров позволяет выделить по роли государства четыре типа кластерной политики:

- каталитическая – правительство сводит заинтересованные стороны (например, частные компании и исследовательские организации) между собой, но обеспечивает ограниченную финансовую поддержку реализации проекта;

- поддерживающая – каталитическая функция государства дополняется его инвестициями в инфраструктуру регионов, образование, маркетинг для стимулирования развития кластеров;

- директивная – поддерживающая функция государства дополняется проведением специальных программ, нацеленных на трансформацию специализации регионов через развитие кластеров;

- интервенционистская – правительство наряду с выполнением своей директивной функции перенимает у частного сектора ответственность за принятие решения о дальнейшем развитии кластеров и посредством трансфертов, субсидий, ограничений или регулирования, а также активного контроля над фирмами в кластере формирует его специализацию.

Каждое государство разрабатывает собственные подходы к образованию кластеров и их управлению и соответственно по-своему организует деятельность государственных органов.

Оптимизация жизненного цикла продукции машиностроения

Королько А.А.

Белорусский национальный технический университет

При разработке информационных технологий совершенствования организации производства на предприятиях машиностроения широко используется комплексный показатель – жизненный цикл изделия, который состоит из следующих этапов: маркетинг, проектирование, изготовление, эксплуатация и утилизация.

Главная задача маркетинга заключается в разработке технико-экономического обоснования и технического задания на проектирование нового изделия. Рынок не относится к этапам жизненного цикла изделия. Однако его роль крайне высока, так как данный этап является критерием эффективности жизненного цикла. Все ошибки менеджмента на предыдущих этапах здесь проявляются в виде упущенной прибыли. Кроме того рынок традиционно связан прямыми и обратными связями с маркетингом.

На этапе эксплуатации изделие переходит в собственность потребителя за исключением лизинговых операций. Однако оптимизация жизненного цикла требует постоянной связи между производителем и потребителем. Особенно важна эта связь, когда изделие уже выработало свой срок службы и стоит вопрос о его замене. Кроме того для замыкания жизненного цикла необходимо чтобы изношенное изделие вернулось в службу утилизации производителя. Данная практика имеет место в автомобильной промышленности ФРГ, Японии и других стран.

Получив в свое распоряжение изношенное изделие, изготовитель путем дефектации и диагностики может получить полную информацию о причинах его износа. Кроме того ряд узлов и деталей можно восстановить и повторно использовать в новых изделиях. Данную концепцию замыкания жизненного цикла необходимо рассматривать на этапах маркетинга и проектирования и учитывать в текущих издержках в период эксплуатации. Главным показателем оценки эффективности использования продукции машиностроения является коэффициент экономической эффективности эксплуатации изделия на протяжении его жизненного цикла

$$K_3 = \frac{C_{\Sigma} - C_{ж}}{C_{ж}},$$

где C_{Σ} – суммарная стоимость произведенной продукции за ЖЦИ;

$C_{ж}$ – общая стоимость ЖЦИ.

Научно-инновационная система развития социально-ориентированной экономики, ее сущность и структура

Королько А.А., Королько О.В.

Белорусский национальный технический университет

Основой развития научно-инновационной системы социально-ориентированной экономики является научно-инновационный потенциал, который представляет собой совокупность ресурсов, необходимых и достаточных для осуществления инновационной деятельности и обеспечения ее эффективности.

Однако научно-инновационный потенциал сам по себе не превратится в инновации и инновационный продукт, так как любой потенциал есть лишь возможность.

Реализуется инновационный потенциал при использовании его в научно-инновационной системе, под которой понимается целостная совокупность взаимосвязанных компонентов, взаимодействие которых обеспечивает получение инновационного эффекта.

Важнейшими составляющими научно-инновационной системы являются: система формирования кадров, обладающих инновационными способностями и навыками; сеть научных учреждений; инновационноспособное производство; инновационную инфраструктуру; механизм финансирования инновационной деятельности; нормативно-правовую базу; организационно-управленческий механизм; механизм международного научно-технического сотрудничества, позволяющего находиться в поле зрения мировых инновационных достижений.

Для обеспечения эффективности развития научно-инновационной системы социально-ориентированной экономики на государственном уровне необходимо решить следующие задачи:

- совершенствовать правовое обеспечение инновационной деятельности;
- существенно увеличить расходы на организацию инновационной деятельности; повысить инновационную активность действующих субъектов хозяйствования;
- разработать приоритетные направления научно-технической и инновационной деятельности;
- активизировать инновационную деятельность с целью обеспечения ускоренного роста объектов производства и повысить качество и конкурентоспособность производимой продукции.

УДК 658.7(075.8)

Пути повышения эффективности закупочной деятельности промышленного предприятия (на примере ОАО «МАЗ»)

Короткевич Л.М., Рябоконе Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность функционирования современного промышленного предприятия во многом определяется эффективностью функционирования отдельных бизнес-процессов, протекающих внутри хозяйствующего субъекта. Процесс снабжения (закупок) – играет одну из ключевых ролей, оказывая существенное влияние на конкурентоспособность и устойчивость предприятия. Несмотря на то, что большинство исследователей отводят ключевую роль специалистам по продажам, следует отметить, что максимизировать прибыль можно не только за счет высоких продаж, но и по средствам минимально возможных затрат на изготовление продукции или приобретение материалов, услуг.

Тип и размер предприятия – определяющие факторы при организации снабжения. На ОАО «МАЗ» сотни людей занимаются снабжением, координируя огромные закупки материалов.

Управление снабжением металлов, управление материального снабжения, управление внешней кооперации отвечают за поставку сырья, материалов и комплектующих из стран СНГ. Управление внешнеэкономических связей занимается приобретением сырья, материалов, комплектующих и изделий для нужд конвейера из стран дальнего зарубежья и Прибалтики. Управление закупок оборудования и запасных частей отвечает за единичные поставки запасных частей и оборудования. Такой тип системы закупок называют децентрализованным. Основные достоинства децентрализованной системы – структурная гибкость и относительная независимость отдельных подразделений.

К недостаткам такой модели относят – опасность принятия ошибочного решения при неполном понимании общей картины, ситуации; опасность несвоевременного реагирования организации к изменению внешних факторов; несовпадение целей «низших управленцев» с целями предприятия; затруднено внедрение «инновационных» подходов и разработок.

На наш взгляд, данная система не в полной мере отвечает требованиям эффективной системы закупочной деятельности рассматриваемого машиностроительного предприятия. Создание единой службы материально-технического обеспечения ОАО «МАЗ» позволит усилить и одновременно упростить управление закупками внутри организации.

**Методология формирования стратегии инновационного развития
промышленного предприятия**

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях ускорения темпов экономического развития перед руководством предприятий стоят задачи по поиску, созданию и реализации конкурентных преимуществ, которые бы позволяли адаптироваться к быстро изменяющимся условиям внешней среды. Анализ внешнеэкономических данных по странам, вошедшим в десятку лидеров по глобальному индексу инноваций за 2012 год (Беларусь в данном рейтинге на 78 месте из 141 страны) показал их более высокие темпы экономического роста по сравнению с другими странами. Инновации – это возможность соответствовать требованиям современного мира. Выбор стратегии и определение конкретных инновационных проектов для реализации зависит, прежде всего, от выбранного направления инновационного развития предприятия. Предлагается такое развитие рассматривать с позиций эволюционного и революционного подхода. Основу эволюционного подхода составляют: совершенствование технологии, модернизация оборудования, развитие уже имеющейся продукции. Это путь использования улучшающих инноваций. Предприятия, ориентирующиеся на данный путь развития, как правило, не являются лидерами рынка. Противоположный путь – революционное развитие. Это путь внедрения радикальных инновационных решений, направленных на изменения внутреннего потенциала предприятия, который выводит его на новый уровень развития. Анализ форм инновационной активности предприятий показал, что большинство предприятий в настоящее время реализует эволюционный подход, способствующий обеспечению модернизации промышленности. Он предполагает радикальное переоснащение производства в соответствии с современными требованиями к технике и технологиям. Следующим этапом предполагается постепенный переход к революционному экономическому развитию. Такое инновационное развитие может проходить при последовательной реализации трех стратегий: заимствования, догоняющего и опережающего развития. При этом, для перехода на более высокий уровень стратегии необходимо, чтобы потенциал достижений науки постоянно опережал потребности инновационного развития самих предприятий. Следовательно, методология формирования стратегии инновационного развития предприятия должна разрабатываться в рамках системного подходе.

Моделирование системы показателей управления инновационной деятельностью промышленного предприятия

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Выбор стратегии базируется на результатах оценки внутренней и внешней инновационной среды предприятия, которая осуществляется на основе различных показателей. Учеными предложены различные методы повышения эффективности управления инновационной деятельностью (ИД), разнообразные показатели для ее оценки. Показатели оценки изменялись, с одной стороны, вследствие развития методов оценки экономической эффективности, а с другой стороны, их недостаточности для решения задачи комплексного охвата всех бизнес-процессов инновационно-ориентированных предприятий. В теории и практике управления предприятием это означает постепенный переход от учета бухгалтерского, фиксирующего результаты работы предприятия и позволяющего проводить финансовый анализ его деятельности, или управленческого, призванного решать оперативные задачи по управлению важнейшими показателями, к управлению по целям, опирающемуся на стратегический подход и моделирование бизнес-процессов. В качестве модели системы показателей проектно-ориентированного управления предлагается использовать систему сбалансированных показателей. Для реализации данного подхода была построена структурно-параметрическая матрица исходных данных, основанная на систематизации по отдельным блокам сбалансированной системы показателей и установления взаимосвязей между показателями по направлениям стратегической карты. Затем строится структурная матрица корреляционной зависимости сбалансированных показателей. Матрица представляет собой полное описание структуры сбалансированной системы показателей и значимости связей между параметрами и факторами, определяющими величину этих показателей. Выделение из всей совокупности факторов, влияющих на величины системы сбалансированных показателей, групп параметров, связанных отношениями конфликта, сотрудничества или безразличия предлагается проводить с использованием коэффициентов парной корреляции. Предложенное структурирование потоков информации, вовлечение в информационный обмен работников компании, а также ее подразделений, позволяет, используя современные инновационные методы и модели, повысить конкурентоспособность организации через улучшение систем управления всеми уровнями деятельности.

Интернет-сервисы и особенности их корпоративного применения

Лавренова О.А., Трусов Д.И.

Белорусский национальный технический университет

В современных экономических условиях одним из национальных приоритетов Республики Беларусь является развитие информационного общества, а информационно-коммуникационные технологии (далее – ИКТ) признаны одним из ключевых факторов инновационного развития экономики.

Активное развитие сети Интернет и повсеместное внедрение интернет-сервисов ставит перед компаниями ряд вопросов по их эффективному применению.

Исследование рынка интернет-сервисов позволяет выделить такой наиболее значимый для их применения признак, как способ доступа к сервису, в соответствии с которым различают две группы сервисов: прямого и отложенного доступа.

С точки зрения функционального назначения сервисы можно рассматривать как информационные и коммуникационные. К сервисам прямого доступа информационного назначения относятся сайты Веб 2.0 во всем их многообразии: от сайта-визитки предпринимателя до профессиональных социальных сетей, а также сервис FTP.

С точки зрения организации деловых коммуникаций, наиболее популярными являются: IP-телефония, сервисы мгновенных сообщений, а также сервисы отложенного доступа, такие как: электронная почта и списки рассылки. Для интернет-сервисов характерны индивидуальные особенности, которые необходимо учитывать при разработке политики их применения.

Наличие взвешенной корпоративной политики, соблюдение положений которой обязательно для всех работников, позволит избежать таких негативных последствий бесконтрольного доступа к интернет-сервисам на рабочем месте как: несанкционированный доступ к коммерческой информации и ее, нежелательная утечка, нерациональное использование рабочего времени в личных интересах работников, снижение эффективности управленческого труда и т.п..

Мировой опыт показывает, что эффективность корпоративного применения интернет-сервисов зависит не только от уровня квалификации работников, но и от уровня корпоративной культуры, формированию которой следует уделять достаточно внимания.

Теория и практика модернизации

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Все многообразие теорий модернизации можно разделить на два основных направления: классические (1855-1915 гг.) и новые теории (1960 г. – по настоящее время). Основоположником классического направления является Л.Г.Морган. По его мнению, модернизация – это процесс перехода от традиционных обществ к современным: от аграрного общества к индустриальному (так называемая первичная модернизация). Схожие с ним идеи прослеживаются в работах Г. Спенсера, К. Маркса, Э.Б. Тейлора, и др.

Новые теории модернизации начали формироваться после предложенного в 1962 г. Д. Беллом понятия постиндустриальное общество (общество знаний). Таким образом, переход от индустриального общества к постиндустриальному – это вторичная модернизация. Эта идея нашла продолжение в работах таких авторов как С.Ф. Хантингтон, Э. Тоффлер, А.А. Губер, У. Бек, Р. Инглхарт и др. Согласно данных теорий: модернизация – комплексный способ решения экономических и социальных, политических и управленческих задач, которые в полном объеме стоят перед государством, организациями и индивидами в контексте внутренних и внешних угроз и рисков.

Если же определить модернизацию как совокупность 5-ти процессов: технического, экономического, социального, культурного и политического развития. Наиболее объективно позволяет оценить состояние этого процесса модель, предложенная американским ученым, профессором А. Инкелесом. Результатами оценки этой модели являются индексы всемирной модернизации: индексы первичной модернизации, вторичной и интегрированной. Индекс интегрированной модернизации отражает разрыв между уровнем модернизации объектов оценки и достигнутым мировым уровнем. Таким образом, данная методика позволяет оценить прогресс разных стран в проведении вторичной модернизации.

Страны, лишь недавно вступившие в начальную фазу вторичной модернизации, или только завершившие первичную будут стоять перед выбором: 1) интенсивная лишь вторичная модернизация; 2) последовательное завершение первичной модернизации и начало вторичной; 3) интегрированная модернизация – одновременное осуществление и первичной, и вторичной модернизации.

Наиболее оптимальным по праву считается 3 вариант.

**Техническая подготовка производства
на основе CAD/CAM/CAE-систем**

Сахнович Т.А., Егоров А.И.

Белорусский национальный технический университет

Проблема освоения выпуска высокоэффективной и конкурентоспособной продукции тесно связана с вопросами организации и совершенствования подготовки производства. При этом промышленное предприятие как производственная система воспроизводит не только материальный, но и информационный продукт, часть которого потребляется внутри предприятия, а часть – внешней средой. Получение, обработка и разработка новой информации требует больших затрат труда и средств. Использование CAD/CAM/CAE-систем – это один из высокоэффективных способов повышения уровня технической подготовки производства и сокращения данных затрат.

CAD/CAM/CAE-системы – прогрессивные интеллектуальные инструменты для обработки информации, которая формируется в процессе проектирования и производства изделий. Их технология позволяет производить сквозное и параллельное проектирование, организовывать единое информационное пространство проекта, поддерживать жизненный цикл изделия, выполнять многовариантное проектирование, производить автоматический расчет инерционных характеристик, а также осуществлять оптимизацию параметров проекта. При этом подсистема технической подготовки производства занимает 1/10 часть в общем документообороте предприятия, но формирует около 2/3 сведений, необходимых для информационного обеспечения его успешного функционирования.

Исследование внедрения таких программ в производство компании Shorts Brothers, которая занимается изготовлением фюзеляжей для самолётов бизнес-класса, показало, что полное время на проектирование и технологическую подготовку производства фюзеляжа уменьшилось на 40% (с 4-х до 1,5 лет). Кроме этого, существенно было улучшено качество деталей и самой сборки, а итоговое число компонентов сокращено на 60%

Таким образом, использование прикладных программ позволяет обеспечить высокую функциональность, технологичность и надёжность производственного процесса, что в свою очередь положительно отражается на качестве и техническом совершенстве изделия. Такой подход в организации производства позволяет значительно снизить издержки и ускорить работу по подготовке конструкторской и технологической документации, значительно облегчив её.

Конкурентные преимущества в системе конкурентоспособности предприятия

Серёгина М.В.

Белорусский национальный технический университет

Под конкурентными преимуществами (КП) предлагается понимать относительные превосходства предприятия над конкурентами в конкурентоспособности (КСП) производимой продукции, в оперативной эффективности или стратегическом позиционировании, которые являются основой формирования КСП предприятия и ведут к реальному или потенциальному улучшению положения на рынке по сравнению с конкурентами.

Таким образом, если рассматривать КП с точки зрения системного подхода к КСП предприятия, можно представить их как вход в систему КСП предприятия (рисунок 1).

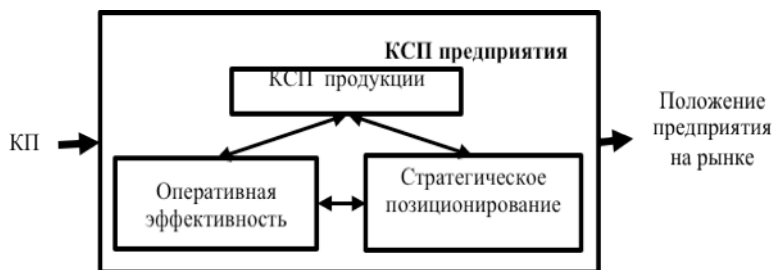


Рисунок 1 - Система КСП предприятия

Тогда структуру КСП предприятия можно представить как взаимодействие 3 подсистем: КСП продукции, оперативная эффективность и стратегическое позиционирование. Устойчивая КСП предприятия может быть достигнута тогда и только тогда, когда она базируется на всех подсистемах. Входом в данную систему являются конкурентные преимущества, а выходом – положение предприятия на рынке. На основе такого подхода КП можно классифицировать с точки зрения их влияния на формирование КСП предприятия: формирующие КСП продукции, формирующие оперативную эффективность, формирующие стратегическое позиционирование. На основе данной классификации можно разработать концептуальные подходы к формированию КСП предприятия, а также разработать критерии для оценки КСП предприятия.

Серёгина М.В.

Белорусский национальный технический университет

Конкурентные преимущества (КП) являются основой формирования конкурентоспособности (КСП) предприятия и ведут к реальному или потенциальному улучшению положения на рынке по сравнению с конкурентами. Структуру КСП предприятия можно представить как взаимодействие 3 подсистем: КСП продукции, оперативной эффективности и стратегического позиционирования. Таким образом, оценка реализации КП предприятия может быть к оценке операционной эффективности, стратегического позиционирования и КСП продукции. Определим искомые величины как коэффициенты.

Операционная эффективность обеспечивает прежде всего получение прибыли и снижение затрат на производство и реализацию продукции. Наиболее универсальным критерием представляется отношение выручки от реализации продукции к затратам, осуществленным для ее производства и реализации. Стратегическое позиционирование обеспечивает саму возможность процесса реализации продукции, поэтому основным критерием его оценки является изменение занимаемой доли рынка по сравнению с предыдущим периодом. Для оценки КСП продукции наиболее предпочтительно определить коэффициент КСП продукции комплексным методом, используя в качестве базы для его расчета средние или наилучшие показатели продукции по выборке. Для расчета соответствующих коэффициентов необходимо сопоставить величину рассматриваемого показателя исследуемого предприятия соответствующему показателю по выборке.

Путем сведения указанных коэффициентов в единый показатель, производится оценка КСП исследуемого предприятия по формуле (1):

$$K = K_R * K_I * K_{КСП}, \quad (1)$$

Чем выше значение K , тем более конкурентоспособным по отношению к выборке является рассматриваемое предприятие.

Основные преимущества данной методики оценки КСП предприятия как результата реализации КП заключаются в следующем:

- 1) оценка конечных критериев КСП, которые в условиях рыночной экономики и определяют жизнеспособность и перспективы предприятия;
- 2) максимальная достоверность результатов;
- 3) несложный процесс сбора необходимой информации;
- 4) возможность формирования любого объема и состава выборки конкурентов.

Управление ценой промышленной продукции как фактором ее конкурентоспособности

Торская И.В.

Белорусский национальный технический университет

Под процессом управления ценой следует понимать своевременное и адекватное реагирование продавца продукции на изменение рыночной конъюнктуры. В рыночных условиях традиционно считается, что для успеха в конкурентной борьбе необходимо обеспечить наилучшее соотношение цены и качества. Рыночной ценой можно назвать только такую, которая отвечает взаимным интересам покупателя и продавца. При этом продавец заинтересован продать товар по более высокой цене, а покупатель готов платить такую цену только в том случае, если данная цена будет не выше той полезности, которую можно извлечь из процесса использования приобретаемого товара. На рынках же продукции производственно-технического назначения для покупателя решающим фактором выступает не цена покупки техники, а цена ее потребления, которую следует рассчитывать путем прибавления к цене продажи дисконтированной стоимости эксплуатации продукции за срок ее полезного использования.

Во многих случаях обеспечить повышение качества продукции невозможно без дополнительных издержек, связанных с процессом создания и производства новой продукции. Следовательно, перед продавцом встает задача продемонстрировать покупателю преимущества своего нового товара и обоснованность уровня предлагаемой цены.

В качестве ценообразующих факторов выступают не только издержки производства, но и уровень конкурентной борьбы, особенности потребительского спроса, особые свойства товара, уровень сервиса и другие. Поэтому следует отдавать предпочтение комбинированию методов ценообразования. При этом за отправную точку берется желательная цена реализации товара на рынке, учитывающая цены наиболее успешно работающих на данном рынке конкурентов и показатели относительной конкурентоспособности реализуемой продукции. Сформированная на этой основе «цена безразличия» будет соответствовать равновыгодности приобретения данного товара и товара-аналога и потребует ее снижения с помощью «коэффициентов торможения». Данный алгоритм апробирован на примере продукции ОАО «Минский моторный завод» – четырехцилиндровых двигателей экологического стандарта ЕВРО 4 и продукции конкурентов – компаний Cummins, Detroit, Deutz и Ярославского моторного завода.

**Анализ и пути наращивания инновационного потенциала
промышленного предприятия**

Торская И.В., Голенок М.С.

Белорусский национальный технический университет

Обострение конкурентной борьбы на рынках сбыта промышленной продукции требует от производящих ее предприятий максимальной гибкости и высокой степени чувствительности к происходящим научно-технологическим изменениям. Для этого любое рассчитывающее на успех промышленное предприятие должно обладать определенным экономическим потенциалом, составной частью которого является инновационный потенциал.

С целью выявления инновационных возможностей предприятия предпочтительнее всего осуществлять их анализ и оценку, основываясь на необходимости учета различных аспектов, способных оказывать влияние как на способность, так и на устойчивость предприятия к обновлению. Поэтому следует осуществлять комплексный анализ финансовых, организационных, кадровых и научно-производственных возможностей, которые в совокупности должны обеспечить способность предприятия осуществлять в долгосрочном периоде успешную инновационную деятельность.

В ходе отбора конкретных показателей, включаемых в методику анализа и оценки инновационного потенциала, следует предварительно установить степень их влияния на рост такого важнейшего показателя деятельности предприятия, как создаваемая им добавленная стоимость. При этом сам по себе анализ и оценка инновационного потенциала не являются самоцелью, а лишь создают возможность для выявления путей его наращивания и наиболее полной реализации в будущем. Ведь в настоящее время инновационный потенциал выступает как важный фактор повышения инвестиционной привлекательности любого промышленного предприятия.

В ходе проведенного исследования анализу подвергся инновационный потенциал ОАО «Минский завод колесных тягачей». На предприятии наблюдается рост удельного веса новой и сертифицированной продукции, внедряются новые технологии не только в основном производстве, но и на этапе конструкторской и технологической подготовки производства, в том числе и в рамках научно-технической программы Союзного государства «СКИФ-ГРИД». Однако следует отметить крайне незначительную долю нематериальных активов в долгосрочных активах данного предприятия и высокую степень износа основных средств.

Горные машины

Технология производства торфококсовых брикетов

Кислов Н.В., Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Качество литейного кокса, завозимого в основном из России, не всегда соответствует требованиям стандарта (содержание частиц размером более 40 мм превышает 6 %). Решение проблемы утилизации коксовой мелочи может быть осуществлено путем изготовления торфококсовых брикетов. В результате исследований установлено, что оптимальным является соотношение композиции из торфа и отходов литейного кокса 70 и 30 %, соответственно. При этом размеры отдельных брикетов 180 x 70 x 40 мм, их масса 0,6 ÷ 0,7 кг, прочность 2,8 МПа. При использовании торфяной сушенки из низинного торфа со степенью разложения 20 % и влагой до 20 % теплотворная способность брикетов составила 16 ÷ 17 МДж / кг.

Для получения торфококсовых брикетов на торфобрикетном заводе разработана технологическая схема. Коксовая мелочь поставляется на брикетный завод и разгружается в бункер. Кокс питателем подается на ленточный конвейер и поступает на валково-дисковый грохот. Крупная фракция от грохота поступает в бункер и затем шлюзовым затвором подается в теплогенератор для сжигания. Мелкая фракция направляется в накопительный бункер и из него в роторную сушилку кипящего слоя. Теплоносителем сушилки служат дымовые газы, полученные в теплогенераторе. Высушенный кокс из сушилки подается ленточным конвейером и дозатором в смеситель, сюда же поступает осажденная в циклонах коксовая пыль. Торфяная сушенка из транспортной системы завода через бункер и дозатор поступает в смеситель. Дозаторы под бункерами отрегулированы так, чтобы в смеситель поступало 30 % коксовой мелочи и 70 % торфяной сушенки. Из смесителя торфококсовая смесь направляется скребковым конвейером в бункер, откуда шлюзовым затвором подается на прессование в брикетном прессе. Охлаждение брикетов и релаксация внутренних напряжений происходят в лотках длиной 40 ÷ 50 м.

Были также проведены испытания торфококсовых брикетов как топлива для бытовых отопительных котлов. Средние значения теплопроизводительности соответствовали показателям котла «Немига», работающем на каменном угле. Утилизация коксовой мелочи с целью получения коммунально-бытового топлива позволит также дополнительно загрузить производственные мощности торфобрикетных заводов.

Оценка процесса пневматической уборки торфа из примятого расстила

Давыдов Л.Р., Кислов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс пневмоуборки фрезерного торфа во многом определяется состоянием расстила. Необходимо, чтобы перед началом уборки на расстил фрезерной крошки не оказывалось механического воздействия. Поэтому у самоходных комбайнов было принято переднее расположение сопл. Прицепные машины снабжены соплами бокового расположения. В этом случае один из проходов совершается по примятому расстилу. При разработке прицепного пневмокомбайна была принята схема расположения сопл между тягачом и машиной. Это привело к тому, что двумя соплами из шести уборка торфа ведется из примятого тягачом расстила. Поэтому важно оценить, как приминание расстила ходовыми устройствами тягачей прицепных пневмоуборочных машин сказывается на эффективности их работы.

Исследования выполнены в полевых условиях на верховой залежи со степенью разложения $R = 20$ %. Комбайн работал на поступательных скоростях 7,37 и 6,35 км/ч. Для определения потерь торфа от приминания на карте закладывались три контрольных площадки. При этом сопла № 3 и № 4 были расположены позади гусениц тягача. Определялись количество торфа на каждой из полос до уборки и остатки торфа после уборки. В результате вычислялся сбор торфа на каждой из полос. Расчет параметров эмпирического распределения и его сравнение по критерию согласия Пирсона показали, что распределение сборов торфа подчиняется нормальному закону. Средняя величина сбора торфа при уборке из нетронутого расстила составила 80,9 %, а при уборке из примятого – 58,9%. В пересчете на ширину захвата комбайна 6,4 м дополнительные потери составят 7,5 %. Относительная величина потеря торфа зависит от ширины захвата уборочной машины. Так, при ширине захвата 4,8 и 9,6 м потери торфа составят соответственно 10 и 5 %. При скорости комбайна $W = 7,37$ км/ч фактический сбор оказался меньше планового циклового. При $W = 6,35$ км/ч плановый сбор торфа с гектара выполнялся с запасом. Так, для верхового торфа с $R = 20$ % плановый сбор составляет 9,8 т/га, а фактический при условной влажности 40 % – 10,2 т/га.

Таким образом, с целью уменьшения потерь торфа при пневмоуборке прицепными машинами следует стремиться не только к увеличению ширины захвата по соплам, но и согласовать поступательную скорость машины со скоростью всасывания аэросмеси во входных отверстиях сопл.

Оценка влияния диаметра трубопровода на скольжение фаз при вертикальном пневмотранспорте измельченного торфа

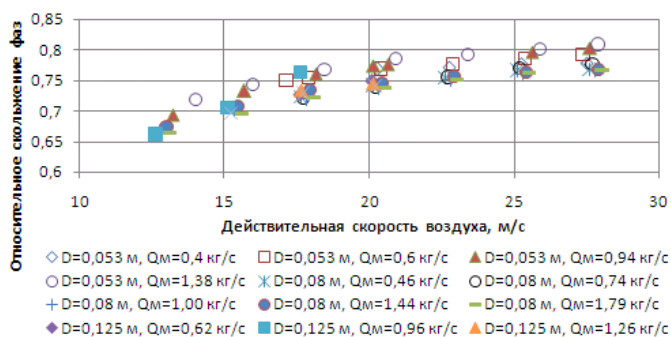
Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Выполнен анализ зависимости коэффициента относительного скольжения $\varepsilon = \varrho_m / \varrho$, где ϱ и ϱ_m – действительные скорости воздуха и торфяных частиц, от диаметра вертикального пневмотранспортного трубопровода.

Действительные скорости ϱ и ϱ_m определены численно по методике, изложенной в [1], из экспериментальных зависимостей перепада давления на определенной длине пневмотранспортного трубопровода от расходной скорости воздуха.

Из полученных данных следует, что при вертикальном пневмотранспорте одного и того же образца измельченного торфа в трубопроводах различного диаметра при разной массовой производительности Q_m влияние диаметра трубопровода на относительное скольжение фаз незначительно – все точки удовлетворительно укладываются на кривую зависимости $\varepsilon = f(\varrho)$. Характер зависимости для одного из образцов – на рисунке.



Литература:

1. Петренко, С.М. Математическая модель пневмотранспорта измельченного торфа / С. М. Петренко // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых: сб. науч. тр. Междунар. научно-техн. конф., Минск, 17-20 апреля 2012 г. – Минск, 2012. – С. 243–247.

**Зависимость «эффективной» вязкости аэросмеси
от истинной объемной концентрации
при вертикальном пневмотранспорте измельченного торфа**

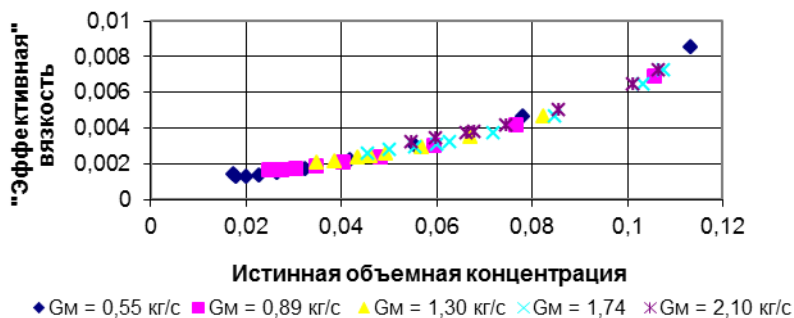
Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

«Эффективная» вязкость определялась как отношение максимального тангенциального напряжения τ на стенке трубопровода к эквивалентному градиенту скорости сдвига γ_s на ней. Величина γ_s принималась равной истинному градиенту скорости сдвига у стенок трубопровода для ньютоновской жидкости при одинаковом с аэросмесью расходе.

Из экспериментальных зависимостей перепада давления Δp на некоторой длине L трубопровода от приведенной скорости несущей среды ϑ предварительно определены значения истинной объемной концентрации φ торфяных частиц по методике, изложенной в [1].

Характер зависимостей $\eta_s = f(\varphi)$ для одного образца измельченного торфа при вертикальном пневмотранспорте в трубопроводе одного диаметра с различной массовой производительностью по материалу G_m , кг/с, представлен на рисунке.



Литература:

1. Петренко, С.М. Математическая модель пневмотранспорта измельченного торфа / С. М. Петренко // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых: сб. науч. тр. Междунар. научно–техн. конф., Минск, 17-20 апреля 2012 г. – Минск, 2012. – С. 243–247.

**Выбор трактора для работы с оборудованием
добычи кускового торфа**

Таяновский Г.А., Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Рациональный подбор трактора, на базе которого составляется навесной фрезерующе-формующий машинно-тракторный агрегат (МТА), предназначенный для получения сформованного торфяного топливного куска, во многом определяет не только производительность, рабочую скорость движения, удельную энергоемкость процесса, но и, как показала практика, – вообще способность агрегата осуществлять его.

В связи с закупкой торфяной отраслью зарубежного фрезерующе-формующего навесного оборудования для агрегатирования с отечественными колесными тракторами того же тягового класса и мощности на практике оказалось, что такие МТА не достигают эксплуатационных показателей МТА с зарубежным трактором. Поэтому актуальной стала задача рационального агрегатирования тракторов МТЗ с упомянутым торфяным оборудованием.

Так как покупное оборудование дорабатывать нецелесообразно, то модель трактора, схему его ошиновки и параметры шин, полную массу трактора, рабочие передачи в коробке передач трактора, рабочие частоты вращения вала отбора мощности, параметры баллаستировки трактора необходимо выбирать таким образом, чтобы непрерывно обеспечивать оптимальный режим работы навесного фрезерующего оборудования независимо от изменения характеристик залежи по пути движения МТА.

Проведенный анализ процессов МТА на разработанной математической модели, проведенные натурные испытания фрезерующе-формующего МТА с зарубежным и отечественным вариантом-аналогом этого же навесного оборудования позволили установить причины плохой работы оборудования с тракторами МТЗ. Кроме того, эти виртуальные и натурные испытания позволили получить необходимые данные для обоснования закона регулирования скоростно-силовых режимов рабочих органов, двигателя и движителя для поддержания оптимальных по критериям удельных (на единицу производительности): энергоемкости, расхода топлива, при обеспечении проходимости и заданной производительности МТА в зависимости от состояния залежи по ходу движения МТА.

Авторами разработаны методика анализа рабочего процесса исследуемого МТА и выбора параметров трактора для заданного фрезерующе-формующего оборудования, новые технические решения.

Анализ возможности оптимизации мощностных затрат на работу агрегата для добычи кускового торфа

Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Анализ возможности оптимизации мощностных затрат на работу агрегата с навесным фрезформирующим оборудованием может быть выполнен при моделировании режимов работы, определяющих показатели его эксплуатационных свойств. В настоящее время известно достаточно зависимостей, позволяющих моделировать работу агрегата для добычи кускового торфа, которые в большинстве своем используются при составлении мощностного баланса при проектировании. Рассмотрение данных зависимостей позволяет говорить о возможности их использования, в том числе и для оптимизации работы агрегата в различных условиях эксплуатации.

Практика эксплуатации показывает необходимость обеспечения добычи качественного кускового топлива с наименьшими затратами в постоянно меняющихся условиях передвижения агрегата. Это также подтверждается сравнением показателей машин НТК-2 и КТД-2: при примерно равных производительностях около 20 м³/час первая работает с гусеничным трактором тягового класса 30 кН, а вторая с колесным трактором кл. 50 кН.

Для решения данной задачи выполняется поиск зависимостей, позволяющих смоделировать режим работы агрегата таким образом, чтобы прослеживалась взаимосвязь изменений условий передвижения агрегата и необходимых режимных параметров работы оборудования. Это позволит предложить конструктивные решения, обеспечивающие оптимизацию мощностных затрат на производство кускового торфа. Кроме того, анализ конструкции существующих агрегатов для добычи кускового торфа также позволяет выделить две основные составляющие затрат мощности: мощность на работу шнекового пресса и мощность на фрезерование залежи. При этом оптимизация мощностных затрат на работу шнекового пресса может обеспечиваться настройкой на физико-механические свойства залежи. В свою очередь затраты мощности на фрезерование залежи в значительной мере зависят от действительной скорости передвижения агрегата, а, следовательно, определяются условиями передвижения.

Таким образом, существует возможность оптимизации затрат мощности на добычу кускового топлива путем моделирования режимов работы и дальнейшего поиска конструктивных решений для обеспечения оперативного изменения параметров фрезерования в зависимости от условий передвижения агрегата.

**Комплексная оценка ходовой системы
полноприводной колесной машины переменной массы**

Таяновский Г.А., Калина А.А.

Белорусский национальный технический университет

Улучшение показателей свойств ходовой системы самоходного свеклоуборочного комбайна – один из путей повышения эффективности его использования.

Агрегируемым модулем комбайнового агрегата является рабочий аппарат, а особенностью – то, что комбайн представляет собой грузонесущий агрегат переменной, в процессе наполнения бункера, массы. Существенное изменение массо-геометрических параметров такого агрегата при работе проявляется в изменении абсолютных значений и соотношения нагрузок на шины и мосты, а также моментов инерции комбайна, и сказывается на росте нагрузок на шины и ведущие мосты, на почву, на показатели плавности хода, тягово-сцепных свойств, расхода топлива, устойчивости и др. Действующими стандартами на предельные значения многих показателей перечисленных свойств комбайна наложены ограничения.

Схему ходовой системы и ее параметры, полную массу комбайна определяют, исходя из тяговых возможностей по мощности двигателя; по сцеплению его ведущих колес с поверхностью почвы; по условиям осуществимости трогания и разгона до транспортных скоростей; по условиям труда водителя; по соблюдению требований безопасности движения при торможении; по устойчивости против опрокидывания и курсовой устойчивости; по маневренности; по возможности остановки и удержания на уклонах; по экономическим критериям. То есть особенность выбора структурной схемы и параметров ходовой системы комбайна состоит в учете всех факторов, лимитирующих его производительность.

В теории мобильных машин предложен ряд комплексных измерителей эффективности ходовых систем, которые используются в качестве критериев оптимизации их параметров. Чаще всего такие измерители учитывают два-три свойства ходовой системы, что осложняет реализацию системного подхода при выборе параметров комбайнов.

Авторы предлагают метод и алгоритм комплексной оценки эффективности ходовой системы свеклоуборочного комбайна по обобщенному безразмерному показателю, который учитывает неизбежную систему компромиссов при решении конкретной задачи проектирования, при этом он отражает способ принятия таких компромиссов на практике.

О режимных параметрах в шнековом бурении

Казаченко Г.В., Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Шнековое бурение является самым производительным видом вращательного бурения мелких скважин глубиной до 80 м. Процесс шнекового бурения включает в себя разрушение породы на забое скважины путем ее взрыхления или резания буровым долотом и одновременное транспортирование продуктов разрушения из скважины шнековым буровым ставом. Буровой став, помимо транспортирования разрыхленной породы к устью скважины, передает долоту крутящий момент и осевое усилие, необходимые для разрушения породы на забое с определенной механической скоростью проходки скважины. Механика передвижения столба разрыхленной породы в скважине снизу-вверх подобна осевому перемещению гайки в резьбовой паре “винт-гайка”, удерживаемой внешними силами трения от проворачивания. Эффект транспортирования породы винтовым шнеком проявляется только при числе оборотов буровой колонны большем некоторого критического значения. При числе оборотов меньшем критического порода вращается вместе со шнековым ставом, но вверх не поднимается. Необходимым условием выхода буровой установки в установившийся режим бурения, при котором весь объем выбуренной породы может стабильно транспортироваться шнеком из скважины, является балансовое соответствие производительности шнекового транспортера производительности долота по объему разрушенной породы. В случае несоответствия транспортных возможностей шнека производительности долота, как это известно из практики бурения, происходит уплотнение породы в межвитковом пространстве и заштыбовка породой шнекового транспортера в виде т. н. “буровых сальников”, ликвидацию которых в практическом бурении осуществляют подъемом бурильной колонны над забоем скважины и ее вращением на максимальных оборотах с целью выклинивания уплотненной породы из шнека центробежными силами. Непроизводительные потери времени и перерасход энергии при этом снижают общую механическую скорость бурения и коэффициент полезного действия буровой установки в целом.

Из приведенного обзора следует, что объективно существует проблема оптимального выбора режимных параметров в шнековом бурении, для решения которой потребуется аналитическое исследование его рабочего процесса и определение рациональных соотношений между конструктивными и режимными параметрами бурового оборудования.

Об удельной энергоёмкости разрушения соляных пород

Нагорский П.Д., Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Удельная энергоёмкость разрушения горных пород, согласно накопленным экспериментальным данным, зависит от большого числа факторов, таких как физико-механические характеристики породы, схемы взаимодействия режущего инструмента исполнительного органа с породой, характеристик режущего инструмента. Варьируя двумя последними факторами можно существенно увеличить добычу полезных ископаемых без увеличения численности и энерговооружённости парка добывающих горных машин.

Цель работы – обзор и анализ существующих методик лабораторных исследований удельной энергоёмкости разрушения монолитных блоков калийной соли, из которых наибольший интерес представляют работы Л.И. Старкова, Н.А. Харламовой (Пермский ГТУ) и Д.И. Шишлянникова (Санкт-Петербургский ГГТУ), и выбор направления собственных исследований. В экспериментах Н.А. Харламовой и Л.И. Старкова установлено, что при резании по последовательной и шахматной схемам с увеличением толщины стружки от 5 до 15 мм энергоёмкость уменьшилась с 2,6-8,5 до 1-4,6 кВтч/м³. При этом наблюдался значительный рост усилий резания и повышенный износ реза. Использование схем перекрёстного резания, предложенных Л.И. Старковым, при тех же диапазонах глубины и шага резания не только позволило уменьшить энергоёмкость разрушения, но и отметить изменение характера зависимости удельной энергоёмкости разрушения от толщины стружки. В работе Д.И. Шишлянникова задача снижения удельных затрат энергии при отделении калийной руды от массива решалась путём применением шахматной симметричной перекрестной схемы резания и была достигнута за счет снижения удельных энергозатрат на образование и ветвление микротрещин и уменьшение степени пластического деформирования соли в предрезцовом пространстве. Таким образом, видно, что в решении задачи снижения энергоёмкости разрушения горных пород немаловажное значение имеют лабораторные исследования рациональных режимов и новых схем резания, так как они представляют широкие возможности для подробного исследования закономерностей разрушения. Очевидно, что результаты лабораторных исследований требуют их проверки в опытно-промышленных условиях, так как в лаборатории отсутствует возможность воспроизведения всех факторов, действующих на монолит пласта калийной соли в естественных условиях залегания. Поэтому в числе прочих решаемых задач исследования требуется установление корреляционной зависимости между результатами лабораторных и натурных исследований процесса резания.

Влияние добавок местных видов топлива на качество аглопорита

Березовский Н.И., Драгун Е.С., Лесун Б.В., Грибкова С.М., Юрьев В.А.
Белорусский национальный технический университет

Сейчас в стране уделяется большое внимание экономии технологического топлива и замене дефицитных и дорогостоящих импортных материалов на местные виды, такие как торф, сапрпель, отходы торфобрикетного производства, которые имеют достаточную теплоту сгорания для ведения технологического процесса.

При использовании силикатного сырья или утилизации вскрытных пород в агломерации замена импортных видов топлива на местные является актуальной проблемой, а использование топлива с низкой теплотворной способностью требует разработки новых способов по обогащению, усреднению и определению оптимальных сырьевых составов с целью более эффективного их сжигания в агломерируемом слое шихты из которой получают теплоизоляционный материал – аглопорит.

В цехе теплоизоляционных материалов предприятием ОАО «Минский завод строительных материалов» были проведены промышленные испытания щебня и песка аглопоритовых с использованием фрезерного торфа предприятий ОАО «Торфобрикетный завод Усяж» (степень разложения $R=25\%$, зольность $A^0=10\%$) и ОАО «Торфобрикетный завод Старобинский» ($R=32\%$, $A^0=18\%$), а также выпущена опытная партия аглопорита в количестве 230 м^3 .

Технологические параметры до проведения испытаний:

температура в пламенном пространстве горна	950-1000 °С;
скорость агломерационной машины (по вариатору)	80 В;
уголь на отметке	4,
на вариаторе	60 В;
опилки на отметке	2;
зазор между валками камневыделительных валцов	10 мм;
зазор между валками валцов тонкого помола	5-15 мм.

Состав шихты в % по массе:

– суглинки месторождения Фаниполь –	87-89 %;
– уголь марки АШ 0-6 мм –	6-8 %;
– торф фрезерный –	2-3 %.

Результаты испытаний готовой продукции, которая может использоваться в промышленности, по прочности и плотности аглопорита соответствуют нормативным показателям.

К вопросу использования местных видов топлива при получении керамического кирпича

Березовский Н.И., Драгун Е.С., Лесун Б.В., Грибкова С.М., Юрьев В.А.
Белорусский национальный технический университет

Большое количество отходов и потерь на горно-перерабатывающих предприятиях предопределяет необходимость решения проблемы рационального использования местных видов топлива (МВТ). Нами показана возможность расширения интервала пригодности сырья и его использования для получения некоторых строительных материалов.

В зависимости от химического и минералогического составов смеси МВТ могут использоваться в качестве добавок при производстве керамического кирпича.

В ходе проведения заводских испытаний древесные опилки были заменены на фрезерный торф (степень разложения – 25%, зольность на сухое вещество – 10%).

Состав шихты с использованием фрезерного торфа и влажность компонентов приведены в таблице.

Таблица – Состав шихты и влажность ее компонентов

Наименование компонентов	Состав шихты, мас. %	Влажность компонентов шихты, %	
глина м-я «Лукомль-1»	56-57	21,2	22
суглинки м-я «Фаниполь»	12	16,2	16,4
отсев из материалов дробления горных пород	23	3,8	3,6
песок аглопоритовый фр. (0-5) мм	6	6,4	7,4
торф фрезерный	2-3	49,66	46,12

Подача торфа проводилась через питатель опилок. Количество подаваемого фрезерного торфа регулировалось (менялось) частотой вращения двигателя привода питателя.

По результатам испытаний образцы кирпича керамического рядового полнотелого одинарного с фрезерным торфом (10 Гц) соответствуют М 300, согласно требованиям СТБ 1160-99 «Кирпич и камни керамические. Технические условия».

Исследование статистических характеристик грузопотоков

Миранович О.Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным предприятием

Важным фактором, влияющим на характер действующей нагрузки, является неравномерность размещения груза на ленте, которая, в свою очередь, определяется неравномерностью потока груза, поступающего от забойного оборудования.

С начала 70-х годов ряд исследователей начал заниматься математическим описанием грузопотоков, поступающих от забойного оборудования, как случайных процессов. Большой вклад в теорию случайных грузопотоков сделан докторами технических наук Алотиным Д.М. и Шахмейстером Л.Г.

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. В настоящее время 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 $P(Q)$. Практически все минутные грузопотоки экспоненциально коррелированы, то есть: $R_Q(\tau) = D_Q e^{-\alpha|\tau|}$, где α - характеристика грузопотока, зависящая от горногеологических и технологических условий. Закон распределения непрерывной части минутных грузопотоков близок к нормальному.

В результате проведенных работ на ряде горнорудных предприятий получены характеристики m_Q , D_Q , α минутных забойных грузопотоков, а также установлено, что в спектре частот преобладают низкие частоты порядка 1-3 колебаний в минуту.

Таким образом, неравномерность распределения груза на ленте оказывает влияние на роликкоопору ленточного конвейера, что приводит к снижению срока эксплуатации машины.

Анализ конструктивной схемы одно моторного привода соосных роторов проходческого комбайна

Басалай Г.А., Горностаи М.С., Потоцкий П.Н.

Белорусский национальный технический университет

Сравнительная оценка энергозатрат в приводах соосных роторов проведена применительно к редукторам первой и второй ступени, выполненным по трем принципиальным схемам. Особенность привода соосных роторов, применяемого на проходческих комбайнах ПК-8М и ПКС-8М (схема 1), в том, что редуктор первой ступени представляет собой две независимые параллельные кинематические цепи AI и BI , приводимые во вращение от двух электродвигателей. Ведомые звенья редуктора первой ступени – зубчатые колеса $9A$ и $9B$. К.п.д. η_A и η_B каждой кинематической цепи

$$\eta_{A(B)} = \eta_{3.31}^m \cdot \eta_{n1}^n = 0,98^4 \cdot 0,998^{10} = 0,8508, \quad (1)$$

где $\eta_{3.31}$ – к.п.д. одной пары цилиндрического зацепления зубчатых колес (к.п.д. зубчатого зацепления, при мелкосерийном производстве элементов горных машин, имеет диапазон от 0,997 до 0,999; поэтому рекомендуется проводить экспериментальные измерения во время испытаний комбайнов);

m – количество зацеплений в каждой кинематической цепи (A или B);

η_{n1} – к.п.д. одного подшипника;

n – количество подшипников в каждой кинематической цепи (A или B).

Вторая ступень привода – цилиндрический редуктор с двумя параллельными ведущими валами (V_A и V_B) и двумя соосными ведомыми валами VI и VII , на консолях которых установлены центральный бур и крестовина с ковшами. К.п.д. η_2 второй ступени

$$\eta_2 = (\eta_{9-10}^2 \cdot \eta_{n1}^z) \cdot (\eta_{9-11}^2 \cdot \eta_{n1}^k) = (0,98^2 \cdot 0,998^3)^2 = 0,9136, \quad (2)$$

где η_{9-10}^2 – к.п.д. двух параллельных зацеплений колес $9A - 10$ и $9B - 10$;

η_{n1}^z и η_{n1}^k – к.п.д. подшипников, образующих опоры валов VI и VII .

Суммарная мощность на валу VI центрального бура и валу VII крестовины с ковшами, при номинальной мощности каждого электродвигателя $N_1 = N_2 = 110$ кВт, равна 171 кВт, т. е. потери энергии в приводе соосных роторов по схеме 1 составляют до 49 кВт. При общем подходе к оценке потерь энергии в механических передачах к.п.д. редуктора первой ступени, состоящего из одной цилиндрической и двухступенчатой планетарной передач, в приводе соосных роторов комбайна КРП-3 (схема 2) при использовании на первой ступени

планетарных редукторов, выполненных в отдельных корпусах, при мощности двигателей 2×110 кВт равен 0,747, т.е. на 12 % ниже по сравнению с предыдущей схемой. Однако следует рассматривать планетарную передачу как три параллельно работающие зубчатые зацепления, в которых суммарная мощность на приводном центральном колесе распределяется по трем потокам. Тогда к.п.д. одной планетарной передачи равен 0,968, а к.п.д. редуктора первой ступени – 0,921.

Суммарная мощность на валу VI центрального бура и валу VII крестовины с ковшами $(N_{уб} + N_{кр}) = N_1 \cdot \eta_A + N_2 \cdot \eta_B \cdot \eta_2 = 181,5$ кВт, т.е. на 8,3 % выше по сравнению со схемой 1, а металлоемкость – меньше на 10%.

Применительно к схеме 3 (рисунок) с одномоторным приводом к.п.д. η_A кинематической цепи двухступенчатого цилиндрического редуктора AI

$$\eta_A = \eta_{3.31}^2 \cdot \eta_{n1}^6 = 0,98^2 \cdot 0,998^6 = 0,9527. \quad (3)$$

К.п.д. η_B кинематической цепи раздаточного редуктора BI

$$\eta_B = \eta_{3.31}^2 \cdot \eta_{n1}^6 = 0,98^2 \cdot 0,998^6 = 0,9527. \quad (4)$$

Тогда к.п.д. редуктора (AI+BI) первой ступени $\eta = \eta_A \cdot \eta_B = 0,9076$.

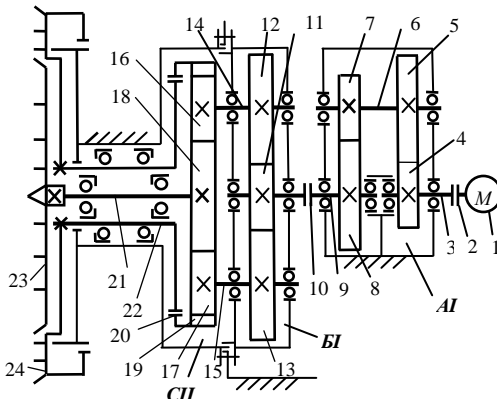


Рисунок. Схема одномоторного привода соосных роторов

К.п.д. η_C кинематической цепи раздаточного редуктора CI, принимая, что поток мощности может передаваться по верхней 16-18 и 16-19 или нижней цепи зубчатых зацеплений 17-18 и 17-19. В идеальном случае обе цепи нагружены половиной от мощности двигателя $\eta_C = \eta_{3.31}^2 \cdot \eta_{n1}^6 =$

0,9527.

Общий к.п.д. одномоторного привода $\eta = \eta_A \cdot \eta_B \cdot \eta_C = 0,9527^3 = 0,8647$.

Суммарная мощность на валах VI и VII соосных роторов

$$(N_{уб} + N_{кр}) = (N_1 + N_2) \cdot \eta = 2 \cdot 110 \cdot 0,8647 = 190,2 \text{ кВт}. \quad (5)$$

Таким образом, одномоторный привод соосных роторов (схема 3) по сравнению со схемами 1 и 2, где применяются спаренные приводы от двух электродвигателей, обладает большим к.п.д., меньшей металлоёмкостью; поэтому может рассматриваться как один из перспективных при

модернизации проходческих комбайнов.

Исследование атмосферной коррозии чугунов с термодиффузионными покрытиями

Басалай И.А., Гоян В.В.

Белорусский национальный технический университет
Технический университет Молдовы, Кишинев, Молдова

Коррозионная стойкость сталей с покрытиями на основе хрома в природных и промышленных водах повышается в результате легирования их такими элементами, как титан, молибден, алюминий и некоторыми другими. Однако, влияние легирующих элементов на коррозионную стойкость покрытий на основе хрома в атмосферных условиях, изучено недостаточно. В частности, практически не исследована атмосферная коррозия чугунов с подобными покрытиями.

В работе исследуется коррозионная стойкость чугуна СЧ 20 с легированными диффузионными покрытиями на основе хрома. Результаты предварительно проведенных экспериментов показали, что наибольшей стойкостью в атмосферных условиях обладают покрытия, легированные одновременно несколькими элементами.

Термодиффузионное насыщение проводили в предварительно восстановленных порошковых смесях при температуре 1000°С в течение 4 ч. В качестве легирующих элементов использовали Ti, Ni, Mn, V, Si, и Mo. Испытания на коррозионную стойкость проводили в камере солевого тумана при 20 °С и относительной влажности 95 % в течение 600 ч.

Сравнительные испытания на коррозионную стойкость показали, что легирование покрытий кремнием увеличивает ее незначительно, одновременное легирование титаном и ванадием, титаном и никелем повышают в 1,5 раза, а наиболее высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях имеет чугун с покрытием на основе хрома, легированным одновременно молибденом и никелем.

Исследовали зависимость толщины покрытия на чугуне СЧ 20 от содержания легирующих элементов в насыщающей смеси, микротвердость, фазовый состав. Показано, что введение легирующих добавок в насыщающие смеси уменьшает скорость формирования слоя. Фазовый состав диффузионного слоя не изменяется; следует отметить повышение степени легирования карбидов молибденом.

Результаты исследования кинетики коррозионного разрушения показали, что легирующие добавки характера разрушения практически не изменяют, а скорость коррозии по сравнению с нелегированным покрытием снижается. К повышению коррозионной стойкости приводит также формирование качественных слоев и увеличение их толщины.

Перспективные направления при ремонтных работах в машиностроении

Тарасов Ю.И., Голиков В.В.

Белорусский национальный технический университет

Был сконструирован новый вариант кривошипа, т.к. данная деталь ремонту не подлежит. Поломка происходит по середине детали. Базовый вариант служит около 2 месяцев.

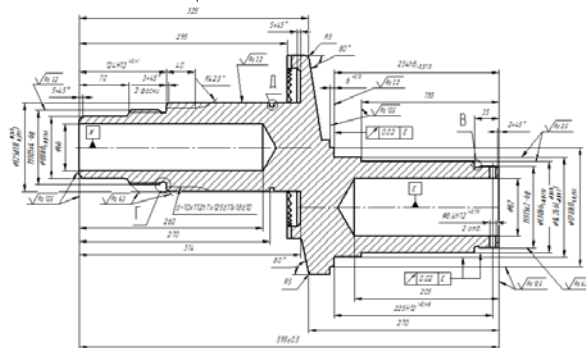


Рисунок 1 - кривошип (базовый вариант)

В новом варианте была увеличена толщина стенок; было обращено внимание на места, где возникают концентраторы напряжения.

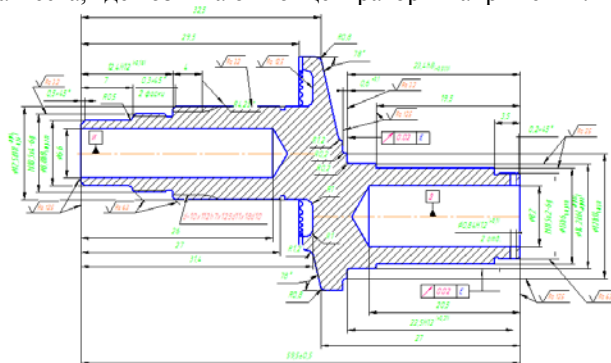


Рисунок 2 - кривошип (новый вариант)

Предварительные результаты показали целесообразность данного нововведения, что выразилось в увеличении ресурса до 6 месяцев.

УДК 622

Программное оснащение вибродиагностических комплексов

Тарасов Ю.И., Лютко Г.И., Голиков В.В.

Белорусский национальный технический университет

Был рассмотрен переносной вибродиагностический комплекс СПЕКТР-07 и его алгоритм работы.



Рисунок 1 - переносной вибродиагностический комплекс СПЕКТР-07

Алгоритм работы вибродиагностического комплекса СПЕКТР-07:

1. Конфигурирование;
2. Работа по маршрутным картам;
3. Диагностирование;
4. Отчетность.



Рисунок 2 - алгоритм работы вибродиагностического комплекса СПЕКТР-07

Прорабатывается вариант использования данной системы при контроле некоторых узлов комбайна КИД-220.

Строительные и дорожные машины

Коммутация силовых электрических цепей в лифтах

Антоневич А.И., Венсковский В.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных лифтах широко используются электрический привод с двигателями переменного тока: синхронными и асинхронными. В отечественных лифтах получили распространение асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, коммутация которых осуществляется контакторами. Контактторы выбираются по: назначению и области и категории применения; величине коммутационной и механической износостойкости; числу и исполнению главных и вспомогательных контактов; роду тока и величинам номинального напряжения и тока главной цепи; номинальному напряжению и потребляемой мощности включающих катушек; режиму работы; климатическому исполнению и категории размещения. В лифтовом хозяйстве Беларуси применяются контакторы переменного и постоянного тока, которые имеют преимущество перед пускателями в тех случаях, когда требуется обеспечить повышенную надежность работы, в тяжелых режимах работы (с большим числом коммутаций) и при коммутировании больших токов. Принципиальное отличие пускателя – наличие защитного элемента, осуществляющего автоматическую защиту от перегрузок двигателей. Ресурс работы контакторов определяется механической и коммутационной износостойкостью. Первая определяется степенью износа движущихся частей и узлов, подвергающихся действию удара при коммутации, и характеризуется количеством циклов включения-отключения без тока, выполненным аппаратом без замены его частей. Существует 5 классов механической износостойкости. Коммутационная износостойкость определяется износом контактов под действием электрической дуги при коммутации цепи с током. Она характеризуется количеством циклов включения-отключения, осуществляемых до такой степени износа контактов, когда еще обеспечивается необходимые условия контактирования, т.е. остается определенное количество контактного материала и обеспечивается заданный провал. Наиболее часто встречающиеся повреждения контакторов: разновременность замыкания главных контактов; гудение магнитной системы; при включении контактор не становится на самоблокировку. В настоящее время получают распространение бесконтактные контакторы (на основе тириستоров и транзисторов). В них не образуется электрическая дуга, незначительное время и высокая частота срабатываний, нет механического износа. В то же время у бесконтактных контакторов есть недостатки: отсутствие гальванической развязки в цепи; чувствительность к перенапряжениям и сверхтокам; глубина коммутации на несколько порядков меньше чем у контакторов.

Современные конструкции эскалаторов

Антоневич А.И., Якубовский Д.А.

Белорусский национальный технический университет

Эскалатор (англ. escalator, составлено по образу слова elevator, от фр. escalade — штурмовая лестница) — подъёмно-транспортная машина в виде наклонённой на $30-35^\circ$ к горизонту лестницы с движущимися ступенями для перемещения людей с одного уровня на другой. Ступени лестницы обычно прикреплены к замкнутой цепи, которая приводится в движение от электродвигателя через редуктор. Эскалаторы подразделяются на два основных класса — тоннельные и поэтажные.

Тоннельные эскалаторы устанавливаются в длинных наклонных тоннелях — выходах станций метро глубокого залегания. Поэтажные эскалаторы используются на станциях метро и в других подземных пространствах мелкого заложения, в зданиях. Так как к таким эскалаторам обычно имеется свободный доступ, широкие балюстрады им не нужны.

Преимущества эскалаторов: большая пропускная способность; возможность использовать остановленный эскалатор в качестве лестницы. Недостатки эскалаторов: высокая стоимость; большое пространство для установки; необходимость пересадки для пассажира на каждом этаже; небольшая скорость; затруднено перемещение пассажиров с тележками.

Основными характеристиками эскалаторами являются: максимальная высота подъема, угол наклона, ширина ступени, скорость.

Характерные особенности и элементы новизны эскалаторов нового поколения: установка тяговых звездочек с зубьями эвольвентного профиля; цевочное зацепление зубьев приводных звездочек с роликами тяговых цепей; легкоъемный главный вал, разгруженный от совмещенного действия изгиба и кручения с симметричным подводом крутящего момента к тяговым звездочкам; совмещенный привод полотна с приводом поручня; частотно-регулируемый привод; рабочий тормоз — нормальнозамкнутый, дисковый, с постоянным тормозным моментом; привод рабочего и аварийного тормоза — электрогидравлический раздельный; ступень — облегченная, легкоъемная, коррозиестойкая, без применения сварных соединений; основной бегунок, установлен на одной оси с втулкой тяговой цепи; система направляющих и контрнаправляющих исключает подъем ступени на любом участке трассы; тяговые цепи — легкоразборные, без прессовых посадок; сварные многоопорные металлоконструкции тоннельных эскалаторов; направляющие основных и вспомогательных бегунков ступеней/пластин на рабочей и холостой ветви полотна — сменные; выполнение поручней из новых материалов; применение микропроцессорных систем управления, контроля и диагностики.

Модернизация двухвальцевого самоходного катка

Бежик А.А., Чукович С.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных катках устанавливают механизмы обработки кромки асфальтобетона. Для повышения производительности и для уменьшения рабочего времени на отделочные работы, предлагается устанавливать оборудование для уплотнения и обрезания краев покрытия на катки белорусского производства.

В основном катки предназначены для уплотнения асфальтобетонных покрытий и оснований различных типов, в том числе щебеночных, гравийных, шлаковых при строительстве и ремонте автомобильных дорог, аэродромов, промышленных площадок. Механизм обработки кромки асфальтобетона устанавливается на переднем вальце и оснащен отрезным диском, который позволяет отрезать слой горячего асфальтобетона, толщиной до 50 мм, при этом не допускается применять механизм обработки кромки асфальтобетона на твердом покрытии. Управление механизмом производится нажатием соответствующей кнопки на щитке приборов.

Для расширения технологических возможностей механизма рекомендуется дополнительно иметь сменные насадки.

Цилиндрической ролик позволит производить укатку у высоких бордюров и стен зданий. Использование различных дисков уплотнения позволит производить укатку кромки покрытия под углом 45° на различную глубину.

На катки могут устанавливаться уплотняющие ролики со скосом 45 или 60 градусов, а также отрезные диски. Благодаря скошенной форме ролика, имеется возможность уплотнять края покрытия вблизи препятствий (стены зданий, например).

Отрезной диск позволяет выполнять с ровной кромкой слои износа, стыки, а также обрезать кромки вдоль бордюрных камней и водосточных желобов.

Работа с уплотняющим роликом или отрезным диском требует наличия опыта. Для работы с дополнительными орудиями оператору не нужно покидать рабочего места, поскольку каток предлагается оборудовать гидравлической системой привода дополнительного оборудования. В зависимости от применения, возможно, потребуются выполнить регулировку окончательного положения поворотного рычага (положения ролика относительно вальца). Каток может быть оборудован двумя уплотняющими роликами (спереди справа и сзади слева).

Модернизация механизма передвижения козлового крана

Бежик А.А., Филанович А.А.

Белорусский национальный технический университет

Направления развития техники зависят как от области ее применения, так и от общих тенденций научно-технического прогресса в машиностроении. Козловые краны являются материальной базой механизации наиболее сложных пространственных объектов в промышленности, строительстве, судостроении, сельском хозяйстве, транспорте.

В связи с быстрым темпом развития научно-технического прогресса в указанных отраслях требуется постоянное совершенствование козловых кранов с темпами, соответствующими развитию отраслей, в которых работают краны, разработка уникальных по своим техническим параметрам кранов. Кроме того растут требования к качеству новых машин, их производительности.

Значительным запасом увеличения эффективности применения кранов мостового типа является усовершенствование систем управления крановыми электроприводами, в которых используются электродвигатели с фазным ротором, которые могут изменить режим загрузки приводов со ступенчатого на плавный. При этом устанавливаемая интенсивность разгона и торможения создают значительное уменьшение динамических нагрузок. Для большей эффективности модернизации крана в данном направлении необходимо усовершенствование и механизмов передвижения грузовой тележки и крана. Для механизмов передвижения козловых кранов предусматривают отдельные приводы. Приводными выполняют не менее половины всех ходовых колёс. Существует ряд неисправностей ходовых колес крана: перекося осей колес, различная частота вращения приводных колес, износ реборд колес, уменьшения диаметра колеса и др.

Для уменьшения износа ходовых колес предлагается модернизировать механизм передвижения козлового крана путем применения безребордного колеса, но без замены самого ребордного колеса. Предлагается после износа реборд ходовых колес более предельно допустимых величин установить дополнительные ролики против бокового схода крана с рельс, но данные ролики должны сопрягаться не с рельсом, по которому движется кран, а с отдельной, с рядом расположенной, направляющей. Это позволит: уменьшить износ колеса, упростить ремонт, продлить срок службы ходового механизма передвижения, увеличить безопасность работы крана, значительно снизить динамические нагрузки в редукторах, муфтах, электродвигателях, обеспечить повышение надежности, увеличить межремонтные сроки.

К увеличению долговечности рабочего оборудования бульдозера с поворотным отвалом

Бурмак И.В., Лагутик И.С.

Белорусский национальный технический университет

Бульдозеры с поворотным отвалом получили широкое применение в сельском и мелиоративном строительстве. Обычно применяют их для того, чтобы сдвигать грунт вбок от траектории движения бульдозера. Это является довольно удобным при засыпке различных канав и траншей, преимущественно длинных и узких. Также рассматриваемые машины широко применяются для уборки снега с дорог сдвижением его на обочину. В среднем угол отклонения составляет 25-30°, однако существуют машины и с большим значением этого параметра.

Как уже было сказано выше, особенностью рабочего процесса бульдозера с поворотным отвалом является боковое перемещение грунта, что в свою очередь негативно влияет на элементы конструкции рабочего оборудования, и в первую очередь – на толкающую раму из-за большого изгибающего момента. Вследствие этого должны предъявляться дополнительные требования к элементам несущей конструкции, в том числе в местах соединения полурам и опор.

В связи с этим конструкция толкающих брусьев была модернизирована путем установки дополнительной опоры в зоне отвала. Дополнительная опора представляет собой направляющую желобообразной формы, конструктивно выполненную из стандартного швеллера и установленную в передней части рамы трактора. Направляющая в продольной плоскости выполнена с радиусом кривизны соответствующим длине толкающих брусьев. На толкающей раме в зоне вертикального шарнира установлен кронштейн. В кронштейне жестко закреплена ось, на которой установлен ролик, взаимодействующий с направляющей. Форма ролика соответствует форме направляющей, куда он устанавливается с зазором для свободного перекатывания.

В случае возникновения на отвале поперечной боковой силы этот зазор выбирается за счет упругих деформаций толкающих брусьев и боковую реакцию в этом случае воспринимает ролик трактора через направляющую.

Рассматриваемая модернизация рабочего оборудования позволит увеличить его долговечность, а также производительность бульдозера. В дополнение следует отметить, что стоимость эксплуатации данной машины значительно снизится.

О снижении затрат на эксплуатацию строительной техники

Вавилов А.В., Венковский В.А., Гигола А.А., Гержа С.О., Лустач К.С.,
Михайлов В.А.

Белорусский национальный технический университет

В результате проведенного анализ установлено, что в строительных организациях и их имеющихся машинных парках эксплуатируется много техники с истекшим сроком службы, которая требует частых ремонтов и простаивает в неподходящее время, когда объемы строительства максимальны. Поэтому налицо упущенная выгода. Имеет место и перерасход горюче-смазочных материалов, фактически – светлых нефтепродуктов.

В республике решается вопрос эффективных методов снижения потребления светлых нефтепродуктов. Поскольку они составляют более 13% в валовом потреблении топливозаэнергетических ресурсов, их экономия весьма актуальна. Неслучайно Советом Министров Республики Беларусь в 2011 году принято постановление № 341 об утверждении показателей по снижению потребления светлых нефтепродуктов.

По данным Департамента по энергоэффективности в результате реализованных в 2011 году организационно-технических мероприятий установлено, что экономия светлых нефтепродуктов достигнута за счет обновления парка машин, механизмов и оборудования (24% от общей экономии); надлежащего технического обслуживания техники и вывода из эксплуатации машин и оборудования с повышенным расходом топлива; организации хранения и отпуска топлива (16,8%); использования биодизельного топлива (11,4%); переоборудования бензиновых автомобилей, другого оборудования для работы на газомоторном топливе (7,3%); повышения эффективности использования машин и механизмов (5,6%); внедрения систем контроля расхода топлива (2,7%); повышения квалификации персонала (машинистов, водителей и ИТР).

На основании такого анализа сформулировано решение о необходимости обновления машинных парков, но преимущественно техникой отечественной при условии, что она будет конкурентоспособной. Отечественная строительная техника, как правило, дешевле импортной; необходимые расходные материалы для ее эксплуатации закладываются также белорусские, что дает возможность экономить финансы и в итоге существенно снижать стоимость машино-часа.

Импортозамещающую отечественную технику необходимо создавать под современные технологии строительства и материалы с учетом всех их требований; создавать многофункциональные шасси с большим набором легкоъемного рабочего оборудования.

О создании линии для получения высококалорийного топлива из низкокачественной древесины, удаляемой с объектов строительства

Вавилов А.В., Переславцев Э.Б., Шуляк Р.И.
Белорусский национальный технический университет

В области производства высококалорийного облагороженного топлива из биоотходов преуспели такие страны как Германия, Австрия, Дания, Швеция, Финляндия, Украина, Прибалтийские страны и др. Для производства пеллет и брикетов в основном ими задействовались древесные опилки, древесная пыль, солома, торф.

Так, немецкая фирма (RIELA) работает в области создания технических средств для производства гранулированного топлива из древесных опилок и успешно проводит соответствующие исследования.

Литовская фирма «Axis Industries» успешно создала линию по производству топливных брикетов из соломы, обосновав параметры и режимы работы технических средств, входящих в состав этой линии. В этом направлении в Беларуси ведутся работы сотрудниками БГУ.

Однако научные данные по подготовке к брикетированию исходного продукта – влажной щепы, получаемой из низкокачественной древесины, а также по процессам измельчения такой щепы, сушке измельченного продукта и его прессованию, отсутствуют.

Поэтому возникла необходимость разработать метод измельчения с наименьшими затратами влажной щепы из свежесрубленной низкокачественной древесины влажностью более 60% до частиц размером 1...3 мм, а, изыскав для этого эффективные принципы измельчения и конструкцию измельчителя, имеющуюся линию для производства брикетов из влажных опилок модернизировать для получения топливных брикетов из полученных частиц уже влажностью 10...12%.

Новизна такой идеи заключается в отсутствии данных в Беларуси и других странах по эффективному измельчению влажной низкокачественной щепы, содержащей измельченную хвою и листву, куски мелких веток (в широком диапазоне фракции) с корой и т.д. до размеров частиц около 3 мм, подвергающихся сушке до влажности 10-12 % и дальнейшему прессованию в брикеты или гранулированию в пеллеты.

Предусматривается поиск аналога измельчителя для исследований из смежных отраслей, изыскание требуемой конструкции измельчителя, его изготовление, проведение опытов с замером исходной влажности, размеров щепы, оценкой полученной фракции частиц, определением энергоемкости процессов измельчения и прессования, определением влажности брикетов, их прочности и теплотворной способности.

Волосевич Е.О.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день стремительно растущую популярность кранов-манипуляторов можно объяснить безопасностью, экономичностью, универсальностью и чрезвычайной эффективностью способа погрузки и перемещения материалов, который удовлетворит потребности любого специалиста, профессионально занимающегося подъемно-транспортными работами. Эти подъемные механизмы уже достигли некоторой степени своего совершенства, однако, хотелось бы рассмотреть вопрос о повышении точности работы крана. Порой бывает, что транспортное средство загружается не полностью из-за нехватки точности выполнения погрузочно-разгрузочных работ, – а ведь машина должна максимально использоваться по своей грузоподъемности (грузовместимости). От степени использования грузоподъемности (грузовместимости) напрямую зависит производительность крана-манипулятора. Поэтому для повышения производительности крана появляется необходимость использования гидравлических либо реечных ротаторов.

Они применяются во многих приспособлениях и механизмах. Это гидравлические краны, автомобильные эвакуаторы, погрузчики для металлолома, лесоматериалов, сыпучих стройматериалов и другие виды оборудования. Несмотря на большие нагрузки, срок службы ротатора довольно продолжителен и достигает нескольких лет. Ротатор выступает в качестве элемента, с помощью которого можно повысить маневренность и точность работы механизма. Именно он обеспечивает возможность дистанционно определять угол, на который повернется траверса относительно оси подвеса. Ротаторы устанавливаются между траверсой и стрелой манипулятора и обеспечивают возможность поворота подвешенного груза вокруг оси подвеса. Угол поворота гидравлического ротатора неограничен, что делает возможным даже круговое вращение в процессе погрузки и разгрузки. Благодаря этой возможности процесс перемещения крупногабаритных и тяжелых грузов упрощается и ускоряется.

Для себя мы можем сделать вывод, что применение такого навесного элемента как ротатор, сможет нам обеспечить очень высокую точность при погрузочно-разгрузочных работах. Благодаря ему значительно упростится и ускорится процесс погрузки и разгрузки, что снизит простой автотранспорта, увеличит время его работы и пробег. Также вырастут показатели производительности машины.

Гарот М.М., Горустович Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Обычно изношенные коленчатые валы ремонтируют перешлифованием на ремонтный размер (до 6 раз). Начиная с третьего ремонтного размера, износ коренных шеек увеличивается на 15-20 % по сравнению с новым. Это связано с уменьшением поверхностной твердости. Предлагаемые ремонтному производству технологии наращивания металла на изношенные шейки коленчатых валов, такие как наплавка, напыление, электроконтактная приварка стальной ленты, вносят в восстанавливаемую деталь высокие технологические напряжения, снижающие ее усталостную прочность.

Широкое распространение в ремонтном производстве получил способ восстановления шеек коленчатых валов приваркой стальных полуколец. Края разрезной ремонтной втулки на 1...2 мм не доходят до галтелей. Стыковой шов и электрозаклепки формируются плазменной сваркой в среде CO_2 . После сварочной операции выполняется шлифование и полирование. Для шеек валов ДВС диаметром 50...80 мм необходимо изготавливать разрезную ремонтную втулку из стали 30ХГСА толщиной 1,5...1,8 мм. Такой способ восстановления шеек коленчатых валов обеспечивает их высокую надежность и ресурс, не уступающий новым коленчатым валам ДВС.

Для снижения концентрации напряжений и повышения несущей способности галтельной зоны коленчатого вала целесообразно применять поверхностное пластическое деформирование. Наиболее рациональной конструкцией приспособления для упрочнения коленчатых валов являются многороликовые устройства охватывающего типа. Такой тип устройств позволяет вести обработку поверхности детали без радиальных нагрузок, приводящих к сильному изгибу вала, так как охватывающая система и размещение роликов под углом 120° предотвращает одностороннее нагружение обрабатываемой детали. Обкатка роликами с различным профильным радиусом позволяет получить упрочненную зону в галтели различной ширины и глубины после каждого прохода. В результате происходит сложнопрофильное упрочнение всей поверхности галтели. Для упрочнения достаточно 3...4 оборота детали. В результате обкатки роликами галтелей предел выносливости коленчатых валов возрастает на 50...80 %. Твердость поверхности галтели возрастает на 20...30 %, шероховатость поверхности уменьшается с $R_a=1,25...2,5$ до $R_a=0,08...0,32$. Накатывание галтелей позволяет компенсировать вредное влияние концентратора напряжений на усталостную прочность коленчатого вала.

**Основные поломки лифтов, встречающиеся на практике.
Диагностирование и ремонт данных поломок.
Предложения по улучшению лифтов**

Ефременков Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Установлено, что в большинстве случаев (85-95%) отказы электродвигателей происходят из-за повреждения обмоток статора, которые распределяются в среднем следующим образом: межвитковые замыкания – 93%; обрыв проводников обмотки статора – 1%; пробой межфазной изоляции – 4%. Примерно 45% отказов электродвигателей происходит вследствие некачественного изготовления и около 50% из-за неправильной эксплуатации, выражающейся главным образом в неудовлетворительной защите электродвигателей. Остальные 5% отказов происходят из-за недостатков в конструкции электродвигателей и несоответствия конструктивного исполнения условиям эксплуатации.

Отказы, вызывающие нарушение работы тормозов лебёдки, в основном связаны с выходом из строя растормаживающего магнита, с износом тормозных накладок, усталостным разрушением тормозной пружины или изменением начальной регулировки тормозного усилия и соответственного тормозного момента. Основным критерием пригодности канатоведающего шкива и дальнейшей эксплуатации является величина его тяговой способности. Необходимость ремонта или замены шкива можно установить по глубине радиального износа ручья, при которой фактическая тяговая способность шкива становится меньше потребной тяговой способности.

Работоспособность глобоидных редукторов определяется в значительной мере точностью сборки, качеством смазки червячной пары, состоянием подшипников, степенью износа зацепления, числом циклов нагружения и усталостной прочностью червяка. В условиях эксплуатации часто наблюдается нарушение регулировки зацепления червячной пары.

В данное время предприятие испытывает нехватку рабочего персонала. Зачастую, даже на простую работу требуется одновременно двое и более рабочих. В частности, трудности может вызвать перемещение кабины вручную за счет штурвала. Штурвал имеет неудобную форму для обхвата, что и вызывает неудобства при его вращении.

Предложения по улучшению конструкции лифтов: изготовить штурвал со специальной выемкой, наподобие колес, используемых в инвалидных креслах – для удобства вращения; улучшение сальников двигателя; разработать конструкцию двигателя с гидротолкателем, предусматривающую щуп для определения уровня масла в нем.

**К обоснованию системы машин для производства
качественных асфальтобетонных смесей**

Замула А.А., Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Рост количества грузовых автомобилей и их грузоподъемности создает сложные условия для эксплуатации автомобильных дорог, особенно построенных на основе обычных битумов, и требуют новых технологических решений. Таким решением является – модифицированный битум, который обладает улучшенными характеристиками: большой рабочий диапазон температур, повышенная эластичность, замедление процессов старения.

Для этого необходимо предусмотреть возможность модернизации асфальтобетонных заводов, многие из которых устарели, установками для модификации битума.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) разработать технологическую схему производства качественных асфальтобетонных смесей (АБС) применительно к дорожной отрасли Беларуси; 2) выбрать технические средства для реализации разработанной технологической схемы; 3) определить основные параметры каждого выбранного технического средства и предложить систему машин для производства качественных АБС; 4) определить экономическую эффективность от внедрения предложенной системы машин.

Процесс приготовления модифицированного битума в установках, которые оснащены механическими мешалками, состоит из следующих технологических операций:

- 1) подача нагретого битума в установку для модификации;
- 2) введение в битум через дозирующее устройство при постоянном интенсивном перемешивании нужного количества латекса;
- 3) после завершения ввода модификатора – интенсивное перемешивание вяжущего на протяжении 1,5...3,0 часов;
- 4) выгрузка модифицированного битума для потребления или хранения;

Предлагаемая система машин состоит из: реакторного блока; мельницы с регулируемым зазором; блока подачи и выгрузки битума; блока подачи полимера; основного пульта управления; системы трубопроводов.

Экономическая эффективность рассчитывается на основе экспериментальных данных, полученных в результате эксплуатации дорожной одежды на основе модифицированных битумов.

К выбору параметров мешалки для производства качественных асфальтобетонных смесей

Замула А.А., Коных А.В.

Белорусский национальный технический университет

При модернизации асфальтобетонных заводов установками для модификации битума решаются следующие задачи:

- 1) разработать технологическую схему производства качественных асфальтобетонных смесей (АБС) применительно к дорожной отрасли Беларуси;
- 2) выбрать технические средства для реализации разработанной технологической схемы;
- 3) определить основные параметры каждого выбранного технического средства и предложить систему машин для производства качественных АБС;
- 4) определить экономическую эффективность от внедрения предложенной системы машин.

Одним из важных технических средств является механическая мешалка.

Процесс приготовления модифицированного битума в установках, которые оснащены механическими мешалками, состоит из следующих технологических операций:

- 1) подача нагретого битума в установку для модификации;
- 2) введение в битум через дозирующее устройство при постоянном интенсивном перемешивании нужного количества латекса;
- 3) после завершения ввода модификатора – интенсивное перемешивание вязущего на протяжении 1,5...3,0 часов;
- 4) выгрузка модифицированного битума для потребления или хранения.

Расчет механической мешалки включает в себя: расчет мощности перемешивания и подбор двигателя; расчет лопасти; расчет вала и подбор подшипников.

На основе расчетов производится подбор оптимальных параметров, которые зависят от необходимой производительности установки для модификации битума. Наиболее оптимальные на данный момент установки оборудуются двумя реакторами по 3 м^3 оборудованные шестилопастной мешалкой, мотор-редуктором, штуцерами подачи битума, люк-лазом с крышкой для обслуживания, системой трубопроводов маслотеплоносителя, уравномером, системой защиты и блокировки, рубашкой утепления, – которые по компоновке вписываются в 12-и метровый контейнер.

Фазовое регулирование гидромашин гидроприводов строительных и дорожных машин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Любинский М.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Одним из приоритетных направлений развития многофункциональных строительных и дорожных машин является развитие объемных гидравлических систем отбора мощности на привод рабочих органов технологического и ходового оборудования. Объемные гидравлические приводы ходового оборудования, реализуемые на базе гидромашин переменных объемов, широкого распространения в транспортных машинах не получили и применяются в трансмиссиях тихоходных строительных машин для маневрирования с малыми скоростями на строительной площадке. Это объясняется малым диапазоном регулирования скорости машины и большой сложностью системы управления механизмом регулирования объема насоса.

Одним из возможных направлений модернизации гидромашин может быть реализация систем фазового регулирования рабочего объема гидромашин. В основу технической реализации систем фазового регулирования положено изменение относительного положения наклонной шайбы и гидрораспределителя при неизменном угле наклона шайбы в гидромашине с наклонной шайбой, либо изменение положения гидрораспределителя при неизменном угле наклона блока цилиндров. При неизменном геометрическом ходе поршня изменяется его эффективный ход, определяемый положением фаз всасывания и нагнетания. Механизм поворота наклонной шайбы, либо гидрораспределителя относительно оси гидромашин может быть выполнен в виде червячной передачи с приводом червяка от автономного электродвигателя. Фактически, при повороте наклонной шайбы, либо гидрораспределителя относительно оси гидромашин на 90° объем гидромашин изменяется от максимального значения до нулевого, и при дальнейшем повороте от 90° до 180° гидромашин реверсируется.

Развитием конструктивных схем гидромашин с фазовым регулированием рабочего объема может быть применение в гидромашине двух гидрораспределителей: торцевого и цапфенного. Рабочие полости двух рядом расположенных цилиндров блока взаимодействуют с двумя гидрораспределителями. Регулирование эффективного рабочего объема гидромашин достигается за счет изменения положения одного из двух гидрораспределителей относительно наклонной шайбы, либо блока цилиндров.

Фазовое регулирование рабочего объема гидромашин является малоэнергоемким и обеспечивает широкие возможности автоматизации.

Модернизация трансмиссии катка для уплотнения покрытий автомобильных дорог

Котлобай А.Я., Котлобай А.А., Любинский М.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Процесс уплотнения строительных материалов является важной технологической операцией строительства автомобильных дорог. Катки являются наиболее распространенными и простыми машинами для уплотнения дорожно-строительных материалов. Пневмоколесные статические катки оснащают пневматическими колесами с гладкой или профилированной рабочей поверхностью. Одной из тенденций развития пневмоколесных катков является использование гидрообъемных трансмиссий закрытого типа на базе раздельно-агрегатных двухмашинных гидropередач привода ведущих колес передних и задних мостов, обеспечивающих бесступенчатое регулирование скорости и плавность передачи крутящего момента к ведущим колесам, реверсирование движения.

При развитии конструкций пневмоколесных катков резервом рационализации параметров трансмиссии является применение одного насоса привода ходового оборудования вместо применяемых двух, тандемирование насосов ходового оборудования и гидроусилителя руля, что обеспечивает отказ от использования громоздкого редуктора привода насосов.

Задача привода пневмоколес мостов катка от одного насоса может решаться по двум направлениям:

- применения двухпоточного насоса привода ходового оборудования;
- применения гидравлического агрегата деления – суммирования потока рабочей жидкости однопоточного насоса привода ходового оборудования.

В рамках реализации первого направления применяем насосный моноагрегат, состоящий из двухпоточного регулируемого аксиально-поршневого насоса хода, шестеренного нерегулируемого насоса подпитки контуров привода хода, шестеренного насоса привода гидроусилителя руля, установленных на одном валу.

В рамках реализации второго направления применяем насосный моноагрегат, состоящий из однопоточного регулируемого аксиально-поршневого насоса хода, оснащенного дискретным гидрораспределителем, и шестеренного нерегулируемого насоса подпитки контуров привода хода, шестеренного насоса привода гидроусилителя руля, установленных на одном валу. Дискретный гидрораспределитель обеспечивает работу в режимах деления и суммирования потоков рабочей жидкости насоса хода.

**Предпосылки создания мульчера для расчистки полосы отвода дорог
и объектов мелиоративного строительства**

Моисеев А.О.

Белорусский национальный технический университет

При эксплуатации полосы отвода дорог или при расчистке объектов мелиоративного строительства, нежелательная растительность должна быть убрана с наименьшими затратами.

Известные дисковые плуги и бороны измельчают древесную растительность и заделывают ее на определенную глубину, но очень энергоемки и требуют двукратного прохода в перекрестных направлениях, что трудноосуществимо на полосе отвода дорог.

Исследования, проведенные различными авторами, и передовой опыт показали, что технология освоения закустаренных земель при мелиоративном строительстве глубоким, сплошным фрезерованием на торфяниках не только отвечает требованиям подготовки почвогрунта под эксплуатацию полосы отвода дорог и расчистку объектов мелиоративного строительства, но и имеет ряд преимуществ перед другими способами.

Однако сравнительно низкая производительность применяемых фрезерных машин, и как следствие этого, высокая стоимость фрезерной обработки сдерживают широкое применение этого перспективного способа.

В условиях недостаточного финансирования в нашей стране, многие предприятия дорожной и мелиоративной отрасли, не могут позволить себе, приобрести импортные мульчеры вследствие их высокой стоимости. Также стоит отметить высокую стоимость и сложность обслуживания импортных мульчеров, а именно замену изношенного режущего инструмента – резцов. В этой связи встает задача о создании отечественного мульчера, а ее решение позволит оснастить данным видом техники организации страны.

В настоящее время в Республике Беларусь уже создано несколько мульчеров, но данные машины имеют ряд недостатков. К основным недостаткам новой техники можно отнести малую глубину фрезерования (до 10 см), что приводит к относительно быстрому возобновлению роста нежелательной растительности, быстрый износ резцов фрезерного оборудования, что приводит к увеличению энергоемкости, производимых работ по отчистке площадей. Поэтому необходимо продолжать совершенствование технологии и конструкции фрезы для снижения энергоемкости работ по уничтожению нежелательной растительности.

**Использование автоматических систем управления рабочим
оборудованием автогрейдера**

Моисеев А.О., Гуминский П.А.

Белорусский национальный технический университет

В процессе строительства реконструируются существующие и создаются новые производственные и промышленные предприятия, энергетические объекты, транспортные магистрали и аэродромы. При этом земляные работы являются первыми по очередности выполнения, требующими больших затрат труда на разработку и перемещения единицы (кубического метра) грунта, а также точности их выполнения.

Повышение качества, снижение сроков и себестоимости дорожного строительства неразрывно связаны с проблемами эффективного использования землеройно-транспортных машин. Поскольку на земляные работы при строительстве дорог приходится более половины материальных затрат, то к землеройно-транспортным машинам предъявляются все более высокие требования по производительности и точности выполняемых технологических операций.

Автогрейдеры выполняют значительный объем планировочных и отделочных работ при устройстве земляного полотна с требуемыми продольным и поперечным профилями. Точность работ, выполняемых автогрейдером, влияет на дальнейшую стоимость строительства объекта. Поэтому в первую очередь встает необходимость оборудовать системами автоматического управления (САУ) именно данный класс землеройно-транспортных машин.

Произведенный расчет технико-экономических показателей работы автогрейдера с САУ показал, что при работе автогрейдера с САУ увеличивается производительность автогрейдера, снижаются затраты на ГСМ, геодезические работы, асфальтобетонную смесь и техническое обслуживание, уменьшается общее время строительства за счет уменьшения количества проходов по одному месту. Это может существенно увеличить экономию бюджетных средств, при строительстве автодорог, аэродромов, промышленных и гражданских сооружений и парковок.

По результатам исследований рекомендуется устанавливать на автогрейдеры систему «САУРО» (совместное производство НТЦ «Баллада», УП «Белгидросила» и УО «Белдорстрой»), которая является хорошей альтернативой зарубежным автоматическим системам по всем параметрам.

Об изменениях в новой редакции «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов»

Передня Л.И., Гарост М.М., Микитич Д.А.
Белорусский национальный технический университет

Новая редакция Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (далее Правила) утверждены постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 28 июня 2012 г. №37 и вступила в силу с 1 января 2013 года. В них имеется ряд существенных дополнений и изменений, направленных на повышение безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ГПК). Расширена область распространения Правил на ГПК военного ведомства. Одновременно определено, что требования Правил не распространяются на ГПК, которые используются для ведения работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций органами и подразделениями МЧС республики Беларусь.

Для исключения поставки в страну ГПК и их узлов, не отвечающих требованиям Правил и других ТНПА, организации-заказчики и поставщики до заключения договора (контракта) на поставку должны обращаться в Госпромнадзор за разрешением.

В нынешней редакции Правил решение Госпромнадзора о возможности применения приобретенного за рубежом грузоподъемного оборудования касается не только ГПК, как это было в старой редакции Правил, но и их узлов, приборов безопасности, канатов, съемных грузозахватных приспособлений и тары. В Правила введен новый пункт о том, что Госпромнадзор осуществляет надзор за изготовлением, реконструкцией, модернизацией только регистрируемого грузоподъемного оборудования.

Безопасная эксплуатация ГПК закладывается на этапе проектирования. Впервые в Правилах указывается, что специалисты, выполняющие работы по проектированию (конструированию) кранов, должны иметь соответствующую квалификацию.

Возможность применения проектно-конструкторской документации на изготовление ГПК, разработанной за пределами республики, в соответствии с требованием Правил, решается Госпромнадзором после проведения экспертизы головной организации, которой является Беларусский национальный технический университет.

В разделе «Эксплуатация» уточнено, что регистрация ГПК, не имеющих заводского паспорта, руководства по эксплуатации, инструкции по монтажу и других необходимых документов может быть произведена на основании таких документов, составленных головной или специализированной организацией.

Тормоза с гидроприводом для башенных кранов

Передня Л.И., Квачков С.В.

Белорусский национальный технический университет

Развитие высотного строительства в Республике Беларусь требует наличия башенных кранов с большой высотой подъема и с минимальными сроками монтажа и ремонта крана. Для изменения высоты башни крана с увеличением этажности здания в современных конструкциях кранов вместо ранее использовавшихся методов наращивания или подрачивания башни в мировой практике башенного краностроения применяется метод телескопирования башни, при котором время на ремонт, связанной с увеличением высоты подъема монтируемых элементов возведенного здания, сводится к минимуму.

Телескопирование башни осуществляется гидроприводом. Для этого кран оборудуется гидравлической системой, включающей приводной блок с электродвигателем и гидронасосом, гидроцилиндры телескопирования башни, масляный бак и аппаратуру управления и защиты.

Гидропривод используется также в башенных кранах с подвижной монтажной обоймой.

В связи с наличием на кране гидропривода предлагается модернизация тормозов механизмов крана, заключающаяся в том, чтобы вместо традиционных электрогидротолкателей устанавливать на тормоз гидроцилиндры.

Электрогидротолкатель существующих тормозов в своем составе имеет специальный электродвигатель, специальный насос и вертикальный гидроцилиндр. Рабочей жидкостью гидротолкателя служить трансформаторное масло или специальная жидкость ПЭС-3М. При отрицательных температурах жидкость загустевает, и электрогидротолкатель становится неработоспособным. Для башенных кранов, у которых механизмы с тормозами расположены на значительной высоте и продуваемы ветром, этот недостаток особенно существен.

В предлагаемой конструкции двухколодочного тормоза вместо электрогидротолкателя устанавливается гидроцилиндр, подключаемый к гидросхеме крана. Гидроцилиндр служит для растормаживания. Затормаживание осуществляется посредством предварительно сжатой пружины. Конструкция тормоза позволяет путем перестановки точки крепления штока гидроцилиндра регулировать величину отхода колодок при износе тормозных накладок, также обеспечивает одинаковый отход колодок от тормозного шкива при растормаживании. При заполнении гидросистемы всесезонной жидкостью сезонную смазку масла не требуется проводить.

Современные грузоподъемные краны

Савицкий В.П., Пыж И.С.

Белорусский национальный технический университет

В наше время существенно повысился интерес большинства государств к использованию силы ветра для получения электрической энергии. Поскольку известно, что ветровое давление увеличивается при увеличении высоты в соответствии с поправочным коэффициентом $k_{\text{выс.}}$, который при $H = 100\text{ м}$ имеет величину 2,1, а при $H = 200\text{ м}$, $k_{\text{выс.}} = 2,6$, то становится очевидным стремление к созданию таких подъемных машин, которые способны обеспечить монтаж мощных ветровых энергетических установок на больших высотах.

Среди производителей стреловых самоходных кранов наиболее полную информацию приводит фирма Liebherr, которая имеет сегодня гусеничный, с решетчатой стрелой кран грузоподъемностью 750 т. Этот кран способен вести монтаж ветросиловых установок массой 141 т на высоту 143 м, а массой 97 т – на высоту 160 м. Этой же фирмой создан гусеничный кран с максимальной грузоподъемностью 3 тыс. т на вылете 12 м. При таких технических данных кран – кроме монтажа мощных ветровых энергетических установок на больших высотах – будет использоваться на нефтеперегонных заводах для установки ректификационных колонн массой 1500 т при длине до 100 м. и др. работах. Максимальная длина стреловой системы – 246 м (120 м длина основной стрелы плюс 125 м длина управляемого гуська). Такой кран имеет массу в рабочем состоянии 3500 т. При этом использован полиспаг с кратностью 60, масса крюковой подвески 111 т.

В 2010 году в США отработали о том, что для крупных гидротехнических работ по реконструкции шлюзовых камер на реке Огайо создан самый большой в мире многоопорный козловой кран грузоподъемностью 5100 т. Подъем и монтаж основных элементов конструкции занял два месяца. Почему же проигнорировано сообщение о том, что в Китае 18 апреля 2009 года введен в эксплуатацию козловой кран Тэйсун, который на церемонии открытия поднял баржу массой в 20133 тонны на 30 метров над водой? Дело в том, что Тэйсун, предназначенный для использования в строительстве танкеров и нефтяных платформ, имеет номинальную грузоподъемность 20 000 т, но этот гигант является стационарным краном, опоры которого выполнены из железобетона и только перекрытие – балка между опорами – выполнено из стали. Сегодня объявлено о строительстве в Китае передвижного козлового крана грузоподъемностью 22 000 т., высотой 150 м. Кран сможет проехать над 20-ти этажным зданием.

Обоснование диаметра трубопровода в гидросистеме транспортного агрегата

Савицкий В.П., Нестеренков Д.В.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании гидропривода по требуемой мощности выбирается гидромотор; для обеспечения нужной производительности вычисляется необходимый расход масла и далее рассчитывается мощность насоса. Причем к давлению, при котором будет работать насос, прибавляются потери давления в напорной гидролинии. Ориентировочно величина этих потерь может составить $\Delta p = 0,5$ МПа. Диаметр трубопровода этой линии находится с учетом рекомендаций по выбору скорости движения рабочей жидкости.

Рассмотрим при постоянных величинах – длине трассы, коэффициентах местных сопротивлений и др. – изменение потерь Δp , потерь мощности в зависимости от скорости движения масла. Выборку результатов программного расчета приводим в нижеследующей таблице.

v_m , м/с	1	2	3	4	5	7
$d_{тр}$, мм	47	33	27	23,5	21	17,8
Δp , МПа	0,0054	0,0239	0,057	0,106	0,172	0,358
ΔN , кВт	0,01	0,04	0,10	0,18	0,30	0,62

В таблице использованы следующие обозначения: v_m – скорость движения рабочей жидкости; $d_{тр}$ – диаметр трубопровода; ΔN – потери мощности.

Из приведенных результатов следует отметить, что, если взять, например, диаметр трубопровода 27 мм вместо 21 мм, потери мощности уменьшатся в 3 раза, и, следовательно, в 3 раза уменьшится тепловыделение.

В таких условиях увеличится ресурс работы гидросистем из-за меньшего нагревания масла. В то же время ресурс работы увеличится из-за меньшего влияния гидродинамической кавитации, которая возникает по причине уменьшения давления. Это может происходить вследствие больших скоростей в потоке жидкости, в которой всегда содержится некоторое количество нерастворенного воздуха. Это количество увеличивается при интенсивной эксплуатации и может приводить к образованию воздушных пузырьков в жидкости, диаметр которых находится в пределах 0,4...0,7 мкм. Избыток кавитационных пузырьков неблагоприятно сказывается на работе насосов и приводит к другим негативным последствиям.

**Повышение уровня автоматизации гидроприводов
геолого-диагностических машин**

Смоляк А.Н., Малиновский И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Создание конкурентоспособных, высокопроизводительных, экономичных и экологически защищенных конструкций гидроприводов геолого-диагностических машин нового поколения для строительства высотных зданий и сооружений базируется на эффективном применении роторных гидрораспределителей с объемным регулированием скоростей движения выходных звеньев гидродвигателей.

Роторные гидрораспределители с гидравлической обратной связью и объемным регулированием скорости вращения, установленные в конструкциях геолого-диагностических машин, предусматривают повышение энергии удара при высоком коэффициенте полезного действия за счет однонаправленного непрерывного вращения ротора, исключающего возникновение режима автоколебаний элементов гидроаппаратов, гидроударов и кавитации.

С целью улучшения качества выполняемых работ и повышения производительности геолого-диагностические машины целесообразно обеспечить системой автоматического управления рабочим оборудованием и автоматического отсчета показаний, таких как: контроль скорости вращения, подачи бурового инструмента; количество ударов (при динамическом способе диагностики) на единицу длины заглубления инструмента. Автоматическое управление рабочим оборудованием рассматриваемых машин позволяет контролировать скорость вращения и подачу бурового инструмента, что в свою очередь практически исключает процесс смешивания слоев грунта, искажающий диагностические показания.

Автоматическая система управления гидроприводом универсальной геолого-диагностической машины, базирующейся на шасси отечественного производства и включающей несколько видов рабочего оборудования для статического и динамического исследования грунтов на глубину более 50 м, позволяет определить показатели сопротивления пластов по глубинам, считываемые специальными электронными устройствами. Полученные данные в электронном виде передаются геологам для дальнейшей обработки при камеральных инженерно-геологических работах.

Новое техническое решение для геолого-диагностических машин обеспечивает их высокую надежность и большую мощность, значительное снижение шума и вибрации во время работы геолого-диагностического оборудования.

Совершенствование гидроприводов ударно-вибрационных машин для строительства и ремонта автомобильных дорог и мостов

Смоляк А.Н., Примаков В.В.

Белорусский национальный технический университет

Появление новых технологических методов ремонта автомобильных дорог с предварительным разрушением старого асфальтобетонного покрытия, новых технологий разработки грунта, таких как горизонтально-направленное бурение, забивка свай гидравлическими молотами при строительстве мостов; требует интенсивного совершенствования конструкций машин на основе экономичных и экологических принципов с повышенным уровнем автоматизации и требуемой производительности.

Режимы кавитации и гидроударов в системе объемных гидроприводов ударно-вибрационных машин являются также следствием возникновения автоколебательных движений запорных элементов гидрораспределителей (золотниковых, крановых и клапанных) в период рабочего цикла. Передаваемые гидрораспределителями противоположные по величине и направлению импульсы давления в область рабочих полостей гидродвигателей, приводят к повышенной вибрации и шуму при работе устройства, вызывает его интенсивный износ, снижают производительность и мощность.

Сравнительный анализ предлагаемых в работе схмотехнических решений позволяет оценить значительное число факторов, влияющих на процессы создания и внедрения в производство новых технических решений в конструкциях ударно-вибрационного действия, расположенных в соответствующих аспектах: экономические, экологические, производственно-технологические и эксплуатационные.

Значительный экономический эффект от внедрения в производство гидроприводов ударно-вибрационного действия на базе роторных гидрораспределителей обеспечивается исключением режимов автоколебаний запорных элементов гидроаппаратов и выходных звеньев гидродвигателей, уменьшением вероятности возникновения гидроударов и кавитации.

Однонаправленное непрерывное вращение ротора гидрораспределителя во время рабочего и холостого хода бояка ударно-вибрационного устройства позволяет значительно повысить быстродействие машины вследствие исключения режимов остановок и автоколебаний запорного элемента гидроаппарата, что гарантирует, в свою очередь, повышение мощности и производительности при высоких показателях коэффициента полезного действия, значительную экологическую защиту и эргономический эффект при управлении машиной.

Заготовка древесно-кустарниковой растительности экскаватором со срезающим-пакетирующим рабочим органом

Соколовский Ю.В., Лустач К.С.

Белорусский национальный технический университет

Заготовку древесного топлива из древесно-кустарниковой растительности (ДКР) на объектах строительного комплекса и объектах мелиорации предлагается производить с помощью универсального базового шасси, оборудованного срезающее-пакетирующим рабочим органом. В качестве такого шасси предлагается использовать одноковшовый гусеничный экскаватор с увеличенной шириной гусеницы. Его преимуществами являются высокая проходимость вследствие малого давления на опорную поверхность, позволяющая работать на переувлажненных грунтах с низкой несущей способностью, а также возможность замены сменного срезающее-пакетирующего рабочего органа основным рабочим оборудованием в случае отсутствия объемов работ в межсезонье.

Комплект машин для заготовки древесного топлива по предложенной технологии состоит из экскаватора, оборудованного срезающее-пакетирующим рабочим органом, погрузочно-транспортной машины (форвардера), мобильной рубильной машины с бункером-перегрузчиком и топливовоза (контейнерного автощеповоза).

Экскаватор с увеличенной шириной гусеницы осуществляет срезание ДКР с укладкой в кучи или валы. В отдельных случаях (при малых размерах и объемах) срезание кустарниковой растительности может осуществляться бензопилами. При необходимости (разработка ДКР в несколько проходов на участках с низкой несущей способностью грунта) часть срезанных деревьев может укладываться в колею, для обеспечения подъезда погрузочно-транспортной машины.

Погрузочно-транспортная машина осуществляет вывозку срезанной древесно-кустарниковой растительности на промежуточную площадку для подсушки и переработки в щепу.

Мобильная рубильная машина осуществляет переработку ДКР в щепу с погрузкой в собственный бункер с дальнейшей транспортировкой на небольшие расстояния и перегрузкой в контейнер топливовоза, для доставки щепы на склад потребителя.

Полученная щепа используется для производства пеллет, для чего она предварительно сушится, затем дополнительно измельчается на молотковой дробилке, после чего поступает в циклон и дозировочный бункер, из которого определенные порции полученного древесного сырья подаются на гранулятор, производящий пеллеты.

Исследование мостового однобалочного крана

Соколовский Ю.В., Коновалик И.И.

Белорусский национальный технический университет

Мостовые однобалочные краны с электрическим приводом разделяются на подвесные и опорные. Мостовые подвесные однобалочные краны (по ГОСТ 7890-93) выпускаются грузоподъемностью от 1 т до 10 т. В качестве несущей балки таких кранов применяют, как правило, двутавр, в необходимых случаях усиливая несущую балку вертикальной шпренгельной конструкцией и горизонтальной фермой. Балки подвешивают к ходовым кареткам, которые перемещаются по подкрановым двутавровым направляющим.

Мостовые однобалочные краны опорного типа (по ГОСТ 22045-89) выпускаются грузоподъемностью от 1 т до 5 т. Главная балка моста крана данного типа выполняется из двутавровой балки. Размеры двутавра выбирают в зависимости от грузоподъемности крана с учетом прочности и условий проходимости электротали по полкам двутавра. Пространственная компоновка главной балки зависит от грузоподъемности и размера пролета.

Грузоподъемность мостовых однобалочных кранов выпускаемых отечественной промышленностью раньше в значительной мере определялась грузоподъемностью серийно выпускаемых электроталей (от 1 т до 5 т), при большей грузоподъемности применялись, как правило, мостовые двухбалочные краны опорного типа.

Современные зарубежные производители выпускают тали электрические грузоподъемностью до 32 т, что позволяет применять мостовые однобалочные краны грузоподъемностью свыше 5 т. Это целесообразно исходя из того факта, что мосты однобалочных мостовых кранов за счет сокращения числа вертикальных стенок и других деталей имеют значительно меньшую массу. При этом однобалочные пролетные части выполняются закрытого типа четырех- или трехплоскостными. Такие балки обладают большой жесткостью в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также достаточной крутильной жесткостью и устойчивостью.

Идеальным с точки зрения использования металла является изготовление главных балок из труб, имеющих эллиптическую форму. Предел устойчивости стенки такой балки лежит выше предела текучести (в связи с чем возможно совсем отказаться от диафрагм) и ее масса на 8-10% меньше коробчатой балки. Однако поскольку трубы такого профиля не изготавливаются, нашли применение круглые трубы.

Концевые балки независимо от конструкции пролетной части, как правило, имеют коробчатое сечение.

УДК 69.002.5-52(075.8)

Основные поломки вспомогательного оборудования лифтов, встречающиеся на практике. Диагностирование и ремонт данных поломок. Предложения по улучшению лифтов

Черепанов И.М., Квирикашвили И.Г.

Белорусский национальный технический университет

При плановом техническом обслуживании распашных дверей шахты лифта контролируют следующие основные параметры: зазоры между ригелем и кромками отверстия в двери шахты, между притворными планками и стояком, засовом неавтоматического замка и кромками отверстия в притворном стояке; положение блок-контакта прикрытия двери шахты, зазоры контактов и блок-контакта контроля запираения двери шахты автоматическим замком. Основные контролируемые параметры распашных дверей кабины – зазоры между закрытой и открытой створками, определяются техническим состоянием створок дверей кабины и фартучного устройства. Кроме этого визуально проверяют, нет ли поломок в ограждении купе кабины, надёжно ли закреплены петли створок двери. Контролируемый зазор между закрытой и открытой створками двери кабины определяют в такой последовательности.

При диагностировании направляющих необходимо обращать внимание на следующее: прямолинейность направляющих (отклонение от прямолинейности допускается до 1/1000 длины составляющей частей направляющих, на не более 2 мм); вертикальность направляющих (допускается отклонение от вертикали 0.2 мм на 1 м высоты, но не более 10 мм при высоте направляющих более 50 м); стыковку направляющих элементов. На практике в ходе диагностирования выявляются следующие наиболее часто встречающиеся поломки кабины и шахты лифта: перекося двери кабины; обрыв ремня ременной передачи; перекося направляющий; поломка кнопок; вандализм; выход из строя ВКО и ВКЗ; выгибание кронштейна; выход из строя ловителей. При проверке ограничителей скорости основным диагностируемым параметром является тяговое усилие шкива, которое зависит от профиля ручья. На практике в ходе диагностирования выявляются следующие наиболее часто встречающиеся поломки ограничителя скорости: выработка ручья; поломка пружины.

Предложения по улучшению конструкции лифтов: вернуться к старой модели привода (применение редуктора с водилом); применение надежных замков кабины; выполнение вкладышей уже в готовом состоянии и повышение качества резинок в них; выполнение пружин дверей с крючком для облегчения крепления; использование более качественного материала при изготовлении металлоконструкций.

**О положении лифтового хозяйства в Республике Беларусь.
Предложения по его улучшению**

Черепанов И.М., Квирикашвили И.Г.
Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим состояние лифтового хозяйства Беларуси на примере участка № 3 по адресу ул. Пушкинская, 85. На рассматриваемом участке в эксплуатации находятся 287 лифтов, в том числе 120 – с электронным управлением, 167 – с релейным управлением. В основном данные лифты являются пассажирскими грузоподъемностью 320, 350, 400, 500, 630 кг.

Предпочтение отдается пассажирскому лифту грузоподъемностью 320 кг и 400 кг. В процентном соотношении лифты с грузоподъемностью 320 кг составляют 60% от общего числа эксплуатируемых лифтов, лифты с грузоподъемностью 400 кг – 20%, остальные 20% приходятся на все остальные лифты. Нормативный срок службы данных лифтов составляет 25 лет, однако, средний срок службы рассматриваемых лифтов 28-35 лет. Самый старый лифт находится в эксплуатации с 1971 года (42 года). Около 60% всех лифтов грузоподъемностью 320 кг находятся в плохом состоянии – требуется замена деталей. Скорость лифта: 0,63, 071, 1 м/сек. Самые распространённые 0,71 м/сек – для лифтов грузоподъемностью 320 кг. Скорость 80-ти процентов новых лифтов составляет 0,63 м/сек. Редукторы, используемые в лифтах, обычно РЧЛ – 160; РГЛ – 160, 180. Используемые двигатели: АН – 180; АС – 62; АС – 72; 4АН – 160; 4АН – 180. Редукторы в большинстве случаев глобоидные с нижним расположением червяка. Тормоза применяют длинноходовые (до 20 мм) и короткоходовые (2-4 мм). Муфты в основном МУВП с 4 и 6 пальцами.

Старые советские лифты постепенно заменяются новыми белорусскими лифтами “Могилевлифтмаш”. Скорость внедрения отечественных лифтов составляет примерно 1 лифт в месяц. Новый лифт монтируется 2 месяца. На основании такого анализа можно сделать вывод, что улучшения можно достигнуть более интенсивной заменой старых лифтов новыми, увеличением числа рабочих (до 7 человек на бригаду) и повышения их квалификации (6 разряда в течение 3-5 лет). Сказывается и нехватка рабочего оборудования и запчастей. На данный момент данные проблемы являются наиболее острыми. Жилые здания в основном оборудуются отечественные лифтами производства “Могилевлифтмаш”, которые занимают ведущее место на внутреннем рынке. Предложения по улучшению лифтового хозяйства: увеличение числа рабочих; повышение квалификации рабочего; обеспечивать рабочий персонал необходимым оборудованием и запчастями; повышение темпов внедрения новых лифтов.

**Комплект грузоподъемного оборудования для ремонта
дымовых труб**

Шавель А.А., Родобольский А.И.

Белорусский национальный технический университет

Энергетической программой Республики Беларусь предусмотрено дальнейшее развитие базы энергетических объектов как путем строительства новых, так и на основе поддержания действующих на достаточной технической уровне или на основе их технического перевооружения.

Дымовые трубы тепловых электрических станций работают в тяжелых условиях, сочетающих перепады температуры, давления, влажности, агрессивное воздействие дымовых газов, ветровые нагрузки и нагрузки от собственной массы под действием вышеперечисленных условий работы оболочки дымовых труб разрушаются, арматура стенок труб интенсивно корродирует. При ремонте дымовых труб для доставки людей, грузов, инструментов на высоту используют мачтовую и реже струнные подъемники.

Белорусский национальный технический университет совместно с ЗАО «Белспецэнерго» разработал комплект подъемного оборудования к шахтному и струнному подъемникам для ремонта дымовых труб. В состав комплекта входят: лебедка электрическая реверсивная; кабина в сборе, оснащенная двумя центробежными ловителями; рама верхняя, устанавливаемая в нижней части трубы. Грузоподъемность кабины составляет 700 кг, вместимость кабины 3 человека, максимальная высота подъема 150 м. Кабина выполнена двухдверной, открывающейся внутрь кабины. Для транспортирования только грузов, когда двери кабины раскрыты, для исключения падения грузов в проеме дверей снаружи устанавливается съемный щит. Центробежные ловители содержат ограничители ускорений, при срабатывании которых, кабина «садится» на предохранительные канаты, верхние концы которых закреплены на верхней раме, а нижние концы – свободно висят и пригружены натяжным грузом массой 50 кг. Внутрь кабины введена рукоятка принудительного управления ловителями. Ручное управление ловителями предусмотрено для дополнительной фиксации кабины на предохранительных канатах в штатных ситуациях при погрузке, разгрузке груза, людей, при промежуточных непредвиденных остановках кабины, в каких-то аварийных ситуациях. Управление лебедкой перемещения кабины осуществляется со специального пульта, установленного снаружи дымовой трубы. Между оператором управления и рабочими в кабине осуществляется постоянная радиотелефонная связь.

Применение разработанного комплекта оборудования позволяет обеспечить безопасную и эффективную работу при ремонте дымовых труб.

Гибридная схема тягово-транспортной машины

Яцкевич В.В., Зеленый П.В., Миркитанов В.И.
Белорусский национальный технический университет,
Орenburgский государственный университет

Седельные поезда на базе автомобилей МАЗ имеют высокий технический уровень, но недостаточную проходимость на грунтовых дорогах. Тракторные поезда обладают повышенной проходимостью в условиях бездорожья, но уступают автомобильным по техническому уровню. Гибридная схема позволяет объединить положительные качества автомобильных и тракторных поездов. Для этого в качестве силового блока использована передняя энергетическая часть шарнирно-сочлененного трактора К-701, которая дополнена задней тележкой из двух ведущих мостов автомобиля МАЗ-6422, а грузонесущая часть заимствована с тракторных прицепов ОЗТП-8573 грузоподъемностью 14,5 т (Рис. 1.) Такая тягово-транспортная машина с колесной формулой 10х6 способна в благоприятных дорожно-грунтовых условиях дополнительно буксировать трехосный тракторный прицеп ОЗТП-8572 при общей грузоподъемности поезда 27,5 т. Передние ведущие колеса большого размера способствуют повышению



Рис. 1. Тракторомобиль седельного типа

проходимости за счет прокладки в грунте колеи, по которой затем проходят последовательно ведущие двоянные колеса и грузонесущие ведомые соответственно меньшего размера. Такое расположение

колес по осям тягово-транспортной машины считается оптимальным по критерию проходимости. Другим положительным качеством является улучшение плавности хода за счет шин низкого давления передних ведущих колес и рессорной подвески задней тележки, а также седельного устройства по схеме полуприцепа. Такое решение позволило устранить явление «галлопирования» трактора при движении по неровностям грунтовой поверхности, свойственное тракторным поездам при агрегатировании полуприцепов за буксирный крюк. Такая схема позволила приблизиться по удельным показателям к автомобильным поездам.

О повышении эффективности колесных тракторов на транспорте

Яцкевич В.В., Зеленый П.В., Миркитанов В.И.

Белорусский национальный технический университет

Универсально-пропашные колесные тракторы используются на транспортных работах более пятидесяти процентов бюджета рабочего времени. Тракторные прицепы традиционно оснащены буксирным устройством в виде плоского 3-х угольного дышла с петлей. Такая шарнирная связь по типу «крюк-петля» ограничивает массу прицепа по условиям устойчивости движения и проходимости. Эти недостатки могут быть устранены с помощью шарнирно-сочлененного дышла (Рис. 1). Оно позволяет агрегатировать трактор с прицепом по двум вариантам – по схеме «крюк-петля» и жесткой сцепке посредством навесной системы трактора. В последнем случае задняя ось трактора и передняя прицепа образуют ходовую тележку по схеме «тандем» с жесткой связью. При этом становится возможным использование гидроувеличителя сцепного веса трактора для перераспределения опорных реакций между осями трактора и прицепа в зависимости от дорожных условий. Кроме того, устранение одного неуправляемого звена в тракторном поезде позволяет агрегатировать тракторы класса 14 кН с прицепами грузоподъемностью 12...13 т. В результате следует ожидать более полное использование потенциала энергонасыщенных тракторов по загрузке двигателя и скорости движения, а, следовательно, и повышение их производительности на транспортных работах. Конструкция реализована на макетном образце транспортного агрегата в составе трактора МТЗ-82 и прицепа ОЗТП 8572 грузоподъемностью 13 т.

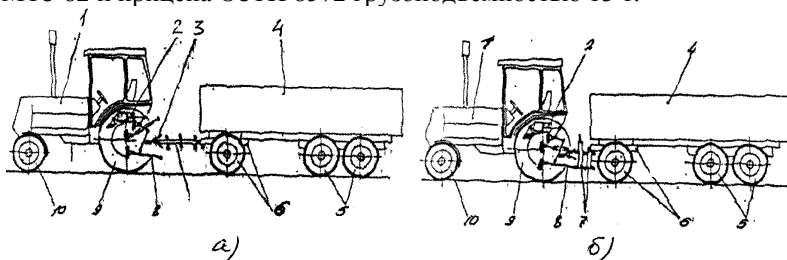


Рисунок 1. Варианты агрегатирования прицепа с трактором:

а) прицепной; б) жестко-стыкуемый; 1 – трактор; 2 – силовой цилиндр навесной системы; 3 – сцепное устройство; 4 – прицеп; 5 – задняя тележка прицепа; 6 – передняя ось прицепа; 7 – универсальное дышло в раскрытом (а) и сложенном (б) положении; 8 – нижние продольные тяги навесной системы; 9 и 10 – передние и задние колеса трактора.

**Анализ влияния эксцентриситетов роликов
на движение конвейерной ленты**

Миранович О.Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным предприятием

Наличие эксцентриситета у среднего ролика приводит к тому, что поддерживаемая этой опорой движущаяся лента с грузом в месте контакта с роликом имеет периодическое вертикальное смещение с амплитудой a_p , равной эксцентриситету ролика, и с частотой P_p , равной частоте вращения ролика.

Из аналитических исследований следует, что лента будет колебаться с наибольшей амплитудой $A_{\text{в max}}$ в случае равенства частот P_0 и P_p , которое имеет место при движении ленты со скоростью v_d .

Можно проанализировать влияние параметров конвейера (T_0 , v_d , l_p , r_p , n) на движение ленты при наличии эксцентриситетов у роликов. При этом амплитуда вынужденных колебаний ленты существенно зависит от коэффициента затухания n , величина которого определяется гранулометрическим составом и физическими свойствами транспортируемого груза, а также конструктивными особенностями и геометрическими размерами поперечного сечения ленты. С возрастанием n амплитуда $A_{\text{в}}$ уменьшается.

Увеличение расстояния между опорами приводит к тому, что колебания с максимальной амплитудой будут при меньших скоростях движения, однако и величина $A_{\text{в max}}$ также будет меньше.

При увеличении натяжения ленты максимальные колебания будут при более высоких скоростях с большей амплитудой.

Таким образом, вынужденные колебания ленты наиболее существенные только в зоне примерного равенства частот P_0 и P_p . Когда этого нет, амплитуда колебаний мала и эксцентриситеты роликов не влияют на движение ленты. Отсюда следует вывод о том, что для конвейеров с заданными l_p , r_p и известными пределами изменения натяжения $T_{\text{min}} \leq T_0 \leq T_{\text{max}}$ можно выбрать такие скорости движения ленты, при которых практически не будет вынужденных колебаний, приводящих к появлению дополнительной нагрузки на ролики. Однако ввиду того, что при вращении роликов с эксцентриситетом возникает также и центробежная сила, которая прямо пропорциональна квадрату скорости, конкретные рекомендации по применению роликов различного диаметра можно сделать только после изучения действующих нагрузок на ролики опор.

**Анализ влияния эксцентриситетов барабанов
на движение конвейерной ленты**

Миранович О.Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным предприятием

Наличие эксцентриситета у барабана a_δ приводит к появлению дополнительного натяжения $T(t)$, меняющегося по гармоническому закону.

В системах с распределенными параметрами, к которым относится и лента конвейера, периодическое изменение приложенных продольных сил, даже с небольшими амплитудами (в данном случае ΔT), но с частотами, близкими к удвоенной частоте собственных колебаний, приводит к значительным поперечным колебаниям. Так как параметрические колебания ленты вызывают дополнительные динамические нагрузки на роликовые опоры, необходимо оценить возможность их возникновения для ленточных конвейеров.

Из результатов анализа параметрических колебаний, проделанного Н.Н. Боголюбовым и Ю.А. Митропольским, следует вывод о том, что в резонансной зоне, когда частота изменения продольной силы близка к удвоенной частоте собственных колебаний системы, существует возможность определения только областей движения, если движение системы описывается линейным уравнением, а амплитуда параметрических колебаний в этом случае может быть найдена, если уравнение движения имеет нелинейный характер.

Анализ зависимостей, проведенный с учетом реальных характеристик ленточных конвейеров, транспортирующих крупнокусковые грузы, показал, что лента конвейера нечувствительна к возбуждению параметрических колебаний даже при значительных эксцентриситетах барабанов и влиянием этого фактора на движение ленты можно пренебречь.

Таким образом, исследование влияния эксцентриситетов роликов опор и барабанов на движение ленты конвейера, показало, что для обеспечения хорошей работы конвейера необходимо исключить возможность появления вынужденных вертикальных колебаний ленты, приводящих к увеличению нагрузки на опору и способствующих росту сопротивления движению. При правильном выборе расстояния между опорами и скорости движения ленты и при определенных сочетаниях этих параметров вынужденные колебания возникать не будут даже в случае наличия эксцентриситетов у роликов. Такой путь является наиболее экономичным, поскольку не требуется увеличение точности изготовления, сборки и монтажа роликов опор.

Научное издание

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

Материалы Одиннадцатой Международной
научно-технической конференции

В 4 томах

Том 1

Ответственный за выпуск *В. С. Лазарев*

Подписано в печать 11.11.2013. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 28,13. Уч.-изд. л. 22,00. Тираж 160. Заказ 1042.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.