



НАУКА –

образованию,
производству,
экономике

Материалы Десятой
международной
научно-технической
конференции

1

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

**НАУКА – _____
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

**Материалы Десятой международной
научно-технической конференции
В 4 томах**

Том 1

**Минск
БНТУ
2012**

02

УДК ~~001:[37+658+338](063)~~

ББК ~~72я431~~

Н34

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

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

ISBN 978-985-550-126-9 (Т.1)
ISBN 978-985-550-130-6

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

Допустимые переменные систематические перегрузки силовых трансформаторов

Анищенко В.А., Иванов В.В.*

Белорусский национальный технический университет
Республиканское унитарное предприятие энергетики Минскэнерго*

Мощность силовых трансформаторов выбирают исходя из экономической целесообразности режима работы при условии, что нагрузка трансформаторов не должна по условиям нагрева приводить к сокращению естественного срока их службы. Если не учитывать потенциальную перегрузочную способность трансформаторов, то это может привести к выбору трансформаторов с необоснованно завышенной номинальной мощностью. Однако при перегрузках износ изоляции витков обмоток трансформаторов, соответствующий установившимся превышениям их температур над температурой охлаждающей среды (масла, воздуха), превышает износ при нормальном режиме.

Трансформаторы общего назначения допускают систематические перегрузки, обоснованные их компенсацией предшествующими и последующими недогрузками. Допустимые длительности систематических перегрузок определяют по стандартным кривым в зависимости от графиков нагрузки, кратностей перегрузок, предшествующих недогрузок и температуры охлаждающей среды. При неизвестных графиках нагрузки допустимые систематические перегрузки определяют по допустимым превышениям температуры верхних слоев масла перед наступлением перегрузки. Предполагается, что кратность возникшей перегрузки остается неизменной до ее окончания. Однако кратность перегрузок может изменяться во времени.

Неучет переменного характера перегрузок ведет к ошибкам определения их допустимых продолжительностей. В связи с этим возникает потребность в корректировке нормирования допустимой длительности перегрузок.

Основой методики служит математическая модель, описывающая температурный режим трансформатора при перегрузках, которая позволяет учесть изменение постоянной времени трансформатора при перегрузке и его предыдущее состояние.

Реализация алгоритма, разработанного на основе этой методики, предполагается в рамках автоматизированных систем контроля и управления электроснабжения, устанавливаемых на понизительных трансформаторных подстанциях, что повысит надежность работы электроэнергетических систем при перегрузках.

Многопризнаковый контроль достоверности электрических измерений по предельным значениям

Анищенко В.А., Немкович А.С.

Белорусский национальный технический университет

Увеличение сложности и единичных мощностей энергетических объектов, например, энергоблоков атомных электростанций, аварии на которых ведут к значительному недоотпуску потребителям электрической и тепловой энергии и представляют большую опасность для обслуживающего персонала и экологии окружающей среды, определяют актуальность достоверности измерительной информации о значениях технологических переменных, характеризующих состояния и режимы объектов.

Недостоверные измеряемые данные могут привести к обнаружению неисправностей оборудования, неверной работе противоаварийной автоматики и ошибочным действиям оперативного персонала при возникновении аварий и в процессе ликвидации их последствий. С другой стороны, недостоверная информация может стать причиной ложной тревоги о якобы аварийных ситуациях, что также приведет к отрицательным последствиям. В нормальных режимах работы недостоверные данные ухудшают качество ведения и экономичность технологического процесса, снижают точность определения технико-экономических показателей энергетического оборудования.

Одним из способов повышения достоверности измерений является их дублирование. При этом возникает дискуссионный вопрос о том, где провести границу между понятиями достоверности и недостоверности применительно как к результату каждого из дублированных измерений, так и к их невязке (небалансу). В настоящей публикации предлагается методика организации контроля достоверности дублированных измерений, основанная на формализации понятий достоверности и недостоверности исходя из их влияния на точность определения значения контролируемой переменной с учетом вероятностных характеристик переменной и погрешности ее измерений.

Результаты контроля достоверности дублированных измерений по предельным значениям каждого из измерений и их допустимой невязке носят вероятностный характер и ни один из них не гарантирует стопроцентное обнаружение недостоверных измерений.

Отсюда возникает идея коллективного (многопризнакового) контроля достоверности, который повышает вероятность распознавания недостоверных измерений по сравнению с вероятностью распознавания любым одним способом контроля.

Влияние соотношения основных размеров трансформатора на его параметры

Янукович Г.И., Збродыга В.М.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Основными размерами трансформатора являются высота стержней магнитопровода l_c и средний диаметр обмоток d_{12} . В проектной практике используют соотношение средней длины витка обмоток к высоте стержней магнитопровода:

$$\beta = \frac{\pi d_{12}}{l_c}.$$

Нами проведены исследования влияния соотношения основных размеров β на параметры трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» различных мощностей и различных напряжений. Расчеты выполнены на ЭВМ с использованием разработанной авторами программы расчета в диапазоне изменения β от 1,0 до 4,0.

С ростом β масса стали в стержнях снижается, а масса стали в ярмах и общая масса стали магнитопровода трансформатора увеличивается. Поэтому с ростом β возрастают потери и ток холостого хода. Увеличение магнитной индукции при неизменных значениях β увеличивает потери и ток холостого хода за счет увеличения удельных потерь в стали и удельной намагничивающей мощности, хотя общая масса стали при этом уменьшается.

Масса металла обмоток снижается с ростом β . Потери короткого замыкания и напряжение короткого замыкания при этом также уменьшаются. Увеличение плотности токов при неизменных значениях β снижает массу обмоток, но при этом увеличиваются электрические потери в обмотках, которые пропорциональны массе металла обмоточного провода и кВ·Адрагу плотности токов в обмотках. При этом ухудшаются условия охлаждения обмоток и возникает необходимость в устройстве дополнительных каналов охлаждения, которые в свою очередь увеличивают радиальные размеры обмоток. Следовательно, увеличиваются средняя длина витка, масса обмоточного провода, а также электрические потери в обмотках и напряжение короткого замыкания. При увеличении радиальных размеров обмоток требуется увеличение расстояния между осями стержней, что увеличивает массу стали в ярмах и потери в стали.

Оптимальное значение β может варьироваться в широких пределах и зависит от исходных данных расчета, а также от поставленной задачи получения определенных параметров трансформатора.

Влияние материала и формы поперечного сечения обмоточного провода на оптимальные параметры трансформатора со схемой «звезда-треугольник с зигзагом»

Збродыга В.М., Янукович Г.И.

Белорусский государственный аграрный технический университет

При проектировании трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом» была поставлена задача получить трансформатор, у которого первоначальные капитальные вложения в его производство в сумме с текущими затратами на эксплуатацию будут минимальными. Параметры трансформатора, соответствующие наименьшим дисконтированным затратам за принятый промежуток времени, будут оптимальными.

Расчеты показали, что форма поперечного сечения обмоточного провода (круглое или прямоугольное) не оказывает существенного влияния на оптимальные параметры трансформатора.

Влияние материала обмоточного провода на оптимальные параметры трансформатора более существенное. Во-первых, активное сопротивление алюминиевого провода больше, чем медного. Поэтому, для обеспечения приемлемого уровня потерь и теплового режима трансформатора плотность тока в алюминиевом проводе должна быть меньше, чем в медном. При этом увеличиваются сечение и объем обмоточного провода, размеры обмоток и расход электротехнической стали за счет увеличения длины ярм. Во-вторых, стоимость алюминиевого провода значительно ниже, чем медного, что снижает капитальные вложения в производство трансформатора. При этом составляющая стоимости потерь электроэнергии в совокупных дисконтированных затратах увеличивает свой вес. Становится целесообразным снижение потерь электроэнергии в трансформаторе за счет дополнительного снижения плотности тока в обмотках и величины магнитной индукции. Соответственно дополнительно увеличивается сечение и объем обмоточного провода, размеры обмоток, длина ярм, а также площадь поперечного сечения магнитопровода, что увеличивает расход электротехнической стали.

С учетом сложившегося в настоящее время соотношения цен на обмоточный провод, электротехническую сталь и тариф на электроэнергию, использование алюминиевого обмоточного провода по сравнению с медным приводит к снижению оптимальных потерь короткого замыкания, увеличению сечения и расхода обмоточного провода, увеличению расхода стали, значительному уменьшению капиталовложений и совокупных дисконтированных затрат.

Инновационные решения в конструкции и технологии производства силовых трансформаторов

Лосев А.В.

Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова

На ПРУП «Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова» освоен серийный выпуск трансформаторов ТМГ21-1000/10-У1 (ХЛ1). Трансформаторы ТМГ21-1000/10-У1 (ХЛ1) являются трехфазными масляными трансформаторами общего назначения и изготавливаются с сочетанием напряжений 6/0,4 кВ, 10/0,4 кВ, схемой и группой соединения обмоток Д/Ун-11.

Отличие данных трансформаторов от трансформаторов серии ТМГ11 заключается в том, что обмотка низшего напряжения выполнена не из алюминиевых проводов, а из алюминиевой фольги. Для придания обмоткам необходимой прочности в качестве межслоевой изоляции применена бумага типа DDP, которая в процессе сушки обмоток спекается, делая обмотки монолитными.

Поскольку в обмотках из фольги осевые усилия практически отсутствуют – данные трансформаторы имеют повышенную устойчивость к усилиям, вызванным токами короткого замыкания. Имея значительно меньшие тепловые сопротивления, обмотка НН лучше охлаждается и имеет более равномерный нагрев. Данное конструктивное решение является главным отличием трансформаторов ТМГ21-1000/10-У1 (ХЛ1) от трансформаторов ТМГ11-1000/10-У1 (ХЛ1). Благодаря этому спроектирован более компактный и лёгкий трансформатор: при увеличении ширины трансформатора на 45 мм его длина и высота стали меньше на 60 мм и 110 мм соответственно, масса – на 200 кг, в том числе масса масла на 150 кг. При более простой конструкции обмотки НН и ее автоматизированной намотке, облегченной прессующей системе – ТМГ21 выигрывает в производительности при его изготовлении.

В настоящее время спектр выпускаемых нашим предприятием измерительных трансформаторов тока (ИТТ) охватывает номинальные токи в диапазоне $10/5 \div 2000/5$ А, классы точности 0,5; 0,2 и 0,5S; 0,2 S на номинальные мощности от 5 до 30 ВА. Чтобы совместить полезные свойства НС (высокая магнитная проницаемость в области слабых полей, стойкость к намагничиванию при аварийных режимах работы ИТТ, гарантированный срок службы: 25÷30 лет) и электротехнической стали (ЭТС) (высокая индукция насыщения, хорошая магнитная проницаемость в области средних полей, относительно низкая стоимость), разработаны ИТТ, с комбинированным магнитопроводом с использованием НС и ЭТС.

Влияние нелинейной нагрузки на трехфазную сеть

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Доля нелинейных потребителей электроэнергии возрастает. Массовое использование компьютерной техники потребителями электроэнергии усиливает эту тенденцию. Потребляемый компьютерной техникой ток имеет ярко выраженный импульсный характер. При приближении кривой питающего напряжения к максимальному значению электронные вентили диодного моста импульсного источника питания скачкообразно изменяют свое сопротивление от бесконечности до некоторого малого значения. Существенное влияние на трехфазную сеть оказывают и другие нелинейные потребители электроэнергии, среди которых следует выделить установки с управляемыми выпрямителями. Анализ разложения потребляемого управляемыми выпрямителями тока в ряд Фурье показывает, что для всех выпрямителей увеличение угла управления приводит к росту доли гармоник высших порядков. Так, для однофазной мостовой схемы при $\alpha = 66^\circ$ наибольший «вес» имеет 11-я гармоника. В трехфазном мостовом выпрямителе при $\alpha = 43^\circ$ доля 17-й гармоники сравнивается с долей самой мощной в этом выпрямителе 5-й гармоники. В двенадцатипульсном трехфазном выпрямителе при $\alpha = 20^\circ$ доли 17-й и 19-й гармоник становятся наибольшими. При этом традиционная фильтрация 3, 5 и 7-й гармоник будет неэффективна. 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.

При определенном соотношении долей линейных и нелинейных потребителей электроэнергии возникают новые негативные явления в электросети: токи в нулевых рабочих проводниках возрастают и могут превышать токи в фазных проводах в полтора и более раза; вершина синусоидального питающего напряжения срезается и становится «плоской». Следствием этого может стать перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий; генерация электромагнитных помех; старение изоляции электрооборудования и сокращение его срока службы. По экспертным оценкам специалистов на объектах с долей нелинейных потребителей электроэнергии более 10% возможно развитие пожароопасных и аварийных ситуаций. Для их предупреждения необходимо прогнозирование работы системы электроснабжения с учетом увеличения нелинейных нагрузок трехфазной сети. Неизбежны и дополнительные расходы на защиту питающей сети.

Компьютерные модели для лабораторного практикума

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

В современном учебном процессе широко применяются методики использования универсальных компьютерных лабораторий, комплексных компьютерных программ, заменяющих реальную практику. Применение компьютерных моделей в лабораторном практикуме кафедры становится существенным подспорьем на особых этапах учебного процесса: ликвидации учебной задолженности студентами дневного обучения, проведения занятий со студентами-заочниками, индивидуальной работы со студентами.

Такие модели представляют собой комплекс электронных материалов, позволяющих обучаемым: самостоятельно ознакомиться с теоретическим материалом; выполнить предварительный расчет к лабораторной работе; изучить этапы выполнения практической работы на лабораторном стенде; оценить результаты эксперимента; ответить на контрольные вопросы.

При этом преподавателю необходимо предоставить студенту электронный файл и назначить время его повторного прихода с отработанным заданием. При повторном приходе студент представляет преподавателю письменный отчет с ответами на контрольные вопросы. Преподаватель оценивает знания и умения студента, выявляет недостатки и при необходимости показывает отдельные этапы практической работы на лабораторном стенде.

Особым интересом пользуются компьютерные модели, позволяющие осваивать работу устройств в игровой форме, поднимаясь по уровням освоения учебного материала вверх, в соответствии с правилами обычных компьютерных игр. Лабораторные работы после работы с такими моделями приобретают новую направленность, позволяют акцентировать внимание обучаемых не на принципе, а на особенностях работы реальных устройств.

В процессе работы над заданием студент проходит следующие этапы: первичное усвоение готовых знаний; уточнение, расширение и углубление знаний; применение знаний и выработка заданных умений; самоконтроль при ответах на контрольные вопросы.

Модели созданы как на основе учебно-методических материалов кафедры, в виде презентаций, так и на основе программ сети Интернет. Программами глобальной сети наиболее полно представлено моделирование работы логических элементов, комбинационных логических схем и цифровых устройств с памятью.

Некоторые вопросы идентификации параметров нелинейных электрических цепей

Можар В.И.

Белорусский национальный технический университет

Данная работа посвящена разработке методики идентификации нелинейной электрической цепи [1], т.е. расчету параметров линейной части электрической цепи (при известной ее топологии), обеспечивающей требуемые величины высших гармоник в этой цепи. Эта задача актуальна при разработке преобразователей частоты, электрических фильтров и т.д.

Для решения поставленной задачи воспользуемся подходом к расчету гармонического состава периодических режимов в нелинейных электрических цепях, предложенных в [2,3].

Нелинейная электрическая цепь может быть представлена в виде системы дифференциальных уравнений n -го порядка, однако во многих случаях, в особенности в сложных схемах, удобно представить схему в виде пассивного многополюсника, на выходах которого включены нелинейные элементы.

В качестве нелинейных элементов могут быть нелинейные индуктивности, либо нелинейные емкости, либо нелинейные активные сопротивления. В настоящей работе рассматриваются нелинейные элементы с характеристиками, симметричными относительно начала координат. Функции, аппроксимирующие характеристики нелинейных элементов, раскладываются в ряд Тейлора, а составляющие последнего в ряд Фурье. После некоторых математических преобразований получается система рекуррентных уравнений для каждой гармонической составляющей в отдельности. Решая эти уравнения, находим комплексные проводимости линейной части пассивного многополюсника, обеспечивающие требуемый уровень гармоник в рассчитываемой схеме.

Литература

1. Данилов, Л.В., Матханов, П.Н., Филиппов, Е.С. Теория нелинейных электрических цепей. – Л. Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
2. Bładyko, W.M., Moshar, W.I. Die iterative Methode bei der harmonischen Analyse in Ferroresonanzkreisen // XX. Intern. Wiss. Koll. THIlmenau. 1975. – P.23-26.
3. Бладыко, В.М., Можар, В.И. Расчет гармонического состава периодических режимов нелинейных электрических цепей// *Электричество*. – 1988. – №7 – С. 69-71.

Горошко В.И.

Белорусский государственный технологический университет

Топологические методы нашли широкое применение при расчете схемных функций линейных цепей. Однако для цепей, содержащих управляемые источники эти методы неприменимы. Для анализа подобных цепей известен метод, основанный на замещении каждого управляемого источника трехузловой унитарной схемой.

Предлагаем альтернативный подход к решению таких задач, основанный на двухэтапном сведении управляемого источника к независимому. Источник J управляется током I_0 (рис. 1, а), т.е. $J = k \cdot I_0$.

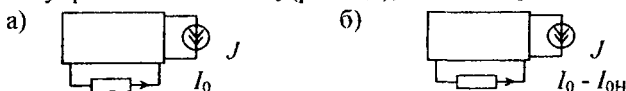


Рисунок 1.

На первом этапе в цепи с исключенным источником J с помощью топологической формулы Мейсона вычисляется начальный управляющий ток $I_{0н}$, создаваемый всеми независимыми источниками цепи:

$$I_{0н} = 1/D \cdot \sum V_i \sum P_k D_k. \quad (1)$$

На втором этапе вычисляется коэффициент передачи по току k_d для добавочного управляющего сигнала (рис 1, б):

$$k_d = (I_0 - I_{0н})/J = 1/D \cdot \sum P_k D_k. \quad (2)$$

В формулах (1) и (2): P_k и D_k – передача и минор k -го пути передачи для независимых источников V_i и источника J ; D – узловой определитель цепи, вычисляемый по формуле Максвелла. Из формулы (2) находим

$$J = I_{0н} \cdot k / (1 - k_d k). \quad (3)$$

Формула (3) имеет структуру передаточной функции системы с обратной связью: k – коэффициент передачи прямой цепи; k_d – коэффициент передачи обратной связи; $I_{0н}$ – задающий входной сигнал. Вычислительный аспект формулы (3) состоит в том, что рассчитав любым традиционным методом задающий ток $I_{0н}$, из (3) получаем конечное расчетное выражение для тока J . Другими словами, формула (3) придает управляемому источнику J статус независимого источника, и тем самым снимает для цепи ограничения на применение топологических методов анализа. Изложенный в докладе метод может применяться для расчета как установившихся, так и переходных режимов.

Применение ПЗИ-метода к анализу усилительного каскада

Горошко В.И., Радоман Н.В.

Белорусский государственный технологический университет

В предыдущей работе изложен метод пересчета зависимых источников (ПЗИ-метод) в независимые источники. Исследуем эффективность этого метода при анализе топологическими методами усилительного каскада в малосигнальном режиме. Граф схемы для переменных составляющих (рис. 1, а) включает высокочастотную гибридную модель транзистора, состоящую из операторных проводимостей Y_0, Y_1, Y_2, Y_3 и управляемого источника тока $J = k \cdot i_0$. Y_i учитывает внутреннее сопротивление источника $e(t)$ и входную разделительную емкость, Y_n – выходную емкость и проводимость нагрузки; Y_0, Y_c, Y_k – активные проводимости.

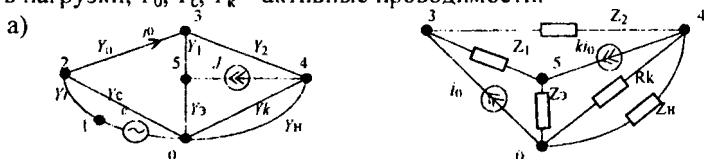


Рисунок 1

Для расчета узлового определителя D графа (e закорочена, источник тока J оборван), применяем разложение по путям между узлами 3 и 0 и находим $D = P_1 D_1 + P_2 D_2 + P_3 D_3$, где P_i, D_i – передачи и миноры путей.

Для расчета начального управляющего тока $i_{0н}$ восстанавливаем в графе источник $e(t)$ и находим: $i_{0н} = e(t)W_e = e(t) \sum_k P_{k3} D_{k0} / D$.

Для расчета передаточной функции W_i для добавочного управляющего тока $i_d = i_0 - i_{0н}$ восстанавливаем в графе источник J (источник $e(t)$ закорочен) и находим $W_i = i_d / J = \sum_k P_{ki} D_{ki} / D$.

Для управляющего тока i_0 получаем явное операторное выражение $i_0 = eW_e / (1 - kW_e) - eY(P)$, благодаря которому исходная схема упрощается (рис. 1, б). Используя традиционные методы расчета для схемы на рис. 1, б несложно получить операторное выражение для любой переменной, например для напряжения $U_n = U_{н0}$:

$$U_n (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_{к,н}) = eZ_{к,н} Y(p) [Z_1 + Z_3 - k(Z_1 + Z_2)], \text{ где } Z_{к,н} = R_k // Z_n.$$

Отметим, что полученное операторное уравнение является точным (в рамках принятой модели) и позволяет исследовать как установившиеся, так и переходные процессы, а также частотные характеристики.

Оптимизация баланса мощности в электроэнергетической системе с учетом межсистемных связей

Радоман Н. В.

Белорусский государственный технологический университет

В связи с острой проблемой обеспеченности энергоресурсами основной задачей энергообъединения Республики Беларусь (ЭО РБ) является рациональное их использование с учетом получения электроэнергии (ЭЭ) из смежных, избыточных по мощности энергосистем. Потому взаимодействие энергосистем с учетом высоковольтных межсистемных транзитов (МТ) определяет надежность электроснабжения дефицитных регионов и приобретает не только режимный, но и экономический смысл.

Важным элементом такого взаимодействия является оптимизация баланса мощностей для межсистемных перетоков мощности в ЭО, т.е. оптимизация текущего режима за усредненный интервал времени, когда параметры сети можно считать условно постоянными. При таком допущении каждый интервал рассматривается как независимый, а осуществление баланса между производством и потреблением ЭЭ необходимого качества считается гарантированным. В этом случае задача управления ЭО в течение определенного интервала распадается на ряд последовательных задач, результаты решения которых в агрегированном виде дают искомый график для ведения режима ЭО.

Под задачей оптимизации баланса мощности понимается определение наиболее рациональных значений как внутренних, так и межсистемных перетоков мощности и энергии в ЭО. Целевая функция задачи определения оптимальных межсистемных перетоков мощности многокритериальная, и может включать в себя такие показатели, как минимум отклонения величин перетоков от договорных значений, минимум расхода топлива в энергосистеме, минимум потерь мощности и энергии, минимум затрат энергоемких потребителей.

Кроме того, при параллельной работе каждая энергосистема может иметь свои локальные критерии: максимум режимной надежности, минимум стоимости производства электрической и тепловой энергии, максимум диапазона регулирования активной мощности, максимум резерва реактивной мощности, минимум отключаемой нагрузки потребителей. В качестве критериев могут выступать и экологические ограничения, и интересы смежных пользователей. При дефиците мощности в ЭО, а в ряде случаев и нехватки топлива, выполняется оптимизация баланса мощностей и выработки ЭЭ в условиях взаимодействия со смежными энергосистемами, включая рынок зарубежных поставщиков.

Оптимизация графиков электропотребления промышленного узла нагрузки

Устимович В.А., Александров О.И.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение наибольшей эффективности работы всех звеньев энергохозяйства, включающих производство, передачу и распределение энергии, возможно при переходе от отдельных режимно-экономических и организационно-технических мероприятий к их системному взаимодействию. Разработка методики построения оптимальных графиков электропотребления предполагает формирование соответствующей математической модели и межотраслевой задачи режимного взаимодействия электроэнергетической системы (ЭЭС) с потребителями электрической энергии. Эта проблема, в свою очередь, представляет собой комплекс взаимосвязанных задач, решение которых позволяет формировать оптимально выровненные совмещенные графики активной нагрузки на произвольном уровне режимной иерархии при минимальной деформации технологически свободных частных графиков нагрузки.

Поскольку режимные интересы электрогенерирующей и электропотребляющих систем противоречивы, то организация их работы предполагает компромиссное взаимодействие, основанное на взаимных уступках сторон и согласованных отклонениях каждого от своего оптимума. В ряде случаев эффективное управление электропотреблением можно выполнить за счет оптимальной организации режима напряжений. Чаще всего решается задача выравнивания (сглаживания) совмещенных и индивидуальных графиков нагрузки электроприемников.

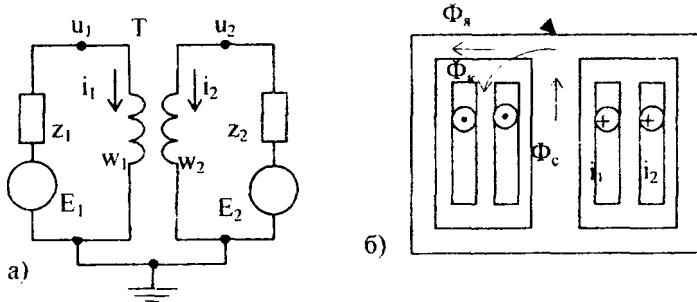
В докладе приводится описание инженерной методики оптимального управления электропотреблением промышленного узла нагрузки, которая позволяет получить оптимальный график по активной мощности, соответствующий максимальному уменьшению затрат потребителей за счет снижения мощности, участвующей в максимуме. Математическая модель данной задачи предполагает получение деформированного графика нагрузки, который одновременно выравнивается, сглаживается и уплотняется, выполняя известную процедуру горизонтально-вертикального маневрирования электропотреблением и их комбинаций.

Для решения задачи был использован модифицированный алгоритм симплекс-метода с учетом двусторонних ограничений на переменные. Результатом решения является перестроенный совмещенный график промышленного узла с учетом штрафных коэффициентов, который является более сглаженным по сравнению с исходным.

Матэматычная мадэль аднафазнага трансфарматара на аснове вузлавых раўнанняў

Бобка М.М., Новаш І.У., Усцімовіч В.А.
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

Матэматычная мадэль электрычных і магнітных ланцугоў двухабмоткавага аднафазнага трансфарматара (мал. 1) на аснове раўнанняў па першаму і другому законах Кірхгофа мае выгляд:



Мал. 1. Схема двухабмоткавага трансфарматара: а) электрычныя ланцугі; б) магнітныя ланцугі.

$$u_1 = r_1 i_1 + w_1 d(\Phi_c - \Phi_{\kappa})/dt \quad (1); \quad u_2 = r_2 i_2 + w_2 d\Phi_c/dt \quad (2);$$

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = I_c H_c + I_{\kappa} H_{\kappa} \quad (3); \quad i_2 w_2 = I_c H_c + R_{\mu\kappa} \Phi_{\kappa} \quad (4);$$

$$\Phi_{\kappa} = \Phi_c - \Phi_{\kappa} \quad (5); \quad B_c = \mu_c H_c \quad (6); \quad B_{\kappa} = \mu_{\kappa} H_{\kappa} \quad (7); \quad B_c = \Phi_c / S_c \quad (8);$$

$$B_{\kappa} = \Phi_{\kappa} / S_{\kappa} \quad (9); \quad e_1 = i_1 r_1 - u_1 \quad (10); \quad e_2 = i_2 r_2 - u_2 \quad (11).$$

Сістэма раўнанняў (1)-(11) з'яўляецца замкнёнай дыферэнцыяльна-алгебраічнай сістэмай II-й ступені. Колькасць раўнанняў у ёй адпавядае колькасці невядомых параметраў: $u_1, u_2, i_1, i_2, \Phi_c, \Phi_{\kappa}, \Phi_{\kappa}, H_c, H_{\kappa}, B_c, B_{\kappa}$. Выкарыстоўваючы класічны метады падстаноўкі, выключым з сістэмы ўсе невядомыя параметры, акрамя u_1, u_2 . У выніку атрымаем сістэму другой ступені з невядомымі u_1, u_2 . Яна будзе мець выгляд:

$$u_1 = r_1(e_1 - u_1)/z_1 + w_1 S_{\kappa} d[\mu_{\kappa} D(e_1 - u_1)/z_1 + \mu_{\kappa} F(e_2 - u_2)/z_2]/dt;$$

$$u_2 = r_2(e_2 - u_2)/z_2 + w_2 S_c d[\mu_c B(e_1 - u_1)/z_1 + \mu_c C(e_2 - u_2)/z_2]/dt,$$

дзе

$$A = I_{\kappa} + R_{\mu\kappa} S_c \mu_c I_{\kappa} / l_c + R_{\mu\kappa} S_{\kappa} \mu_{\kappa};$$

$$B = w_1 / l_c - I_{\kappa} (w_1 + R_{\mu\kappa} S_c \mu_c w_1 / l_c) / (l_c A);$$

$$C = w_2 / l_c + I_{\kappa} R_{\mu\kappa} S_c \mu_c / (l_c^2 A);$$

$$D = (w_1 + R_{\mu\kappa} S_c \mu_c w_1 / l_c);$$

$$F = R_{\mu\kappa} S_c \mu_c w_2 / (l_c A).$$

Способы отстройки цифровых дифференциальных защит трансформатора от бросков тока намагничивания

Булойчик Е.В., Петровская Е.Н., Беседа А.С., Катрич А.Е.
Белорусский национальный технический университет

Одним из основных требований к дифференциальной защите трансформатора является правильное и быстрое распознавание режима броска тока намагничивания (БНТ), возникающего при включении трансформатора в работу или при отключении внешних коротких замыканий. Выбранный способ распознавания режима БНТ в значительной мере определяет как сложность защиты, так и время ее срабатывания при внутренних коротких замыканиях в трансформаторе. В настоящее время наиболее технически совершенными являются системы релейной защиты, в которых обработка входной информации производится в цифровом виде. Поэтому данная работа посвящена исследованию способов отстройки современных цифровых защит силовых трансформаторов от бросков тока намагничивания. Аналитические методы расчета режима БНТ отличаются высокой сложностью и трудоемкостью. Поэтому для сравнительного анализа и оптимизации характеристик цифровых защит целесообразно использовать методы вычислительного эксперимента на базе комплексных математических моделей, реализованных на ПЭВМ.

Для учета всех влияющих факторов необходимо, чтобы комплексная математическая модель включала не только математическую модель защищаемого объекта, источников его питания, измерительных трансформаторов тока и напряжения и некоторых других элементов энергосистемы, оказывающих влияние на поведение измерительных органов защиты в нормальных и аварийных режимах, но и самой цифровой защиты.

В качестве основного математического аппарата модели используются дифференциальные уравнения, составленные на базе известных физических законов и решаемые численными методами. В основе математической модели целесообразно использовать физический и информационный подход. Физический базируется на замене реальных элементов упрощенными электрическими схемами, для которых расчет производится с помощью законов Кирхгофа. При информационном подходе описывается лишь преобразование входного сигнала в выходной, без отражения внутренних физических процессов и законов.

С использованием реализованной на ПЭВМ комплексной математической модели исследованы переходные процессы при включении трансформатора на холостой ход, при внешних коротких замыканиях и КЗ в зоне действия защиты и их отключении.

**Информационное обеспечение расчетов
самозапуска электродвигателей собственных нужд
тепловых электрических станций**

Глинский Е.В., Гузовская В.Н., Ерохов Е.Л., Липская Е.В.
Белорусский национальный технический университет

На ТЭС для оперативных расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд (СН) силами инженерно-технического персонала производственных служб требуются программные средства, позволяющие производить ускоренную подготовку информации, обеспечивающие наглядное представление результатов, обладающие высокой скоростью выполнения расчетов. В полной степени эти требования удовлетворены в разработанных на кафедре «Электрические станции» БНТУ вычислительных системах для оперативных расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд ТЭС.

Вычислительная система создается для конкретной ТЭС. В нее входят банк данных по составу СН электростанции определенной ступени напряжения, программы подготовки информации для расчета режимов самозапуска на заданной конкретной секции СН, программы расчета режимов самозапуска. Вычислительная система выполняет расчеты нормального режима, предшествовавшего самозапуску, режима трехфазного КЗ на шинах секции, режимов группового и индивидуального выбега после отключения основного источника питания, режима самозапуска после восстановления питания от резервного трансформатора. Важнейшими информационными параметрами таких расчетов являются параметры электродвигателей и механизмов СН, параметры основного и резервного источников питания СН. Результаты расчета в режиме реального времени в графическом виде выдаются на монитор.

Особенностью разработанных алгоритмов и компьютерных программ является учет предшествующей двигательной нагрузки на шинах резервного трансформатора СН, сопротивления связи между шинами резервируемой и резервной секций, а в вычислительной системе расчета самозапуска двигателей СН 0,4 кВ дополнительно учитываются сопротивления связей между групповыми сборками 0,4 кВ и основной системой шин, сопротивления питающих кабелей, первичных обмоток трансформаторов тока, переходных сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей. В процессе расчета самозапуска конкретной секции СН 0,4 кВ предусмотрена возможность изменения сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей без выхода из программы расчета режимов самозапуска.

Критерий оценки зоны стекания токов молнии с заземлителя в землю

Герасимович Д.А., Дерюгина Е.А.

ЧПСУП «Электросигистрой»

Белорусский национальный технический университет

В результате вычислительного эксперимента по разработанной программе расчета импульсных характеристик вертикальных заземлителей при стекании токов молнии установлено, что первоначально с увеличением длины заземлителя происходит значительное снижение сопротивлений. Затем по достижении некоторой эквивалентной длины сопротивления с увеличением длины заземлителя уменьшаются незначительно.

На основе анализа полученных результатов предложен критерий оценки зоны стекания тока молнии с заземлителя (эквивалентной длины заземлителя) в зависимости от свойств земли и формы импульса тока:

$$l_{\text{экр}} = \sqrt{\tau / (\gamma \mu)}, \quad (1)$$

где $\tau = t_{\phi} / 5$ (определяется длительностью фронта импульса тока молнии);

γ , μ – удельная проводимость и магнитная проницаемость земли.

Данный критерий достаточно хорошо определяет зону стекания тока с заземлителя в землю, а при достижении $2l_{\text{экр}}$ и более сопротивление заземлителя снижается незначительно.

Подобный критерий для горизонтальных заземлителей, который учитывает только сопротивление земли, предложен в [1]. Их сопоставление дает соизмеримые результаты, но при этом зона стекания по разработанную критерию (1) на 30 % больше.

Экспериментальные исследования заземлителей при стекании импульсных токов также подтверждают, что зона стекания тока вдоль заземлителя тем меньше, чем выше частота источника (меньше постоянная времени фронта импульса) и чем ниже сопротивление грунта [2]. Критерий (1) позволяет оценить зону стекания токов молнии как с вертикального заземлителя, так и с горизонтального.

Литература

1. Базелян, Э.М. Особенности работы заземлителей молниеотводов в грунтах низкой проводимости / Э.М. Базелян, М.И. Чичинский // Электрические станции. – 2005. – № 8. – С. 75–82.
2. Экспериментальные исследования заземлителей молниезащиты при воздействии импульсных токов / Р.К. Борисов [и др.] // Электро. – 2004. – № 1. – С. 13–16.

Выбор электрического оборудования с учетом постоянной времени нагрева

Колесник Ю.Н., Беляя А.Н.

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

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-110 кВ призваны заменить морально устаревшие кабели с пропитанной бумажной изоляцией. Очень важным параметром является тепловая постоянная времени от которой зависит нагрузочная способность кабеля, при переменном графике нагрузки. В данной работе была поставлена задача разработать удобную справочную систему по выбору силового кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на этапе проектирования СЭС, что позволяет при проектировании объектов электроэнергетики обрабатывать большой объем разнообразной информации, так как трудоемкость проекта резко возрастает при выявлении оптимальных параметров.

Разработанное приложение (рисунок 1) позволяет автоматизировать выбор кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена по следующим параметрам: типу кабеля, напряжению, сечению жилы, диаметру оболочки, диаметру изоляции, длительно допустимому току нагрузки, количеству жил, материалу токоведущей жилы и способу прокладки. Для наглядности полученных результатов данные сводятся в таблицу. Для выбранной записи кабеля существует возможность расчета постоянной времени нагрева.

Тепловые постоянные времени нагрева рассчитывались на основе математической модели тепловых процессов в кабеле, позволяющие рассчитать температуры основных элементов кабеля: жилы, изоляции, оболочки.

Напряжение, кВ	Число жил	Сечение жилы, мм ²	Допустимый ток, А	Материал жилы	Способ прокладки	Тип кабеля			
6	1		597	медь	в земле				
Тип кабеля	Напряжение, кВ	Число жил	Сечение жилы, мм ²	Диаметр изоляции, мм	Диаметр оболочки, мм	Допустимый ток, А	Материал жилы	Способ прокладки	Постоянная времени нагрева, мин
ПвЭВнд	6	1	255	62	64	595	медь	в земле	182,64
ПвЭВнд	6	1	630	69	70	665	медь	в земле	

Рисунок 1 – Программное приложение для выбора силового кабеля с учётом постоянной времени нагрева

Данное программно-техническое средство, ориентированно на коллективную деятельность проектировщиков, студентов электроэнергетических специальностей, в связи с чем может приобрести практическую актуальность.

Определение средств энергоэффективного управления электрической нагрузкой

Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В.

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

Целью данной работы является исследование основных существующих способов управления эффективностью электрических нагрузок потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками [1]. Для исследования были взяты два характерных режима работы индукционных тигельных печей РУП ГЛЗ «Центролит» при производственной программе 58 и 108 тонн чугуна в сутки и рассмотрены различные варианты управления электрической нагрузкой. Были определены расход электроэнергии и затраты на её покупку при двухставочном и двухставочно-дифференцированном тарифах на электроэнергию, таблица 1.

Таблица 1 - Управления электрической нагрузкой печей

Вид режима	Расход электроэнергии, кВт·ч		Затраты, млн. руб.			
			Двухставочный		Дифференцированный	
	58 т	108 т	58 т	108 т	58 т	108 т
Исходный	38357	72674	8,67	16,40	8,04	17,52
Маневрирование	38357	72674	8,67	16,37	8,04	17,52
Равномерный	38357	72674	8,72	16,51	9,75	18,47
С учётом характеристик печей	31047	59196	7,05	13,45	7,89	15,04
Мин. потребление ЭЭ в период максимумов энергосистемы	32591	58256	6,47	11,56	5,92	10,59

Результаты исследования способов управления электрической нагрузкой показали:

- при управлении электрической нагрузкой необходимо учитывать расходные характеристики технологического оборудования;
- устанавливать такую производственную программу, которая была бы более эффективна при действующем тарифе на электроэнергию;
- снижение расхода электроэнергии может привести к увеличению затрат на её покупку и наоборот.

Высшие гармоники в системах электроснабжения административных зданий

Медведев К.М., Максименко Д.В., Прохорчик М.А.

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

В настоящее время деятельность организаций и предприятий невозможно представить без использования всевозможной современной офисной техники. Компьютеры, телевизоры, принтеры, факсы, ксероксы и им подобные электронные устройства давно стали неотъемлемой частью рабочих мест огромного числа городских служащих, предпринимателей, банковских работников. При этом с каждым годом количество единиц такой техники в административных зданиях неуклонно растёт.

С точки зрения системы электроснабжения, указанные устройства являются электроприёмниками, потребляющими из питающей сети импульсные, сильно искажённые, несинусоидальные токи, содержащие высшие гармоники, уровни которых довольно высоки (рисунок 1, а, б).

Кроме оргтехники к устройствам, потребляющим из сети резко несинусоидальный ток, можно отнести современные компактные люминесцентные лампы, заменяющие собой лампы накаливания (рисунок 1, в, г).

Современные тенденции развития инфраструктуры больших городов включают строительство деловых и офисных центров, состоящих из одного многоэтажного здания или их группы. Именно здесь концентрация офисных электроприёмников становится особенно высокой, что даёт повод задуматься о вероятных проблемах, связанных с высшими гармониками в электрических сетях таких потребителей.

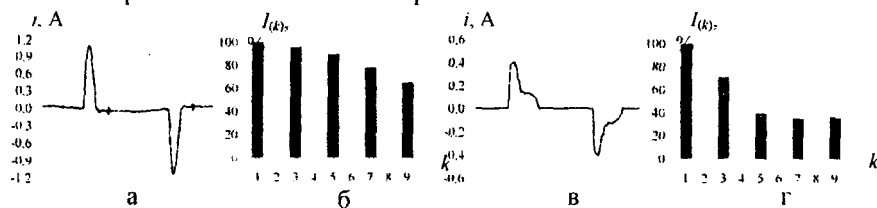


Рисунок 1 – Осциллограммы и спектры токов: а, б – современный Notebook; в, г – компактная люминесцентная лампа мощностью 20 Вт

Теоретическое изучение проблемы высших гармоник в системе электроснабжения административных зданий невозможно без математического моделирования процессов в системе электроснабжения административных зданий с современными электроприёмниками. Авторами статьи ведутся исследования в данном направлении.

Расчет электродинамической стойкости в пролетах с произвольным расположением проводов

Сергей И.И., Пономаренко Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Действующий ГОСТ 30323-95 предлагает методику упрощенного расчета электродинамической стойкости пролетов с гибкими проводниками. Однако приведенный в нем алгоритм расчета не учитывает разности высот подвеса и изменяющегося междуфазного расстояния по длине пролета. Поэтому при расчете электродинамической стойкости в пролетах с произвольным расположением проводников возникла потребность в применении более точных методов расчета, разработанных на кафедре «Электрические станции» БНТУ. Они основаны на алгоритмах численного расчета начального положения и динамики гибких проводников, представленных гибкой упругой нитью. Составленные на его основе компьютерные программы апробированы с использованием экспериментальных данных и успешно зарекомендовали себя в области проектирования распределительных устройств (РУ) и воздушных линий электропередачи (ЛЭП).

Для механического расчета используется компьютерная программа MR, для электродинамического – программа FLEBUS. Представление провода гибкой упругой нитью позволяет получить тяжения и координаты провода практически в любой точке пролета с учетом ветровых и гололедных нагрузок. При расчете учитываются гирлянды изоляторов, аппаратные отпайки, распорки и другие элементы пролета.

При совместном действии гололедно-ветровых и электродинамических нагрузок в таких пролетах необходимо учитывать те климатические режимы, при которых в пролете будут наблюдаться максимальные отклонения, сближения и тяжения гибких шин. Согласно ПУЭ расчет гибких проводников воздушных ЛЭП и открытых распределительных устройств (ОРУ) производится в нормальном режиме работы для семи сочетаний температуры, скорости ветра и толщины стенки гололеда. Из приведенных режимов в пролетах с произвольным расположением проводов наиболее опасным по сближению проводников может оказаться режим с максимальным скоростным напором ветра. Очень важно также учитывать направление ветра.

Численный алгоритм компьютерной программы FLEBUS был модифицирован для учета междуфазных распорок. Распорки в компьютерной программе представлены как пружины с жесткостью, соответствующей жесткости распорок. Их установка в пролете позволяет исключить недопустимое сближение проводников.

Компьютерная программа для расчета электродинамических усилий в системе произвольно расположенных жестких проводников

Пономаренко Е.Г., Спасков А.А., Шпаковский А.А.
Белорусский национальный технический университет

В общем виде в системе n проводников суммарные электродинамические усилия (ЭДУ) на единицу длины k -го провода определяются по выражению

$$\bar{F}_k = \frac{\sum_{j=1}^n d\bar{F}_{kj}}{ds_k},$$

где ds_k – длина элемента k -го проводника; $d\bar{F}_{kj}$ – ЭДУ на элемент длины k -го проводника от j -го (при $k \neq j$).

Согласно закону Био-Савара-Лапласа ЭДУ, действующие на элемент k -го проводника в поле j представляются в виде двух сомножителей

$$d\bar{F}_{kj} = I_{kj} \bar{G}_{kj},$$

где I_{kj} – токовый коэффициент, который зависит от мгновенного значения токов короткого замыкания во взаимодействующих проводниках; \bar{G}_{kj} – коэффициент контура, который определяется взаимным положением шин в пространстве.

Для расчета ЭДУ по приведенным выражениям составлена компьютерная программа NUMEF, внешний вид которой представлен на рисунке 1.

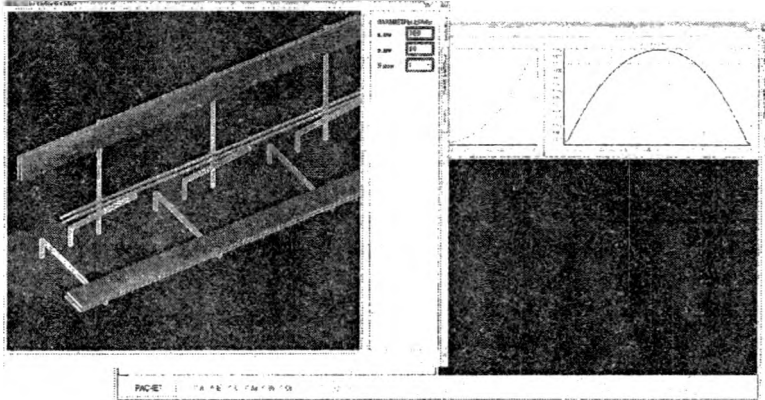


Рисунок 1 – Интерфейс компьютерной программы NUMEF

Программный комплекс для расчета удаленных междуфазных замыканий на линиях 6-10(35) кВ

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

Разработанный программный комплекс для исследования режимов линий 6-10(35) кВ с односторонним питанием состоит из головного расчетного модуля, файла исходных данных, файла результатов и программы оболочки, позволяющей проводить вычислительный эксперимент. Программа оболочка позволяет осуществлять редактирование и ввод исходных данных к расчету, выполнять расчет исследуемого режима и выводить результаты расчета во внешний файл результатов и в виде графиков на экран монитора (рис. 1).

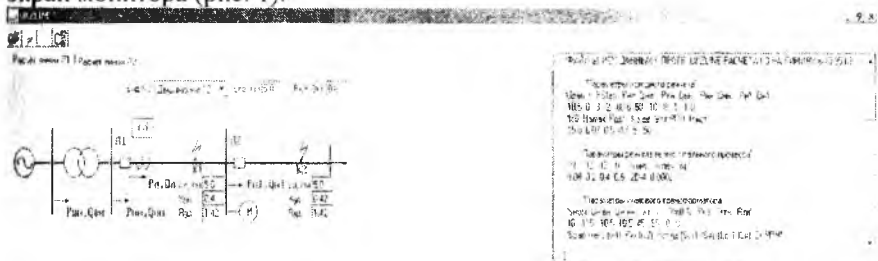


Рисунок 1. Диалоговое окно программного комплекса

Для линий, непосредственно присоединенных к шинам НН и линий удаленных от шин НН понизительной подстанции, рассчитываются входные сигналы токовой защиты от междуфазных КЗ.

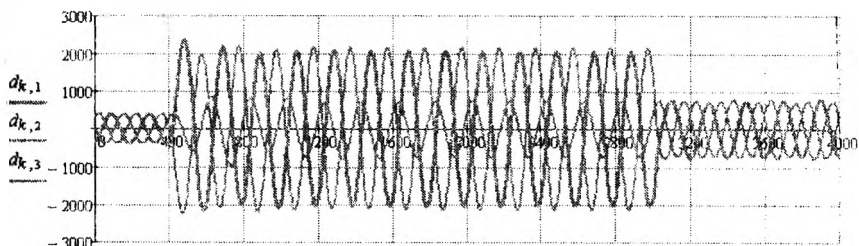


Рис. 2. Результаты расчетов двухфазного замыкания

Выполнены контрольные расчеты для всех предусмотренных режимов, подтвердившие отсутствие ошибок в алгоритме и программных блоках. Для анализа получаемых расчетных данных, которые записываются во внешний файл результатов «ТОК1_ТТ», разработана программа в среде MathCad «ANREZ» (рис.2).

Определение места короткого замыкания на линиях распределительных сетей с односторонним питанием

Романюк Ф.А., Тищечкин А.А., Глинский Е.В. Булойчик Е.В.
Белорусский национальный технический университет

Для повышения технического совершенства защит линий распределительных сетей может быть выгодно использовано наличие достоверной информации о месте короткого замыкания (КЗ). Если достоверно установлено, что КЗ находится на защищаемой линии, то, при выполнении других условий, ее следует отключать без выдержки времени. Если КЗ расположено за пределами указанной линии, то защита должна работать с выдержкой времени.

Определение места короткого замыкания может быть выполнено на основе сравнения расстояния от места установки защиты до точки повреждения $l_{кз}$ с длиной защищаемой линии l_n . КЗ будет находиться в пределах контролируемой линии, если $l_{кз} \leq l_n$. Для достоверного установления места КЗ с учетом имеющихся по различным причинам погрешностей, $l_{кз}$ необходимо сравнивать не с фактической длиной линии, а с ее скорректированным значением $K_k \cdot l_n$. Корректирующий коэффициент K_k зависит от уровня и знака погрешности определения $l_{кз}$ и может быть больше или меньше единицы.

Для получения достоверной информации о месте повреждения $l_{кз}$ необходимо вычислять с учетом вида КЗ.

Для определения расстояния до места повреждения целесообразно использовать дистанционный принцип. С целью снижения влияния переходного сопротивления в месте повреждения на расчетную удаленность до места КЗ, искомое расстояние необходимо вычислять по значению реактивной составляющей входного сопротивления.

В большинстве случаев высокая точность определения $l_{кз}$ не требуется, так как фиксируется место повреждения на предмет его возникновения на защищаемой линии или за ее пределами. Исключением являются отрезки, расположенные в конце защищаемой линии или в начале смежной, так как существенные погрешности в этом случае могут приводить к сокращению зоны мгновенного отключения КЗ или неселективной работе защиты. При этом к алгоритму определения места повреждения предъявляются высокие требования по быстродействию, поскольку оно в значительной степени определяет быстродействие защиты. Реализация функции определения места повреждения в микропроцессорных токовых защитах линий с односторонним питанием позволяет расширить зону мгновенного отключения КЗ с охватом ею до 95 % длины линии.

Повышение электродинамической стойкости пролетов с гибкими проводами путем установки междуфазных изолирующих распорок

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

На кафедре «Электрические станции» БНТУ совместно с ИООО «Зарубежэнергопроект-Минск» выполнялся расчет пролетов проводов воздушных ЛЭП 220 кВ одной из электростанций РФ с учетом климатических и электродинамических воздействий.

Для учета совместного действия климатических и электродинамических нагрузок были проведены расчеты электродинамической стойкости. Согласно данным заказчика максимальный расчетный ток трехфазного КЗ $I_{кз}^{(3)}$ составляет 37,6 кА, двухфазного – $I_{кз}^{(2)} = 32,6$ кА. Расчеты показали, что недопустимое сближение фазных проводников в некоторых пролетах происходит независимо от стрелы провеса (в диапазоне 2–4 м) при токах КЗ меньше расчетных. Максимальное сближение проводников наблюдалось в режимах с наибольшей температурой и максимальным скоростным напором ветра.

Исключить недопустимое сближение проводников можно путем установки междуфазных изолирующих распорок типа РМИ (рис. 1), которые уже используются в Российской Федерации для предотвращения схлестывания проводов при пляске.



Рисунок 1. – Распорка междуфазная изолирующая полимерная (РМИ)

Численный алгоритм компьютерной программы FLEBUS, разработанной для расчета электродинамического действия токов КЗ на гибкие проводники, был модифицирован для учета междуфазных распорок. Распорки в компьютерной программе представлены как пружины с жесткостью, соответствующей жесткости распорок. Вес распорок переносится на проводники в точки крепления распорок.

В результате расчетов было определено, что достаточно двух комплектов распорок в пролете, чтобы не допустить критического сближения проводников. Вдобавок наблюдается уменьшение тяжений в пролете на 30–40 %. Это объясняется эффектом уменьшения размаха колебаний проводов под воздействием распорок.

Технико-экономическое обоснование целесообразности применения изолированных проводов на воздушных линиях электропередачи напряжением 10 кВ

Драко М.А.

РУП «Белэнергосетьпроект»

В Республике Беларусь протяженность распределительных линий напряжением 10 кВ составляет свыше 100 тысяч километров. При выборе конструктивного исполнения указанных линий принимаются во внимание следующие факторы: обеспечение надежности электроснабжения потребителей, влияние линий на окружающую природную среду и инвестиции в строительство ЛЭП.

С 2007 года все вновь строящиеся воздушные линии напряжением 10 кВ в населенной местности и в местностях, относящихся к третьему и четвертому районам по гололеду, проектируются с проводами, покрытыми защитной изолирующей оболочкой. Данные линии по сравнению с воздушными линиями с неизолированными проводами имеют ряд преимуществ.

Параметр потока отказов воздушных ЛЭП напряжением 10 кВ с неизолированными проводами составляет от 2 до 30 отказов на 100 км в год; длительность одного отключения варьируется в пределах от 2,5 ч до 12 ч для аварийного отключения и 5 – 70 часов – для планового. Для ЛЭП с изолированными проводами параметр потока отказа в первый год эксплуатации доходит до трех отказов на 100 км и, как правило, это объясняется неточностями и погрешностями при их монтаже. В последующие годы параметр потока отказов снижается до 0,1 отказа на 100 км в год.

Стоимость строительства ЛЭП с неизолированными проводами в ценах 2006 г. составляет 15–26 млн. бел. руб./км, а линий с покрытыми проводами - 30–46 млн. бел. руб./км. Стоимость строительства определена на основании анализа показателей проектов линий напряжением 10 кВ, выполненных РУП «Белэнергосетьпроект» за последнее время.

Строительство воздушных линий напряжением 10 кВ с покрытыми проводами, проходящих по лесопарковой зоне городов, составляет порядка 76,0-80,0 млн. бел. руб./км (в ценах 2012 г.) или 104 у.д.е./км.

Замена в лесопарковой зоне неизолированных проводов на покрытые, на существующих опорах с установкой дополнительных длинно-искровых разрядников требует капитальных затрат в размере 11,0-12,0 млн. бел. руб./км (в ценах 2012 г.).

Технико-экономическое обоснование выбора конструкции надо проводить при проектировании каждой конкретной ЛЭП по ряду критериев.

Графический интерфейс программы проектирования электрической сети

Дуль И.И.

Белорусский национальный технический университет

Согласно исследованиям, проведенным на кафедре «Электрические системы» БНТУ, непосредственное плодотворное время участия проектировщика в проекте составляет 15% от общего времени выполнения проекта. Таким образом, срок выполнения проекта можно значительно сократить посредством автоматизации процесса проектирования.

Во время выполнения проекта электрических сетей, инженеру-проектировщику, в настоящий момент, приходится выполнять необходимые электрические расчеты сети и оформление проектной документации в различных программах имеющих крайне слабую взаимосвязь. Данное обстоятельство усложняет ввод, корректировку и диагностику топологии сети, что отнимает массу драгоценного времени. По этой причине, на данном этапе работы по созданию программы проектирования электрической сети, особое внимание уделено графическому интерфейсу пользователя.

Разработанный графический интерфейс пользователя является простым оконным интерфейсом со стандартным набором элементов: рабочего пространства, главного меню, панели инструментов, строки состояния.

В разработанном графическом интерфейсе пользователя с помощью мыши можно построить произвольную конфигурацию сети любой сложности.

Во время работы с программой пользователю предложена возможность создавать конфигурацию расчетной модели сети поверх карты местности района проектирования. Создаваемая конфигурация сети является одновременно расчетной моделью сети и чертежом ситуационного плана сети. Таким образом, интерфейс исключает возможность возникновения трудно определяемых ошибок в расчетной модели сети. В качестве карты местности района проектирования может быть использовано любое растровое изображение.

Возможности разработанного графического интерфейса пользователя программы проектирования электрической сети:

- загрузка растровых изображений карты района проектирования;
- создание подстанций (узлов) разного номинального напряжения;
- редактирование свойств подстанций (узлов);
- перемещение подстанций (узлов);
- создание линий;
- редактирование параметров линий.

Электромеханический переходной процесс в системе генератор-двигатель

Золотой А.А., Кунцевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

При составлении системы дифференциальных уравнений синхронных и асинхронных электрических машин приняты следующие допущения:

- не учитывается влияние высших пространственных гармоник магнитного поля, т. е. распределение магнитного поля каждой из обмоток вдоль окружности воздушного зазора синхронной машины считается синусоидальным;
- не учитывается гистерезис, насыщение и вихревые токи;
- результирующий магнитный поток нулевой последовательности статора не зависит от пространственного положения ротора.

Система дифференциальных уравнений Парка-Горева асинхронной машины в форме ЭДС имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} r_1 i_d + pE'_d + x'_d p i_d + x'_d i_q - E'_d + e_d &= 0, \\ r_1 i_q + x'_d p i_q - pE'_q - E'_q - x'_d i_d + e_q &= 0, \\ T p E'_d - s T E'_d + E'_d - x i_d &= 0, \\ T p E'_q + s T E'_q + E'_d + x i_q &= 0, \\ T_1 p s &= M_m - (E'_d i_q + E'_q i_d) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Система дифференциальных уравнений синхронной машины в форме ЭДС может быть записана в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} pE'_d + x'_d p i_d + (1+s)(E'_q + x'_q i_q) + r i_d + e_d &= 0, \\ pE'_q + x'_d p i_q - (1+s)(E'_d + x'_d i_d) + r i_q + e_q &= 0, \\ T_{d0} p E'_d = E_{\kappa} - E'_d - (x'_d - x_d) i_d + k_2 (E'_d - E'_d - (x'_d - x'_d) i_d), \\ T'_{d0} p E'_d = k_1 (E_{\kappa} - E'_d - (x'_d - x_d) i_d) + k_3 (E'_d - E'_d + (x'_d - x'_d) i_d), \\ T'_{q0} p E'_q = (x_q - x'_q) i_q - E'_q, \\ p\theta &= s, \\ C p s &= M_m + E'_q i_d - E'_d i_q + (x'_q - x'_d) i_d i_q. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решая систему дифференциальных уравнений (1) совместно с (2), численными методами интегрирование для «жестких» задач, получаем необходимые для оценки динамической устойчивости системы значения электромагнитных моментов машин, сверхпереходных и переходных ЭДС и токов в функции времени, имеющие место при внезапных возмущениях.

Методический подход к испытанию кабелей на термическую и динамическую стойкость

Короткевич М.А., Олексюк И.В.

Белорусский национальный технический университет

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена все чаще используются при проектировании и строительстве новых объектов, однако их применение затруднено по двум основным причинам: большим капитальным вложениям и из-за отсутствия полной нормативно-технической базы для проектирования, монтажа и эксплуатации.

Выпускаемая кабельная продукция должна пройти обязательную сертификацию, в объем которой входит испытание на термическую и динамическую стойкость. Для проведения такого испытания необходимо выбрать источник энергии, который способен обеспечить ток $I_d = 56,82 \text{ кА}$ в течение времени $t = 1 \text{ с}$.

Для определения оптимального источника тока был использован метод многоцелевой оптимизации, в ходе которой определено, что при номинальном напряжении ($U_n = 10 \text{ кВ}$) требуемый импульс тока может обеспечить только ударный накопитель энергии, при пониженном напряжении ($U_n = 200 \text{ В}$) – ударный, индуктивный и емкостный (с использованием ионисторов).

Стадия монтажа кабельной линии предшествует стадия проектирования, в ходе которой производится выбор требуемых сечений токопроводящих жил и экрана кабеля, способа укладки одножильных кабелей в траншею, схемы соединения экранов.

Выбор сечения медных экранов кабеля и схемы их соединения является важным аспектом при проектировании кабельной линии.

Негативные воздействия токов в экранах на кабели:

1) дополнительные потери электроэнергии;

2) нагрев кабеля, и как следствие:

а) ускорение процессов старения изоляции;

б) снижение пропускной способности токопроводящих жил.

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

При анализе различных литературных источников, а также проведении соответствующих расчетов было установлено, что наиболее нежелательным и опасным способом является соединение экранов накоротко. В этом случае в экране может протекать ток более 60% тока жил. Наиболее предпочтительным является схема с секционированными (разомкнутыми) экранами, заземленными на стороне потребителей электроэнергии.

Определение показателей надежности схем электрических соединений подстанций

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

При выборе схем распределительных устройств подстанции следует учитывать число присоединений (линий и трансформаторов), требования надежности электроснабжения потребителей и обеспечения транзита мощности через подстанцию в нормальном, ремонтных и послеаварийных режимах.

В данной работе произведем оценку показателей надежности схем электрических соединений подстанций таблично-логическим методом с помощью программа “ТОPAS” (руководитель разработки – доктор технических наук, профессор Гук Ю.Б.), которая позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений.

Расчет надежности выполним для типовых схем электрических соединений подстанций. Вероятность отказа выключателя при отключении короткого замыкания принята равной 0,003. Время оперативных переключений в расчетах принято равным 0,5 ч.

Результаты вычислений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели надёжности типовых электрических схем РУ

Тип электрической схемы РУ	$\lambda_{\Sigma 0}, 1/\text{год}$	$T_{\text{вс}0}, \text{ч}$	$K_{\text{нр}} \cdot 10^5, \text{о.е.}$
а) Одиночная СШ	0,204	0,73	1,7000
б) Одна секционированная выключателем рабочая СШ	0,0522	1,11	0,6614
в) Полупотрнная схема	0,00119	2,81	0,0381
г) Два выключателя на присоединение	0,00395	0,5	0,0225
д) Две рабочие системы шин	0,0521	0,86	0,5055

Как видно из результатов расчета, введение в схему а) “одионочная СШ” секционного выключателя повышает надежность схемы в 2,57 раза. Использование полупотрнной схемы повышает надежность в 44,61 раза в сравнении со схемой а). Применение схемы “два выключателя на присоединение” увеличивает надежность в 1,69 раза в сравнении с полупотрнной схемой.

Усовершенствованные алгоритм и программа для анализа режимов в распределительных электрических сетях 6-20 кВ

Фурсанов М.И., Гапанюк С.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время разработано множество различных компьютерных программ и программных комплексов для расчета и анализа распределительных электрических сетей 6-20 кВ (в Беларуси GorSR, Delta, «Динамическая модель сети 0,4-10кВ» и др., за рубежом – PAП-10ст, РОСА-2, ElectricaNW, LineNet-10 ...). Кроме того, имеется возможность моделирования режимов работы электрических сетей в таких мощных программных продуктах как MatLab, VisSim и другие.

Однако каждый раз, когда приходится иметь дело с той или иной разработкой, всегда возникают одни и те же вопросы. Какова полная математическая модель задачи? В какой степени предлагаемая модель реализована в алгоритме и программе? Какие дополнительные возможности и сервисные свойства разработанного продукта? и т.д.

В этой связи авторами разработан усовершенствованный алгоритм расчета сети 6-20 кВ, программная реализация и подробный ручной расчет эталонной схемы (см. рисунок 1), позволяющие дать ответы на большинство поставленных выше вопросов.

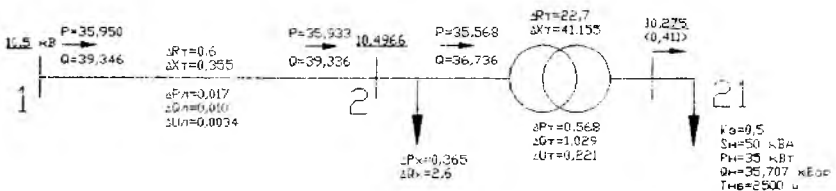


Рисунок 1 – Данные и результаты расчета эталонной схемы для режима наибольших нагрузок

В основу разработанной авторами программы положен расчет двух характерных режимов – наибольших и средних нагрузок. Режим наибольших нагрузок дает ответ на вопрос о допустимости существования максимально тяжелого режима работы сети, второй режим позволяет получить значения напряжений узлов, соответствующие методу средних нагрузок, что ведет к уточнению результата расчета потерь электроэнергии.

Разработанный программный продукт пока не претендует на промышленное применение, но может быть успешно использован в исследовательских и образовательных целях.

Многоуровневые балансы электроэнергии в электрических сетях Белорусской энергосистемы

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

Многоуровневые балансы электроэнергии в электрических сетях Белорусской энергосистемы составляются в виде равенства:

$$W_{пс} = W_{ос} + \Delta W, \quad (1)$$

где $W_{пс}$, $W_{ос}$ и ΔW – поступление, отпуск и отчетные потери электроэнергии.

Поступление и отпуск электроэнергии $W_{пс}$ в сетях 220-750 кВ рассчитываются по формулам:

$$W_{пс} = W_{осш} + W_{вт} + W_{э}, \quad (2)$$

$$W_{ос} = W_{лн} + W_{вт} + W_{эс} + W_{э} + W_{рлсн} + W_{хн}, \quad (3)$$

где $W_{осш}$ – отпуск с шин электростанций; $W_{вт}$ – электроэнергия, принятая через вводы 35-110 кВ автотрансформаторов; $W_{эс}$ – электроэнергия, принятая по линия связи; $W_{лн}$ – полезный отпуск электроэнергии; $W_{э}$ – экспорт электроэнергии; $W_{рлсн}$ – электроэнергия, отпущенная через резервные ТСН электростанций; $W_{хн}$ – электроэнергия, отпущенная на хозяйственные нужды понижающих подстанций.

Поступление и отпуск электроэнергии $W_{пс}$ в сети 35-110 кВ рассчитываются по формулам:

$$W_{пс} = W_{осш} + W_{вт} + W_{эс} + W_{ос}, \quad (4)$$

$$W_{ос} = W_{лн} + W_{пн} + W_{вт} + W_{эс} + W_{э} + W_{л} + W_{рлсн} + W_{хн}, \quad (5)$$

где $W_{ос}$ – электроэнергия полученная от блок-станций; $W_{пн}$ – расход электроэнергии на производственные нужды; $W_{л}$ – возврат электроэнергии в сети энергосистемы по РЛ 6-10 кВ от понижающих подстанций глубокого ввода.

Поступление и отпуск электроэнергии $W_{пс}$ в сети 0,38-10 кВ рассчитываются по формулам:

$$W_{пс} = W_{осш} + W_{вт} + W_{хн} + W_{эс} + W_{ос} + W_{л}, \quad (6)$$

$$W_{ос} = W_{лн} + W_{пн} + W_{эс}, \quad (7)$$

Пропуск электроэнергии через сети 0,38-10 кВ рассчитывается по формуле:

$$W_{прс} = W_{пс} - W_{от}^{вп} - W_{от}^{шт} - W_{бпо}^{вп} - W_{бпо}^{шт} - W_{бпо}^{лп} - W_{бпо}^{лшт}. \quad (8)$$

Климкович Н.И.

Государственный институт управления и социальных технологий

Изменения, произошедшие в последнее десятилетие в экономике, позволяют выжить организациям только за счет активизации их внутреннего потенциала, создания эффективного организационно-технического воздействия и быстрого реагирования на новые требования внешней среды. Вследствие этого контроллинг как целостная концепция управления стала занимать все более значимое место в решении вопросов управления эффективностью организаций.

Вместе с тем, следует отметить, что для того, чтобы увидеть возможность применения контроллинга в организациях стран СНГ, необходимо понять закономерности эволюции его концепций.

Теоретическая база контроллинга характеризуется наличием различных концепций и множества определений, смешивающих функциональный и институциональный аспекты. При этом под концепцией контроллинга Пич Г. понимает совокупность суждений о его функциональном разграничении, институциональном представлении и наборе инструментов в рамках целей организации, соответствующих контроллингу и вытекающих из целей организации.

Результаты анализа эволюции концепций контроллинга во времени на современном этапе развития контроллинга позволяют отобразить ее как последовательное появление таких концепций как: регистрационная концепция; концепция с ориентацией на систему учета; концепция, представляющая контроллинг, как управленческую информационную систему; концепция контроллинга, ориентированная на планирование и контроль; концепция, развивающая координирующую функцию контроллинга; концепция, ориентированная на систему управления в целом; концепция, рассматривающая контроллинг как функцию поддержки процесса принятия управленческих решений; координационно-навигационная концепция контроллинга.

В настоящее время проходят стадию становления концепции стратегической навигации, оптимизации интересов заинтересованных лиц и концепция «нового» контроллинга. Однако необходимо принять во внимание, что господствующие представления о принципах и правилах взаимодействия основных участников хозяйственной деятельности, тенденции развития концепций и методов управления, корпоративная культура организации и менталитет работников могут привести к дальнейшему развитию контроллинга и появлению новых его концепций.

Оптимизация параметров цифровых фильтров для микропроцессорных защит электроустановок

Румянцев Ю.В.

РУП «Белэнергосетьпроект»

В работе исследуется возможность применения быстрого преобразования Фурье (БПФ) для формирования входных параметров (токов или напряжений) цифровых устройств защиты и автоматики электроустановок. При коротких замыканиях (КЗ) входной сигнал цифровой защиты, помимо основной и высших гармоник содержит постоянную и аperiodическую составляющие. Последняя не является периодической функцией, что делает весь входной сигнал непериодическим. Поэтому выделение основной гармоники частотой 50 Гц с помощью алгоритма Фурье всегда сопровождается определенным уровнем погрешности.

Для реализации поставленной задачи использована демонстрационная версия системы блочного имитационного моделирования VisSim 6.0. В среде системы VisSim был смоделирован генератор, позволяющий воспроизводить входной сигнал, состоящий из произвольного набора гармоник, постоянной и аperiodической составляющей. Быстрое преобразование Фурье реализовано с использованием библиотечного блока системы, в котором необходимо задать размер буфера (число отсчетов за период) и метод интегрирования (Рунге-Кутта 4-го порядка). Возвращаемые данные блока быстрого преобразования Фурье – это пары ортогональных коэффициентов ряда Фурье, пропорциональные гармоникам и постоянной составляющей сигнала.

По ортогональным составляющим определяются амплитуда и фаза каждой гармоники, а также спектр сигнала, которые выводятся в виде графиков на виртуальные осциллограф и спектрограф.

Полученные результаты показывают, что наличие аperiodической составляющей с амплитудой, соизмеримой с амплитудой основной гармоники входного сигнала, приводит к повышению колебательности выходного сигнала с перерегулированием до 20-25% и дополнительному затягиванию переходного процесса на 0,5 периода промышленной частоты.

Аperiodическая составляющая выявляется быстрого преобразования Фурье и может служить дополнительным признаком возникновения короткого замыкания. Если же необходимо существенно снизить влияние аperiodической составляющей, то можно рекомендовать низкодобротный полосовой фильтр Баттерворта настроенный на частоту 50Гц. При этом достигается практически неколебательный переходный процесс при незначительном увеличении его длительности.

УДК 621.3

Анализ эффективности использования светодиодных источников света для освещения различных помещений

Козловская В.Б., Д.А.Гаврилович, О.Н.Гаврилович
Белорусский национальный технический университет

Светодиоды (СД) имеют широкое применение при проектировании источников внутреннего освещения. Произведена оценка эффективности применения светильников на основе светодиодов марки CREE XLamp MP-L Easy White для освещения лестничных клеток и общедомовых помещений в жилом 16-этажном доме и светильников РСП18 со светодиодными лампами марки СДЛ-60-180 для освещения промышленных помещений. Для каждого варианта выполнены светотехнический и электрический расчеты осветительной сети, определен расход электроэнергии на освещение, произведена экономическая оценка эффективности использования соответственно газоразрядных и светодиодных светильников для каждого варианта. Экономичность проектируемых вариантов оценивалась двумя методами: методом приведенных затрат и методом чистого дисконтированного дохода.

Основными конструктивными и технико-эксплуатационными достоинствами СД являются небольшие габаритные размеры, высокое быстродействие, долговечность, относительно низкое электропотребление, высокую механическую прочность возможность регулирования светового потока, большое разнообразие цветов излучения, отсутствие пульсаций светового потока, экологичность. Однако, значительным недостатком, сдерживающим широкое распространение светодиодных источников света, является их высокая, по сравнению с газоразрядными источниками света, стоимость.

Тем не менее, проведенный анализ полученных результаты показывает, что варианты с использованием для освещения производственного помещения и внутридомовых помещений жилого дома светильников со светодиодными источниками света являются прибыльными.

УДК 621.3

Эффективность применения автоматизированных систем управления освещением

Козловская В.Б.
Белорусский национальный технический университет

Автоматизированные системы управления освещением (АСУО) направлены на эффективное использование энергоресурсов за счет примене-

ния инновационных технологий и позволяют сократить потребление электроэнергии, расходуемой на освещение, уменьшить затраты, связанные с эксплуатацией систем освещения, упростить управление искусственным освещением, как на улице, так и в помещениях разной функциональности.

В общем случае, систему управления можно рассматривать в виде совокупности взаимосвязанных управленческих процессов и объектов. Выделяют следующие цели управления: предоставление лицу, принимающему решение (ЛПР) необходимых данных для принятия решений; ускорение выполнения отдельных операций по сбору и обработке данных; снижение количества решений, принимаемых ЛПР; повышение уровня контроля и исполнительской дисциплины; повышение оперативности управления; повышение степени обоснованности принимаемых решений.

Общие принципы построения АСУО: системность; развитие (открытость); совместимость; стандартизация (унификация); эффективность.

Существующие системы управления освещением можно подразделить на несколько классов. Местное управление обеспечивается посредством установки коммутационных и управляющих аппаратов непосредственно в линиях, питающих осветительную аппаратуру (на щитах подстанций, магистральных щитах и т.д.). Однако такие системы имеют ограниченное применение. Чаще целесообразно применение дистанционного управления освещением. Как правило, это достигается благодаря установке магнитных пускателей, в линиях питающей и групповой сетей.

Автоматизированная система освещения создает значительные удобства и экономит время персонала, т.к. позволяет поддерживать необходимые уровни освещенности именно там и тогда, когда свет нужен для работы. При этом можно полностью отказаться от использования органов управления освещением.

УДК 621.3

Особенности прогрева бетона в зимний период при возведении зданий и сооружений

Василевский Ю.Л.

Белорусский национальный технический университет

При строительстве зданий и сооружений широко используется возведение монолитных железобетонных конструкций. При проведении работ по укладке бетонной смеси в опалубку в осенне-зимний период, когда температура наружного воздуха опускается ниже нуля градусов по Цельсию, необходимо проводить ряд мероприятий организационного и технического характера, чтобы не допустить замерзания бетонной смеси в опалубке. При замерзании бетонной смеси в опалубке прочность бетона су-

щественно снижается и часто может не достигать расчётных значений, что является не допустимым.

К мероприятиям организационного характера можно отнести выбор наиболее оптимальных сроков начала выполнения строительных работ таким образом, чтобы период наибольшего выполнения работ по укладке бетонной смеси в опалубку (выполнение монолитных фундаментов, колонн) приходился на такие периоды, когда температура наружного воздуха существенно выше нуля градусов по Цельсию. Конечно этот критерий не является основополагающим при выборе начала сроков строительства, однако его несомненно следует учитывать, так как это мероприятие поможет существенно снизить затраты электроэнергии на прогрев монолитного бетона и железобетона.

К организационным мероприятиям можно отнести также выбор наиболее оптимального времени электропрогрева в течение суток.

С учётом того, что в Республике Беларусь действует двуставочный тариф на электроэнергию, наиболее оптимальными являются периоды времени с 23-00 до 6-00.

К мероприятиям технического характера следует отнести выбор способов прогрева монолитных бетонных и железобетонных конструкций в опалубке. Наиболее перспективным способом прогрева монолитных бетонных и железобетонных конструкций является электропрогрев. При выборе способов электропрогрева необходимо учитывать такие параметры как скорость затвердевания и набора прочности бетонной смеси, расход электроэнергии и её стоимость на прогрев бетонной смеси, геометрические характеристики опалубки, расход вспомогательных материалов и удобство их монтажа (греющие электроды, греющая проволока) и т.д.

УДК 621.3

Анализ электропотребления электрифицированных машин и механизмов на строительных площадках

Василевский Ю.Л.

Белорусский национальный технический университет

На период строительства зданий и сооружений от подготовки площадки к выполнению строительных работ до сдачи готового объекта заказчику на разных этапах строительства расходуется электроэнергия. Выполняя мероприятия по оптимизации и управлению электропотреблением на строительных площадках можно добиться существенного уменьшения электропотребления на строительных площадках на период строительства.

Потребителей электроэнергии на строительных площадках можно классифицировать следующим образом: потребители электроэнергии вре-

менных бытовых помещений на освещение и электрообогрев в осенне-зимний период; расход электроэнергии на прогрев монолитного бетона и железобетона при отрицательных температурах наружного воздуха; расход электроэнергии на освещение строительной площадки в тёмное время суток и освещение зон повышенной опасности; расход электроэнергии электрифицированными машинами и механизмами.

К электрифицированным машинам и механизмам строительных площадок необходимо отнести: грузоподъёмные краны и грузоподъёмные механизмы (подъёмники, электрифицированные тележки, электрифицированные лебёдки и тали и т.д.); станции прогрева бетона, штукатурные станции, бетононасосы, сварочные аппараты, электрообогреватели для сушки оштукатуренных стен, ручной электрифицированный инструмент и т.д.

Наиболее энергоёмкими потребителями электрической энергии на строительных площадках являются станции прогрева бетона при производстве работ в осенне-зимний период, при отрицательных температурах наружного воздуха. Подбор наиболее оптимальных способов электропрогрева бетонной смеси и выполнение ряда организационных мероприятий позволяют существенно уменьшить расход электроэнергии на эти цели.

Электрифицированные подъёмные краны также являются значительными потребителями электроэнергии. Потребляемая ими электроэнергия в общем электропотреблении строительной площадки достаточно высока. Использование дополнительных менее энергоёмких, чем электрифицированные подъёмные краны механизмов совместно с кранами позволяет достичь определённой экономии электроэнергии.

УДК 621.548.4

К вопросу регулирования выходного напряжения ветроэнергетической установки

Горностай А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет
Институт транспорта и связи, Латвия*

При автономном использовании ветроэнергетической установки (ВЭУ) с генератором переменного тока в необходимых случаях требуется обеспечить регулирование выходного напряжения генератора.

Известно использование для этих целей электропреобразовательного устройства, содержащего выпрямительный мост на управляемых ключевых элементах и трансформатор с вторичной обмоткой, разделенной на n секций, концы которых через ключевые элементы моста имеют возможность подсоединения к приемнику электрической энергии [1].

С целью достижения меньшей дискретности регулирования напряжения и повышения надежности устройства путем уменьшения количества ключевых элементов предложено усовершенствовать данное устройство, выполнив вторичную обмотку трансформатора в виде n секций, половина из которых маловитковые, другая половина - многовитковые. При этом число витков маловитковой секции в два раза меньше числа витков многовитковой секции, а одна из маловитковых секций имеет m дополнительных отводов на выпрямительный мост [2].

Таким образом, наличие во вторичной обмотке трансформатора электропреобразовательного устройства секций двух видов и деление одной из секций на более мелкие подсекции позволяет при большом диапазоне регулирования осуществлять его достаточно точно и с использованием меньшего числа управляемых ключевых элементов, что повышает надежность устройства в целом.

Литература

1. Тихменев, Б.Н. Подвижной состав электрифицированных железных дорог / Б.Н. Тихменев, Л.М. Трахтман - М.: Транспорт, 1980, с. 124-126.
2. Электропреобразовательное устройство / Патент 8390 Респ. Беларусь, МПК Н 02 Р 13/00, 2012 / Горноста́й А.В. и др., зарегистрирован 03.04.2012.

УДК 621.313

Электразабеспячэнне прамысловых прадпрыемстваў з выкарыстаннем ветраэнергетычных устаноў

Казак Д.А.

Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

Забяспечанасць краіны уласнымі энергетычнымі рэсурсамі толькі на 15% вымагае пастаяннага імкнення да пошуку новых мясцовых крыніц энергіі. Адным з асноўных накірункаў пошуку з'яўляецца альтэрнатыўная энергетыка, а менавіта ветраэнергетыка.

Мэтай працы з'яўляецца ацэнка перспектывы выкарыстання ветраэнергетычных устаноў у сістэмах электразабеспячэння прамысловых прадпрыемстваў ва умовах Беларусі.

У напісанай працы быў распрацаваны план электразабеспячэння Панаградскага завода газавай апаратуры з выкарыстаннем ветраэнергетычных устаноў. Была спраектавана ВЭС магутнасцю 2МВт. Ядна з разлікамі ўкараненне ВЭС дазволіць скараціць спажыванне шмодам электрычнай энергіі з энергасістэмы на 48,3%. Тэрмін акупнасці складзе каля 5 год.

Быў распрацаваны план элетразабеспячэння офіснага будынку Мінскага электратэхнічнага завода ім. В.І.Казлова. Для элетразабеспячэння офіснага будынку, вышыня якога складае 54 м, былі выбраны вертыкальнавосевыя генератары дахавага базавання. Дах будынка дазваляе размесціць да 9 устаноўак дадзенагага тыпу магутнасцю 5 кВт. Разлікі паказалі, што намінальная магутнасць ВЭС складае 21,6% ад патрэбаў офіснага будынку, пры гэтым гадавая вытворчасць элетраэнергіі складзе 30,7% элетраэнергіі, што спажывае будынак. Разліковы тэрмін акупнасці праекту складае 9,27 год.

Пры усталяванні ВЭУ на даху будынка неабходна ўлічваць стан фундамента будынка, а таксама стан даху. Нягледзячы на заяўленую адсутнасць вібрацый вертыкальнавосевых генератараў, неабходна ўлічваць дадатковую нагрузку на канструкцыю даха (вага адной устаноўкі складае каля 200 кг).

На падставе праведзенай працы можна зрабіць выснову, што выкарыстанне ветраэнергетычных устаноўак на тэрыторыі Беларусі з'яўляецца перспектыўным. Гэта датычыцца як устаноўак сісэмнага класа (мегаватнага), так і устаноўак малой магутнасці.

Атрыманыя дадзеныя па вытворчасці элетраэнергіі рознымі тыпамі ВЭУ, а таксама тэрміны акупнасці дапамогуць пры выбары варыянта элетразабеспячэння прамысловых прадпрыемстваў.

УДК 621.311.6.03

Интергармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий

Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

В системе электроснабжения (СЭС) промышленного предприятия суммарная доля электротермических и вентильных нагрузок составляет до 30–40 %. Поэтому в соответствии с ГОСТ 13109–97 такие явления, как нарушение симметрии напряжений и синусоидальности их изменения во времени должны находиться в допустимых пределах, в противном случае необходимо проведение соответствующих мероприятий по нормализации положения. В современных условиях необходимо считаться с действительным составом приемников электрической энергии в рассматриваемой сети и проводить соответствующий анализ всей СЭС. Проблема несинусоидальности напряжения является одной из основных при проектировании электроснабжения промышленных предприятий. Интергармоники (ИГ) всегда присутствуют в СЭС напряжением до и выше 1 кВ, но в последнее время с резким увеличением силовых электронных систем их практическое влияние стало более ощутимым. Высшие гармоники (ВГ)

являются синусоидальными изменениями напряжения или тока, имеющими частоту, кратную основной частоте, на которую спроектирована СЭС. Между ВГ напряжения или тока могут присутствовать частоты, не кратные основной частоте сети. Они могут быть в виде дискретных частот или широкополосного спектра. Это потребители, постоянно или кратковременно работающие в переходном режиме, который обуславливается либо изменением нагрузки, либо особенностями электромагнитных процессов, протекающих при работе электротехнических устройств. Интергармониками называют токи (напряжения) частота которых не кратна частоте основной гармоники, например, 175 Гц , т.е. интергармоника $f \neq hf_1$, где f_1 – основная частота питающей сети, h – целое число, $h > 0$. В общем случае ИГ оказывают те же воздействия, что и ВГ, причем их влияние на электрическую сеть может быть большим. Наличие ИГ приводит к возникновению дополнительных потерь активной мощности и электроэнергии, мерцанию света (фликеру) как у ламп накаливания, так и у люминесцентных ламп, на дискретных частотах, близких к основной, это связано тем, что данные частоты могут вызвать амплитудную модуляцию основной частоты тока, которая будет особенно ощутимой при частоте близкой к 10 Гц . В стандарте МЭК принято ограничивать уровни ИГ напряжения значением $0,2\%$ от номинального напряжения основной гармоники. Качество электрической энергии можно улучшить средствами питающей сети или применением соответствующего дополнительного оборудования.

УДК 621.83

Новая конструкция генератора ветроэнергетической установки

Олешкевич М.М., Кононов К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Задача получения в обмотке статора синусоидальной ЭДС сводится к устранению или наибольшему ослаблению высших синусоидальных гармоник, в первую очередь пятой и седьмой.

Получение синусоидальной формы кривой ЭДС синхронного генератора, который может использоваться в ветроэнергетических установках, в нашем случае осуществляется следующим образом.

Обмотка статора синхронной машины выполняется однослойной с диаметральным шагом. Как известно основной недостаток однослойной обмотки это то, что невозможно ее выполнение с укороченным шагом, что неблагоприятно влияет на форму выходного напряжения, т.к. в отличии от первой гармоники напряжения, там в значительной степени присутствуют высшие гармоники. Благодаря конструкции полюсов ротора, который включает в себя пары одинаковых аксиальных пакетов с полюсами пары пакетов, сдвинутыми друг относительно друга на $1/5$ или на $1/7$ часть по-

люсного деления, и статор пазы которого выполнены скошенными на 2/7 части полюсного деления при сдвиге полюсов пары пакетов ротора друг относительно друга на 1/5 часть полюсного деления, или выполнены скошенными на 2/5 части полюсного деления при сдвиге полюсов пары пакетов ротора друг относительно друга на 1/7 часть полюсного деления [1]. Это решение полностью нивелирует 5-ую и 7-ую гармоники напряжения, что подтверждается расчетами, тем самым обеспечивая форму кривой выходного напряжения близкую к синусоидальной. Происходит некоторое ослабление 1-ой гармоники напряжения на 7.3 % от того варианта, когда обмотка выполнена с диаметральным шагом без скоса пазов статора и обычной конструкции полюсов ротора.

Синхронная электрическая машина с постоянными магнитами может найти применение в качестве низкоскоростных многополюсных синхронных генераторов гидро- и ветроэнергетических установок, поскольку обеспечивает синусоидальную форму кривых ЭДС при относительно простой конструкции ротора и обмотки статора синхронной машины.

Литература

1. Олешкевич, М.М., Олешкевич, В.М. Синхронная электрическая машина с постоянными магнитами//Патент №14180, МПК H02 K 21/00, от 11.25.2010.

УДК 699.8:620.9

Внедрение стандартов энергоэффективности в жилых и общественных зданиях

Поспелова Т.Г.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь выполняется Программа развития системы технического нормирования, стандартизации и подтверждения соответствия в области энергосбережения на 2011 – 2015 гг.

Уровень потребительских качеств жилищ гарантируется государством. Оптимальные, включая обязательные, качества установлены СТБ 1154-99 «Жилище. Основные положения». Среди потребительских качеств - требования к экономии энергии, а именно, к энергоэффективности объемно-планировочных решений и ограждающих конструкций, системам теплоснабжения, отопления и вентиляции, контроля энергопотребления. С 1.08.2010 введен в действие ТР 2009/013/ВУ «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность». Он устанавливает требования к сооружениям, проектной документации, строительным материалам и изделиям. Раскрывает и конкретизирует существенные требования безопас-

ности по экономии энергии и тепловой защите. Устанавливает правила размещения на рынке или ввода в эксплуатацию - соответствие существенным требованиям безопасности ТР. Соответствие подтверждается комплектом технической документации, обязательным принятием декларации о соответствии и маркировкой знаком соответствия на титульном листе технического паспорта сооружения. Постановлением Министерства архитектуры и строительства РБ от 29.03.2012 №14 внесены изменения и дополнения в ТР 2009/013/ВУ. В частности, дана новая редакция Перечня ТНПА, взаимосвязанных с ТР 2009/013/ВУ. Перечень включает ТНПА, охватывающие требования на различных стадиях инвестиционно-строительного цикла, регламентирующие строительные материалы и конструкции, системы тепло- и электроснабжения и т.д. Решающее значение для энергоэффективного строительства и реконструкции/тепловой модернизации имеют ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» и Изменение №1 к нему, введенное в практику проектирования с 1.07.2009, строительства с 1.01.2010 и ТКП 45-2.04-196-2010 (02250) «Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения». Разработан и выполняется План мероприятий по введению в действие ТР 2009/013/ВУ.

УДК 658.26:621.316.1

Анализ связи с энергосистемой систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями

Радкевич В.Н., Ярошевич Г.М.

Белорусский национальный технический университет

Электростанции промышленных предприятий, за исключением очень небольшой мощности или расположенных в удаленных районах, должны быть электрически связаны с ближайшими электрическими сетями энергосистемы (ЭС).

Существуют следующие виды связи электростанций потребителей электроэнергии с ЭС:

- непосредственно на шинах генераторного напряжения электростанций;
- непосредственно на шинах повышенного напряжения электростанций;
- через отдельные пункты приема электроэнергии (главные понизительные подстанции или распределительные пункты) предприятия, которые

связываются с электростанцией на первичном) или вторичном напряжении.

Первый вид связи применяется на относительно небольших производственных объектах с компактным размещением электрических нагрузок при отсутствии специальных требований к надежности электроснабжения. При этом удалении электростанции от ИП энергосистемы должно быть незначительным (до нескольких километров), а мощность, получаемая из ЭС или отдаваемая в нее при снижении нагрузки предприятия, должна быть небольшой. Второй вид связи целесообразен при повышенных требованиях к надежности электроснабжения и достаточной располагаемой мощности генерирующих источников ЭС. При наличии территориально обособленных групп потребителей электроэнергии, удаленных от электростанции предприятия, применяется третий вид связи. Для таких групп потребителей целесообразно сооружение собственного пункта приема электроэнергии от ЭС.

Для обеспечения качества электроснабжения на связях целесообразно предусматривать делительную защиту, предназначенную для отделения электростанции предприятия от сетей электроснабжающей организации при авариях в энергосистеме, вызывающих дефицит мощности, снижение частоты до недопустимых пределов, нарушение устойчивости и т.п.

УДК 621.316.3

Выбор числа, мощности и типа цеховых трансформаторных подстанций

Радкевич В.Н., Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

От правильного выбора числа, мощности и типа цеховых трансформаторных подстанций (ТП) 6-10/0,4 кВ во многом зависят экономические показатели и надежность системы электроснабжения потребителей.

В проектной практике, пользуясь действующими нормативно-техническими документами, выбор ТП производится без учета множества факторов, особенно носящих неопределенный характер. Такой подход часто приводит к неэкономичным решениям. Опыт эксплуатации и ряд исследований показывают, что трансформаторы для подстанций не используются в полной мере по их ресурсу. Настоящая работа заключается в поиске наиболее эффективного метода выбора числа, мощности и типа ТП, а также в разработке соответствующих рекомендаций.

Согласно нормативно-техническим документам, рекомендации по выбору типа ТП диктуются требованиями надежности электроснабжения потребителей. При возникновении вопроса оптимального варианта схемы

резервирования цеховых нагрузок: в первом случае применение много-трансформаторных подстанций и во втором случае прокладка резервных кабельных перемычек на напряжение цеховых сетей между соседними одното трансформаторными подстанциями. Ответ можно получить только путем проведения технико-экономических расчетов (ТЭР). Для этих целей предложена методика сравнительных ТЭР, в комплекс которых включены помимо самих ТП, цеховые питающие сети до 1кВ, линии 6-10 кВ, ячейки выключателей на распределительном устройстве 6-10 кВ, а также прочие затраты и эксплуатационные расходы. Выбор числа и мощности ТП следует производить в два этапа: предварительный и окончательный, на котором мощность оптимизируется с учетом компенсации реактивной мощности. На предварительном этапе рекомендуется определение экономически целесообразной мощности ТП. Данная величина соответствует оптимальной номинальной мощности трансформаторов, согласно критерию минимума приведенных затрат, превышать которую не следует. В работе предложено учитывать влияние окружающей среды, режима и фонда времени работы оборудования, а также наличия независимых генерируемых источников электроэнергии.

Для автоматизации процесса выбора ТП возможна разработка алгоритма и компьютерной программы по предложенной методике.

УДК 621.311

Сравнительный анализ методов прогнозирования выработки электроэнергии ветрогенератором

Макошко Ю.В., Циркунова М.И.

Белорусский национальный технический университет

Среднегодовая скорость ветра является одним из основных показателей при оценке эффективности использования ветровой энергии.

В настоящее время разработано несколько методов прогнозирования выработки электроэнергии ветрогенератором:

1. метод НПП «Ветропаш» (уравнения Гриневича);
2. метод с использованием формулы Вейбулла;
3. метод прогнозирования с помощью нейронных сетей.

Однако все они имеют ряд существенных недостатков.

Во-первых, математические модели, лежащие в основе этих методов, не имеют конкретной привязки к данным натурных замеров скоростей ветра.

Во-вторых, важным фактором при использовании ВЭУ является себестоимость производимой электрической энергии и окупаемость установки. Имеется риск, что в течение гарантированного 20-летнего периода экс-

платации срски окупаемости в первые годы работы ВЭУ могут быть невыполнены, хотя выработка энергии будет соответствовать прогнозу. Это вызвано неравномерностью распределения скорости ветра по годам и оценивается коэффициентами вариации и асимметрии, которые вышеперечисленные методы не учитывают.

В третьих, громоздкие математические преобразования, используемые в данных методах, требуют больших затрат времени и неудобны для инженерных расчетов.

В связи с этим возникает потребность в разработке новой методики прогнозирования, учитывающей асимметрию и нестационарный характер ветра, исходными данными для которой будут служить натурные измерения скорости ветра. Предполагается, что основой методики будет служить математическая модель с использованием формулы А.Н. Колмогорова для прогнозирования нестационарных случайных процессов.

Ожидается, что новая методика позволит повысить точность прогнозирования выработки электроэнергии, поможет решить проблемы устойчивости при работе ветрогенераторов. Учет асимметрии при прогнозировании позволит снизить риски, связанные с невыполнением сроков окупаемости в первые годы работы ВЭУ, а, следовательно, избежать штрафов при расчетах потребителей ВЭУ по банковским кредитам.

УДК 621.3

Анализ поисковых запросов на сайте кафедры «Электротехника и электроника»

Жуковская Т.Е., Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

При администрировании сайта кафедры «Электротехника и электроника» предусмотрено ряд возможностей для регистрации, отображения и анализа запросов публикуемых материалов, статей, методических разработок. Статистика обращений к материалам ведется с момента возникновения сайта (декабрь 2008г.), что позволяет на данном этапе получить большой материал для анализа предпочтений посетителей сайта.

На сегодняшний момент безусловным лидером по количеству запросов является материал «Комплексные числа», а также сопутствующие материалы о применении для расчета комплексных чисел различных моделей современных калькуляторов. Необходимо отметить, что этот блок методических материалов размещен на сайте только в марте 2011 года и очень быстро набрал популярность, так например, за период 27.04.12 по 30.05.12 количество обращений только к одной статье «Комплексные числа» увеличилось более чем на 1000. Далее в ряду наиболее востребованных статей

выступают методические указания о проведении расчета к лабораторным работам по однофазным и трехфазным цепям переменного тока.

В разделе «Методические пособия» ведется статистика количества скачиваний размещенных пособий и лекционных материалов. Наибольшее количество скачиваний у лабораторных практикумов «Электрические цепи» (более 2050); «Электрические машины» (более 1500); «Основы электроники» (более 900).

Важным направлением работы сайта является методическое обеспечение студентов заочного отделения. На сайте размещена информация о заданиях к контрольным работам, методические указаниями, вопросы по изучаемым курсам, расписание консультаций для студентов – заочников. При обращении к статистике материала «Заочнику» регистрируем более 1400 запросов, к странице «Расписание консультаций заочнику» более 1100 запросов, факт интересен в сочетании с тем, что в текущем семестре на кафедре только 1116 студентов заочного отделения должны выполнить контрольную работу. Так же интересно то, что количество обращений за семестр к страницам по отдельным учебным потокам заочного отделения многократно (в 3-4 раза) превышает количество студентов потока. Таким образом, анализ запросов свидетельствует о востребованности сайта в обеспечении учебного процесса.

УДК 621.3

Модель микроЭВМ в электронной лаборатории

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Для изучения принципа работы микроЭВМ была поставлена задача разработки в электронной лаборатории Electronics Workbench ее модели, позволяющей вводить, обрабатывать, хранить и выводить информацию.

Несмотря на присутствие отдельным ЭВМ отличия, в каждой из них можно выделить четыре основных устройства: арифметико-логическое, управляющее, запоминающее и устройства ввода-вывода информации, называемое обычно периферийным.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) служит для выполнения арифметических и логических операций над числами, представленными в двоичном коде. Управляющее устройство (УУ) управляет работой АЛУ и других устройств ЭВМ. Управление работой этих устройств осуществляется по специальным командам, порядок исполнения которых определяется заданной программой. Для упрощения схемы и ее большей наглядности роль управляющего устройства в учебной модели ЭВМ выполняет пользователь. Запоминающее устройство (ЗУ), или память, предназначено для

хранения программой информации (данных). Периферийные устройства, или устройства ввода-вывода информации, служат для приведения входной информации к требуемому виду для ввода в ЭВМ и вывода из ЭВМ результатов переработки информации в нужном виде.

В учебной модели ЭВМ можно условно выделить четыре блока: ввода, обработки, вывода и хранения информации.

Центральное место занимает блок обработки информации. Он реализован с помощью АЛУ 74181. В зависимости от введенного кода операции и режима работы будет выполнена одна из операций над числами А и В.

Ввод данных осуществляется с помощью блока ввода информации. Числа А и В, а также код операции С вводятся с помощью D-триггеров 7477 в виде последовательного регистра. Для хранения результата в электронной лаборатории также используются D-триггеры. Для удобства работы с моделью информация отображается с помощью четырехвходовых семисегментных индикаторов со встроенными дешифраторами.

Модель ЭВМ позволяет выполнить 16 арифметических и 16 арифметико-логических операций при задании кода управления и вида операции. Эта модель, используемая на практических занятиях по электронике, позволяет изучить принцип действия микропроцессоров и микроЭВМ.

УДК 621.311

Рекуррентный пересчет параметров модели экспоненциального сглаживания при прогнозировании одномерных временных рядов

Домников С. В., Згаевская Г. В.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее рациональным подходом к проблеме прогнозирования в задачах автоматизированных систем диспетчерского управления (АСДУ) является разработка минимального количества универсальных программ, применяемых для всего спектра задач диспетчерского управления. Возможность реализации такого подхода основывается на логической общности основных условий, характерных для процессов, течение которых необходимо предсказывать для решения задач в АСДУ ЭЭС:

- наличие представительной предыстории процесса;
- прогнозируемый процесс складывается из тенденции роста (убывания) в общем случае несинусоидальных периодических колебаний с априорно известным периодом;
- старение информации, содержащейся в предыстории ряда, что уменьшает ее влияние на прогнозируемые значения параметров;

– ограниченный объем памяти ЭВМ, отводимой для хранения предыстории процесса.

В качестве основы целесообразного метода прогнозирования для решения задач АСДУ можно использовать известный метод адаптивного сглаживания, поскольку он позволяет:

1. Рационально взвешивать значения аргументов (членов предыстории ряда) при формировании нормальной системы уравнений, обеспечивая преимущественную зависимость параметров модели прогнозирования от хронологически более близких к концу предыстории членов ряда;

2. Рекуррентный характер метода, позволяющий хранить в памяти ЭВМ неизменный во времени объем информации, так как вместо постоянно удлиняющейся предыстории ряда можно запоминать значения параметров модели, изменяющиеся после получения информации о значении каждого нового члена.

Метод адаптивного сглаживания представляет собой специальную разновидность метода взвешенных наименьших kB -Адратов. Принимаемый способ взвешивания обеспечивает постепенное «забывания» устаревающей информации благодаря тому, что доля членов ряда в минимизируемой сумме наименьших kB -Адратов зависит от экспоненциальной функции времени с основанием степени меньше 1. Скорость забывания определяется задаваемым извне параметром – постоянной сглаживания.

УДК 621.311

Учет в модели детерминированной основы временного ряда несинусоидального характера колебательных составляющих

Домников С. В., Згаевская Г. В.

Белорусский национальный технический университет

Метод адаптивного сглаживания был бы применим для прогнозирования набора значений членов ряда на любом из заданных интервалов периодичности (т. е. прогнозирования графиков), если бы для каждого члена удалось каким – либо образом получить хотя бы искаженную шумом оценку предшествующего члена, которая зависела бы не только от прогноза последнего методом адаптивного сглаживания, но и от косвенной информации, позволяющей более точно учесть характер изменения периодической составляющей ряда (назовем эту оценку псевдореализацией).

Какая возможность обычно имеет место, поскольку каждая последовательность значений ряда, соответствующих одинаковым фазам периодов (назовем ее рядом фазового сечения), изменяется плавно и может быть хорошо описана простой формой уравнения регрессии, для достоверного

определения параметров которого не потребуется большой длины ряда. Целесообразно принимать показательную форму регрессии членов ряда фазового сечения. Это вытекает из априорного допущения о постоянстве относительного изменения членов ряда для данной фазы интервала периодичности.

Как и для основной модели адаптивного сглаживания, параметры регрессионных моделей для рядов фазовых сечений должны по мере поступления новой информации о зарегистрированных членах рядов пересчитываться рекуррентным образом. Это требование всегда можно выполнить, если в качестве хранимых параметров моделей использовать не непосредственные значения коэффициентов уравнению, а некоторые промежуточные параметры, которые поддаются рекуррентному пересчету и по которым можно однозначно определить значение коэффициентов [1].

Литература

1. Гурский, С.К., Домников, С.В. Адаптивный метод прогнозирования временных рядов, содержащих периодические составляющие с априорно известным периодом, для задач планирования и управления в ЭЭС. – Изв. Вузов СССР. Сер. энерг., 1979, № 12.

УДК 681.518.5

Стандарт МЭК 61131-3 в процессе обучения программированию процессов управления

Ежов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Современное состояние программного и аппаратного обеспечения автоматизации в промышленности развито настолько, что программы управления могут составлять не только программисты, но специалисты, проектирующие технологию производства, и специалисты по эксплуатации. Большую роль в этом сыграл стандарт МЭК 61131-3 «Языки программирования ПЛК», упростивший программирование и сделавший его доступными для неспециалистов.

Стандарт систематизировал пять наиболее распространенных языков программирования и привел их к аппаратно-независимой модели функционирования с едиными правилами декомпозиции программных компонентов и типами переменных.

Структурированный текст (ST) – паскалеподобный язык высокого уровня обеспечивает структурированное программирование и поддерживает широкий диапазон стандартных функций и операторов.

Диаграмма функциональных блоков (FBD) – графический язык, позволяющий изображать обработку сигналов функциональными блоками, удобен для реализации алгоритмов регулирования и логики.

Язык релейных диаграмм (LD) – графический язык программирования логических выражений, помещая графические символы в схему аналогичную релейно-контактной схеме.

Список инструкций (IL) – низкоуровневый ассемблероподобный язык.

Последовательные функциональные диаграммы (SFC) – графический язык для описания последовательности состояний и условий переходов.

Каждый из этих языков имеет свою специфику и приспособлен для решения своих задач. Фрагменты программы, выполненные на любом языке, можно вставлять в программу на другом языке с автоматическим перекомпилированием. Языки позволяют расчленивать проект на разнородные фрагменты, что упрощает обучение, обслуживание и консультирование проектов.

Фирмы, занимающиеся автоматизацией в промышленности, уделяют большое внимание взаимодействию с вузами, предоставляют вузам льготные цены на программное обеспечение, а также возможность бесплатного повышения квалификации.

УДК 621.3.011

Расчёт мощности при несимметрии системы напряжений

Куцыло А.В.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается задача расчёта комплексной мощности трёхфазного симметричного приёмника с различными комплексными сопротивлениями фаз \underline{Z}_1 прямой и \underline{Z}_2 обратной последовательности, подключенного к трёхфазной трёхпроводной сети, при несимметрии системы напряжений. Фазы приёмника для определённости полагаются соединёнными в звезду. Способ соединения фаз для дальнейших расчётов не имеет значения с учётом возможности эквивалентного преобразования треугольник–звезда. Так как в трёхпроводной цепи протекание токов нулевой последовательности невозможно, можно ограничиться рассмотрением системы напряжений, содержащей составляющие только прямой (1) и обратной (2) последовательности:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} ; \quad \underline{U}_B = \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} ; \quad \underline{U}_C = \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} .$$

Исходным является выражение комплексной мощности

$$\underline{S} = \underline{U}_A \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \underline{I}_C^* . \quad (1)$$

Симметричные составляющие системы токов выражаются по закону Ома:

$$\underline{I}_{A1} = \underline{U}_{A1} / \underline{Z}_1 ; \quad \underline{I}_{A2} = \underline{U}_{A2} / \underline{Z}_2 .$$

Выразим величины фаз B и C через \underline{U}_{A1} , \underline{U}_{A2} , \underline{I}_{A1} , \underline{I}_{A2} с помощью поворотного множителя $a = e^{j120^\circ}$. Кроме того, используем соотношения:

$$\begin{aligned} \text{При } \underline{C} = \underline{A} + \underline{B} \quad \underline{C}^* = \underline{A} + \underline{B}^* ; \quad \text{при } \underline{C} = \underline{A}\underline{B} \quad \underline{C}^* = \underline{A}^*\underline{B}^* ; \\ a^* = a^2 ; \quad (a^2)^* = a . \end{aligned}$$

После несложных алгебраических преобразований выражение (1) принимает вид:

$$\underline{S} = 3\underline{U}_{A1}\underline{I}_{A1}^* + 3\underline{U}_{A2}\underline{I}_{A2}^* = 3\underline{Z}_1 I_{A1}^2 + 3\underline{Z}_2 I_{A2}^2 = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 . \quad (2)$$

Таким образом, комплексная мощность симметричного трёхфазного приёмника с параметрами \underline{Z}_1 , \underline{Z}_2 может быть найдена как сумма комплексных мощностей прямой \underline{S}_1 и обратной \underline{S}_2 последовательностей:

$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 . \quad (3)$$

УДК 621.317.7

Оценка точности электромеханических приборов с большим сроком эксплуатации

Куцыло А.В.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Электротехника и электроника» применяется в учебном процессе некоторое количество электромеханических приборов 60-х – 80-х годов выпуска: электромагнитные амперметры и вольтметры класса точности 0,5; электродинамические вольтметры класса точности 0,2. Оценить метрологическое состояние этих приборов позволили бы значения их действительной погрешности, полученные в результате поверки, но для проведения поверки в условиях кафедры нет технических возможностей, так как отсутствуют необходимые эталоны.

Однако некоторое представление о точности указанных приборов можно получить. Для этого выполнено сличение показаний исследуемых приборов и приборов, которые условно названы опорными. Под опорными понимаются электронные приборы, имеющие срок эксплуатации, значительно (в несколько раз) меньший, чем у исследуемых приборов. При этом

пределы основной допускаемой погрешности исследуемого и опорного приборов отличаются менее чем в три раза. Результат сличения оценен расхождением показаний, числовая оценка которого произведена по формулам, аналогичным формулам погрешностей, в которых действительное значение заменено показанием опорного прибора.

При разных принципах действия исследуемого и спорного приборов законы увеличения во времени их погрешностей различны. Поэтому расхождение показаний в пределах допускаемой погрешности исследуемого прибора можно объяснить скорее как сопоставимость действительной погрешности каждого из приборов с ее допускаемыми пределами, чем как одинаковое и значительное увеличение погрешности этих приборов сверх допускаемых пределов.

В то же время расхождение показаний, в несколько раз превышающее пределы допускаемой погрешности исследуемого прибора, можно объяснить значительным увеличением погрешности исследуемого прибора. Опорному прибору отдается предпочтение по точности, как имеющему меньший срок эксплуатации.

Следует отметить, что состояние значительной части обследованных приборов можно оценить как удовлетворительное, хотя имеются и приборы с очевидно увеличенной погрешностью.

УДК 620.179.14

Размагничивающее устройство ферромагнитных изделий с изменяемой характеристикой размагничивающего тока

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный аграрный технический университет

Размагничивающие устройства (РУ) применяются в различных приборах, где необходимо уменьшить специальную или случайную намагниченность изделия, как на производстве, так и быту. Описываемое РУ позволяет оптимизировать цикл размагничивания ферромагнитных изделий, и предназначено, в первую очередь, для применения в приборах неразрушающего контроля (ПНК), работа которых основана на намагничивании, а затем частичном или полном размагничивании изделия. По остаточному значению намагниченности, измеряемой магниточувствительными элементами можно, для многих типов стали, определить некоторые механические характеристики, например, твердость изделия.

Полное размагничивание изделия необходимо перед началом работы ПНК, для проведения качественного контроля механических характери-

стик и при его окончании для устранения влияния остаточной намагниченности на дальнейшую работу изделия.

Устройство состоит из последовательно соединенных генератора низкочастотных синусоидальных колебаний (ГНСК), электронного регулятора (ЭР), усилителя мощности (УМ) и размагничивающего контура, а также генератора специальной формы (ГСФ), подключенного своим выходом к управляющему входу ЭР и программируемого коммутатора ПК, подключенного своими выходами к управляющим входам ГНСК, ГСФ и УМ.

Устройство работает следующим образом. Перед включением РУ с помощью ПК устанавливаются заранее известные для конкретного типа размагничиваемых изделий значения частоты ГНСК, характеристику управляющего сигнала ГСФ и напряжение питания УМ. С помощью ГСФ можно задавать форму характеристики размагничивающего тока, например треугольная, трапецидальная и другой, с заданной максимальной амплитудой и временем ее нарастания и спада. Запуск цикла размагничивания осуществляется внешним сигналом, поступающим на второй управляющий вход ГСФ.

Такая работа РУ расширяет функциональные его возможности для получения оптимально быстрого, относительно экономичного и качественного размагничивания различных изделий.

УДК 621.3

Способы фазировки входного сигнала для мостовых усилителей мощности

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет

Усилители мощности (УМ) предназначены для согласования нагрузки, обычно с сопротивлением несколько Ом, с предварительными усилительными каскадами. Одним из способов получения максимальной мощности в нагрузке, при одинаковом значении напряжения питания и нагрузки, является использование мостовой схемы, состоящей из двух идентичных УМ. При этом нагрузка подключается между выходами двух УМ, а на их входы должны поступать противофазные сигналы.

В простейшем случае фазировку входного сигнала можно осуществить с помощью биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. При этом входной сигнал должен поступать на базу транзистора, а два противофазных выхода могут осуществляться с приблизительно одина-

ковых по величине нагрузок (резисторов), с целью получения одинаковых по амплитуде выходных сигналов, в цепи выводов эмиттера и коллектора.

Недостатком данной схемы являются большие нелинейные искажения в выходном сигнале.

Построение мостовых УМ со схемотехникой подобной построению схем операционных усилителей позволяет существенно упростить фазировку входного сигнала, путем подачи входного сигнала первого усилителя на неинвертирующий вход, а второго усилителя на инвертирующий вход. Усилители должны иметь одинаковые коэффициенты усиления. Часто встречаются схемы мостовых УМ, когда вход второго инвертирующего УМ подключается к выходу первого усилителя с единичным усилением.

Наилучшие результаты получаются, когда два УМ, входящие в мостовой УМ одинаковые по схемотехнике и охвачены одинаковой глубиной отрицательной обратной связи. Для этого второй инвертирующий УМ, имеющий коэффициент усиления равный первому УМ, подключается к части выходного сигнала первого УМ.

Современная мировая промышленность предлагает потребителю множество интегральных мостовых УМ, имеющих минимум внешних элементов и имеющих все необходимые соединения для построения мостовой схемы внутри микросхемы. Еще большего упрощения общей схемы можно достичь применяя микросхему, содержащую два мостовых усилителя в одном корпусе.

УДК 621.311.004.12

Качество электрической энергии

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Эффективная работа электрооборудования определяется качеством электрической энергии, которой снабжаются потребители.

Качество электрической энергии характеризуется следующими показателями: отклонением и колебаниями напряжения, отклонением и колебаниями частоты, степенью несинусоидальности формы кривой напряжения (тока) и т.д.

Отклонение напряжения представляет собой величину, равную разности между значением напряжения в данной точке системы электроснабжения в рассматриваемый момент времени и его номинальным или базовым значением.

Отклонение частоты представляет собой величину, равную разности между значением частоты в системе электроснабжения в рассматриваемый момент времени и её номинальным или базовым значением.

Колебания напряжения (частоты) – серия единичных изменений напряжения (частоты) во времени. Колебания напряжения и частоты являются, как правило, следствием резких изменений нагрузки и пуска мощных двигателей.

Наиболее важными показателями качества электроэнергии у приёмников являются отклонения и колебания напряжения. Эти показатели существенно влияют на характеристики двигателей и, в конечном счёте, определяют производительность приводимых ими в движение машин, механизмов и установок. Особенно чувствительны к изменению напряжения асинхронные двигатели. Момент асинхронного двигателя практически пропорционален напряжению в степени более двух (в среднем принято считать 2,1). При снижении напряжения резко уменьшается скольжение двигателя, а следовательно, значительно возрастает напряжение и ток в роторе. Это обуславливает снижение эксплуатационной мощности двигателя, а следовательно, и приводимых им в действие исполнительных механизмов, что приводит к дополнительным материальным затратам. Так, при снижении питающего напряжения до значения, равного $0,95 U_{\text{ном.}}$, и номинальной нагрузке двигателя его ток будет примерно на 7% больше номинального, что приводит к повышенному износу изоляции и снижению срока службы двигателя примерно вдвое.

Следовательно, контроль и управление качеством электрической энергии представляет собой важную экономическую задачу.

УДК 621.318.25

Размагничивание ферромагнитных тел как один из факторов повышения качества ферромагнитных изделий

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Качество изделий – степень соответствия параметров изделий их установленным значениям. Одним из показателей качества изделий из ферромагнитных материалов является значение их остаточной намагниченности. В процессе изготовления, обработки, сборки и т.д. изделия из ферромагнитных материалов подвергаются воздействию внешних магнитных полей и, соответственно, намагничиваются. Большинство деталей перед сборкой шлифуют на шлифовальных станках. Деталь крепится на шлифовальных плитах станков следующим образом: внутри плиты проложена обмотка, по ней пропускают постоянный ток, он создаёт магнитное поле, которое и крепит деталь к плите. После шлифования деталь остаётся намагниченной.

Намагниченные изделия обладают целым рядом недостатков: при их шлифовании в намагниченных местах на поверхности возникают “ожоги”;

к трущимся поверхностям намагниченных деталей прилипают частички, которые вызывают быстрый износ этих деталей. Следовательно, для повышения качества изделий из ферромагнитных материалов их необходимо размагничивать.

Самым эффективным способом размагничивания является динамический способ, при котором на размагничиваемое изделие воздействуют импульсами знакопеременного затухающего. При размагничивании деталей на плитах станков по обмоткам плиты пропускают затухающие импульсы знакопеременного тока. вследствие чего размагничиваемая деталь перемагничивается импульсами знакопеременного магнитного поля и размагничивается. Намагниченные детали размагничивают также в соленоиде, но этот способ более сложный и дорогой, т.к. требует наличия соленоида и устройства для питания соленоида. Размагничивание деталей в соленоиде является самым эффективным, т.к. в этом случае можно регулировать параметры размагничивающего электромагнитного поля: начальную амплитуду, количество импульсов, время размагничивания.

Известен также способ размагничивания, при котором намагниченную деталь нагревают до определённой температуры, а затем охлаждают при отсутствии внешних магнитных полей. Но этот способ применяется редко, т.к. он нетехнологичный и дорогостоящий. Так как размагниченные детали обладают большим сроком службы, не влияют на точность показаний измерительных приборов, то размагничивание ферромагнитных тел является важной народнохозяйственной задачей.

УДК 629.7.064.5

Системы стабилизации частоты переменного тока в электроснабжении самолетов гражданской авиации

Александров А.Н.

Минский государственный высший авиационный колледж

Стабилизация частоты переменного тока в электроснабжении самолетов гражданской авиации в настоящее время производится чаще всего регулированием частоты тока синхронного генератора (СГ) с помощью привода постоянной скорости (ППС). Собственно ППС образован дифференциальным редуктором (ДР), дополнительным приводом - преобразователем энергии от авиадвигателя (ДП-ПЭ) и регулятором частоты вращения (РЧВ). ППС позволяет поддерживать частоту тока в системе с точностью $\pm(1...5)\%$. В случае необходимости регулирования частоты тока с большей точностью (например, при параллельной работе генераторов) система электроснабжения дополняется регулятором частоты тока (РЧТ) - (корректором частоты).

Гидромеханические приводы применены на самолетах ЯК-42, ИЛ-96, ТУ-204. В этом приводе преобразователь энергии ДП-ПЭ образован двумя однотипными гидравлическими машинами плунжерного типа - гидронасосом и гидромотором. В турбомеханических ППС ДП-ПЭ образован воздушной турбиной, а в ППС с реверсом – воздушной турбиной и сегнеровым колесом, приводящимся в движение воздухом от компрессора авиадвигателя. Гидромеханические ППС при выходной мощности ($P_{\text{вых}}$) до 60 кВт·А имеют относительную массу 1,0-1,3 кг/кВт·А, высокий к п д. - 0,85-0,95. При интегральном исполнении относительная масса таких приводов снижается до 0,5-0,7кг/кВт·А. Эти ППС имеют высокую стоимость, сложность установки, наладки, обслуживания и капитального ремонта. Турбомеханические ППС более просты конструктивно, обладают достаточной надежностью и относительно низкой стоимостью, но имеют малую жесткость механических характеристик, ниже к п д. - 0,8 - 0,85 и большую относительную массу - 1,6-1,8 кг/кВт·А.

Перспективные направления - системы ПСПЧ (переменная скорость – постоянная частота). К настоящему времени созданы системы ПСПЧ, которые имеют статические ошибки регулирования частоты $\pm 0,1$ Гц, напряжения ± 1 В, время переходных процессов менее 0,008 с, к.п.д. свыше 0,9, что превосходит показатели ППС.

УДК 629.621.064

Тенденции развития систем электроснабжения самолетов гражданской авиации

Полуянов М. И.

Минский государственный высший авиационный колледж

На самолетах малой дальности используются генераторы постоянного тока напряжением 28,5 В и резервные аккумуляторные батареи напряжением 24 В. На самолетах средней и большой дальности первичными источниками электроэнергии являются трехфазные синхронные генераторы напряжением 208/120 В частотой 400 Гц в сочетании с приводами постоянной частоты вращения роторов генераторов при изменяющейся частоте вращения авиационных двигателей. Кроме основной трехфазной сети 200 В имеются вторичные сети трехфазного напряжения 36 В, необходимые для питания гироскопов и других потребителей электроэнергии, сети однофазного напряжения 115 В для питания радиоаппаратуры, а также сети выпрямленного постоянного тока 27 В, к которым подключаются аккумуляторные батареи. Кроме того, имеются электромеханические и/или статические преобразователи аккумуляторного напряжения 24 В в однофазное напряжение 115 В и трехфазное напряжение 36 В, необходимые

для бесперебойной работы средств связи, гироскопов и других жизненно важных систем в аварийных ситуациях.

В связи с использованием цифровых информационно-вычислительных устройств, лазерных гироскопов, измерительных преобразователей с цифровыми выходами и других средств в дополнение к указанным требуются новые уровни напряжений и частот, например, 5 В постоянного тока и др. Рост количества и мощностей потребителей электроэнергии на борту самолета создает предпосылки, как прогнозируется, для перехода на более высокие напряжения основных и вторичных сетей постоянного и переменного токов, что позволит в ряде случаев отказаться от гидропривода, заменив его электроприводом. Выбор вариантов структуры и параметров систем электроснабжения самолетов гражданской авиации должен производиться по минимуму приведенных затрат и полетной массы.

УДК 621.316.71

Угольные регуляторы для стабилизации частоты вращения двигателей и напряжения генераторов

Синяков А. Л.

Минский государственный высший авиационный колледж

Для стабилизации напряжения генераторов постоянного тока воздушных судов применяется угольный регулятор напряжения, содержащий угольный столбик, сжимаемый пружиной, к которой прикреплен якорь электромагнита с обмоткой. При отсутствии тока через обмотку электромагнита угольный столбик сжимается пружиной и его сопротивление минимально. Для стабилизации напряжения генератора угольный столбик включают в цепь обмотки возбуждения генератора, а обмотку электромагнита подключают к выходным клеммам генератора. Если напряжение на выходе генератора стало больше номинального, то увеличивается ток через обмотку электромагнита сопротивление угольного столбика увеличивается, магнитный поток обмотки возбуждения уменьшается и понижается напряжение генератора. При понижении напряжения генератора процесс стабилизации напряжения происходит в обратном порядке. Разработан угольный регулятор напряжения для стабилизации частоты вращения двигателей постоянного тока. Он содержит угольный столбик с центральным вертикальным отверстием, в котором расположен шток электромагнита, к нижнему торцу которого прикреплена электроизоляционная прижимная колодка, прикрепленная к растягивающей пружине, а к верхнему торцу – якорь электромагнита, с обмоткой. При отсутствии тока через обмотку электромагнита растягивающая пружина не сжимает угольный столбик и его электросопротивление максимально.

Для стабилизации частоты вращения двигателя угольный столбик включают последовательно с параллельной обмоткой возбуждения двигателя, а обмотку электромагнита подключают к напряжению тахогенератора двигателя. При увеличении частоты вращения двигателя регулятор сжимает угольный столбик, его электросопротивление уменьшается, увеличивается магнитный поток двигателя и снижается скорость двигателя. С уменьшением частоты вращения двигателя процесс стабилизации скорости происходит в обратном порядке. Конструкция угольного регулятора напряжения защищена патентом Республики Беларусь.

УДК 378.141-057.875 + 621.3

О методике преподавания дисциплины «Электрическая часть электрических станций и подстанций» для студентов заочной формы обучения

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

Дисциплина «Электрическая часть электрических станций и подстанций» относится к разряду специальных дисциплин обязательного компонента типовых учебных планов для специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции» и 1-53 01 04 – «Автоматизация и управление энергетическими процессами» (специализация 1-53 01 04 03 – «Автоматизация и релейная защита электроустановок»).

Дисциплина является одной из основных специальных дисциплин, где закладывается и формируется фундамент профессиональной подготовки инженеров-энергетиков.

Изучение этой дисциплины студентами заочной формы обучения, в соответствии с рабочими учебными планами специальностей, планируется в двух семестрах в объеме 44 часов. Из них 24 часа лекций и 20 часов лабораторных занятий. Кроме этого во втором семестре студентами должен выполняться курсовой проект.

Согласно типовой учебной программы дисциплины задачами ее изучения являются:

- усвоение принципов построения электрической части электрических станций и подстанций, конструкций электрооборудования, главных схем электрических соединений, систем собственных нужд, конструкций распределительных устройств, схем и конструкций оборудования вспомогательных устройств;
- овладение методами проектирования электрических схем и выбора электрооборудования с учетом их технико-экономических характеристик, требований энергосистем и экологических факторов.

В этой связи установочные и обзорные лекции построены так, чтобы студенты – заочники смогли: наиболее полно овладеть знаниями принципов работы электрооборудования электрических станций и подстанций; изучить их характеристики и режимы работы; изучить основные электрические схемы электрических станций и подстанций; освоить методы выбора электрических аппаратов и токоведущих частей; применять правила устройства электроустановок при проектировании электрической части электростанций и подстанций.

Тематика лабораторных занятий направлена на конкретное изучение конструктивных особенностей и принципов работы основного электрооборудования электрических станций и подстанций.

Задачей курсового проекта является научить студентов разработке главной схемы электрических соединений электростанции или подстанции, выбору токоведущих частей и аппаратов в них, разработке конструкции одного из распределительных устройств объекта проектирования.

В целом все перечисленные виды занятий способствуют более эффективному усваиванию основ данной дисциплины.

УДК 621.3.022

Влияние пространственного положения жесткой ошиновки распределительного устройства 10 кВ на параметры электродинамической стойкости

Климкович П.И., Шпаковский А.А.

Белорусский национальный технический университет

С помощью разработанной компьютерной программы расчета электродинамической стойкости сборных шин распределительных устройств 10 кВ с произвольной ориентацией шин и изоляторов выполнен вычислительный эксперимент позволивший выявить перспективные углы ориентации шинной конструкции при расположении их в горизонтальной плоскости, по вершинам прямоугольного или равностороннего треугольников.

Проведено исследование влияния начального угла ориентации фазы на, приложенные к вершине изолятора, усилия на изгиб и растяжение ($P_{\max \text{ изг.}}$, $P_{\max \text{ раст.}}$) и напряжение в материале шины (σ_{\max}) для трех частных случаев расположения сборных шин.

Анализ полученных результатов расчета параметров электродинамической стойкости для алюминиевых шин сечением $100 \times 10 \text{ мм}^2$ с междупазным расстоянием 250 мм и токе КЗ 25 кА показывает, что:

– при расположении шин в вершинах прямоугольного треугольника наиболее перспективным углом ориентации шины фазы А (вершина прямого угла треугольника), углом при котором имеют место минимальные

значения исследуемых величин, является угол 45° . Для фазы *B* минимальные значения $P_{\max \text{ изг}}$ имеют место при угле 162° и 342° , для $P_{\max \text{ раст}}$ – при 164° и 344° , а для σ_{\max} – единственное положение 135° . Для фазы *B* оптимальным углом ориентации шины можно принять угол 164° . Для фазы *C* оптимальным углом ориентации шины можно принять угол 196° ;

– при расположении шин горизонтально наиболее перспективных углом ориентации шины фазы *A* является угол 90° . Для фазы *C* – угол 270° . Для фазы *B* минимальные значения $P_{\max \text{ раст}}$ имеют место при угле 0° и 180° , для $P_{\max \text{ изг}}$ и σ_{\max} – при 90° и 270° . Для фазы *B* оптимальным углом ориентации шины можно считать углы 45° , 135° , 225° и 315° . Однако если учесть тот факт, что изолятор хорошо работает на сжатие и растяжение, то наиболее предпочтительным могут явиться углы с минимальными значениями $P_{\max \text{ изг}}$ – 90° и 270° ;

– при расположении шин в вершинах равностороннего треугольника наиболее перспективных углом ориентации шины фазы *A* является угол 0° . При угле 180° значения $P_{\max \text{ изг}}$ и σ_{\max} также имеют минимальные значения, но $P_{\max \text{ раст}}$ – достигает максимума. Для фазы *B* оптимальным углом будет являться угол в 210° , а для фазы *C* – 150° .

УДК 625.717

Система удаления наледи со взлетно-посадочных полос аэродромов

Фурсенко С.Н., Дудников И.Л., Пляц О.М.

Минский государственный высший авиационный колледж

В ряде случаев удаление наледи со взлетно-посадочных полос (ВПП) осуществляют путем ее плавления. Известна система, которая содержит расположенные в бетонном покрытии ВПП металлические трубы, заполненные антифризом, который нагревается в теплообменниках, подключенных к водогрейной котельной. Недостаток системы – сложность эксплуатации из-за сложности обнаружения и устранения протечек антифриза. Более простой является система, содержащая тепловые трубы. при этом испарительные участки труб оборудованы электронагревателями и размещены в бетонных колодцах, расположенных вдоль левого и правого краев бетонного покрытия ВПП, а конденсационные участки размещены в металлических трубах, через которые колодцы сообщены между собой. Для удаления наледи со ВПП к электросети подключают электронагреватели, при этом тепловая энергия электронагревателей идет на нагрев и превращение в пар промежуточного теплоносителя тепловых труб, который поступает в конденсационные участки тепловых труб. Из-за того, что температура металлических труб значительно ниже температуры пара промежу-

точного теплоносителя, то происходит процесс конденсации пара, при этом теплота идет на нагрев бетонного покрытия, на котором имеется наледь. При температуре покрытия ВПП 1...2°С начинается процесс удаления наледи путем ее плавления. Недостаток системы – сложность ее конструкции. Разработана более простая по конструкции и в эксплуатации система.

Система содержит электрообогреваемые кабели и шкафы управления, при этом бетонные покрытия ВПП выполнено из верхних и оборудованных пазами нижних железобетонных плит. В пазах нижних железобетонных плит в наполнителе из электроизоляционного порошка (окись алюминия) размещены отрезки электрообогреваемого кабеля, которые через шкафы управления подключены ко вторичным обмоткам силовых трансформаторов. Кабели осуществляют нагрев ВПП до температуры 1...2°С, при которой начинается процесс удаления наледи путем ее плавления.

УДК 629.7.048.3

Энергоэкономичная система кондиционирования воздуха в салоне воздушного судна

Синяков А.Л., Александров А.Н., Дудников И.Л.

Минский государственный высший авиационный колледж

Для создания микроклимата в герметичном пассажирском салоне воздушного судна применяется система, содержащая распределительные воздуховоды приточного воздуха, расположенные в салоне, глушителя шума, два регулятора давления горячего воздуха, турбохолодильник, теплообменник, распределителя горячего воздуха, перекрывной кран, и компрессор авиадвигателя. Воздух из компрессора через перекрывной кран и распределитель горячего воздуха поступает на входы первого и второго регуляторов давления. С выхода первого регулятора давления горячий воздух с температурой 250...300°С поступает на вход глушителя шума, а с выхода второго воздуха предварительно охлаждается в теплообменнике холодным наружным воздухом, а затем дополнительно охлаждается в турбохолодильнике, и поступает на вход глушителя шума, с выхода которого через обратный клапан и распределительные воздуховоды поступает в пассажирский салон. К недостатку СКВ следует отнести большие затраты тепловой энергии на создание микроклимата в пассажирском салоне воздушного судна. Большие затраты тепловой энергии обусловлены тем, что наружный воздух с температурой -50°С, подогретый в рекуперативном теплообменнике и турбохолодильнике теплотой воздуха из компрессора авиадвигателя, выбрасывается в наружную среду и не используется системой. Суммарная мощность тепловой энергии, выбрасываемая в наружную

среду. СКВ пассажирского салона на 180 пассажиров составляет 130 кВт, в то время для обеспечения нормируемой температуры в салоне воздушного судна требуется источник с тепловой мощностью в 270 кВт. Снижение затрат тепловой энергии на создание микроклимата в герметичном пассажирском салоне воздушного судна достигнуто тем, что подогретый наружный воздух в рекуперативном теплообменнике и в турбохолодильнике не выбрасывается в наружную среду, а поступает на вход компрессора авиадвигателя. В этом случае затраты тепловой энергии на создание микроклимата в салоне уменьшаются в 1,5 раза. Конструкция энергосберегающей СКВ пассажирского салона защищены патентом Республики Беларусь.

УДК 621.315

**Цифровые фильтры гармонических составляющих тока
в микропроцессорной дифференциальной защите трансформатора**

Ломан М.С.

РУП «Белэлектромонтажналадка»

Для работы дифференциальной ступени необходимо контролировать 1, 2 и 5-ю гармоники дифференциального тока. 1-я гармоника используется для расчета условий срабатывания ступени с учетом тормозной характеристики. Содержание 2-й гармоники в дифференциальном токе является критерием обнаружения броска тока намагничивания, а содержание 5-й гармоники – критерием обнаружения режима перевозбуждения железа трансформатора. В работе исследованы амплитудно-частотные и динамические характеристики цифровых фильтров ортогональных составляющих Гёрцеля – специальная реализация дискретного преобразования Фурье в форме рекурсивного фильтра.

Вычислительный эксперимент проводился на основе математической модели формирователей, включающие модели входных датчиков тока, аналоговых фильтров 2-го порядка с частотой среза 1кГц и цифровых фильтров 1, 2 и 5-й гармоник по алгоритму Гёрцеля.

Недостатком алгоритма Фурье является низкая вычислительная эффективность, т.к. алгоритм Фурье осуществляет расчет всего гармонического спектра сигнала. Алгоритм Гёрцеля позволяет вычислять только значения необходимых гармонических составляющих. Результаты вычислительного эксперимента показывают, что:

1) алгоритм Гёрцеля позволяет осуществлять фильтрацию 1, 2 и 5-й гармоник в течение 1 периода промышленной частоты, что достаточно для реализации измерительных органов релейной защиты;

2) фильтр 1-й гармоники точно настроен на частоту 50 Гц, однако в диапазоне рабочих частот (47-52 Гц) имеет погрешность до 3%. Для обес-

печения более высокой точности фильтрации целесообразно менять число выборок на период при изменении частоты сети;

3) фильтр 2-й гармоники полностью подавляет все гармоники, кроме второй, выходной сигнал частотой 100 Гц появляется на выходе без ослабления и усиления.

При фильтрации 5-й гармоники сигнал ослабляется до величины 97%, что обусловлено действием аналогового фильтра. При реализации измерительного органа РЗА ослабление 5-й гармоники должно быть учтено с помощью поправочного коэффициента.

Цифровой фильтр на основе алгоритма Гёрцеля для расчета ортогональных составляющих 1, 2 и 5-й гармоник может быть применен при реализации цифровой дифференциальной защиты трансформатора.

УДК 629.7.064.5

Электрифицированное и электронное оборудование воздушных судов

Дудников И. Л.

Минский государственный высший авиационный колледж

Современный самолет – это самый сложный аппарат, на котором применяются все самые современные технические разработки. К электрооборудованию самолетов относятся система электроснабжения и электрические агрегаты, имеющие самостоятельное назначение, электрические машины, и источники электроэнергии. Электрооборудование, устанавливаемое на самолетах, работает в гораздо более тяжелых эксплуатационных условиях, чем наземные системы аналогичного назначения. К нему предъявляются жесткие требования надежности, точности, долговечности, габаритов и веса. Наиболее энергоемкую группу приемников электроэнергии составляют электроприводы. На различных ВС установлено большое число электроприводов: на самолете Ил-86 установлено 125 электроприводов (ЭП) (25 типов), на самолете Ил-62-68 ЭП (15 типов), 106 электродвигателей и 78 электромагнитных приводов. Время их работы в полете неодинаково. Весьма широко используются электронные элементы, микропроцессоры и средства индикации. В электронной аппаратуре современных самолетов число элементов в среднем равняется 200000. Увеличилось количество элементов в аппаратуре и потребляемая мощность. Одна из авиационных систем типа E-2-A (США) содержит 260000 электронных элементов и 70000 механических деталей, а потребляемая мощность достигала 35 кВт.

Коренной пересмотр схмотехнических, конструктивно-технических и схмотехнических концепций позволил определить дальнейший прогресс в области авиационной электроники. На современных самолетах широко

используется вычислительная и микропроцессорная техника, средства отображения информации. На самолетах Ту-204, Ту-234 и вместо стрелочных указателей используются электронные дисплеи. Например, на самолете CRJ-100 функционирует 64 микропроцессора и центральная БЦВМ. Эта тенденция и в дальнейшем будет сохраняться, и электроника повсеместно расширит свое применение в авиационной технике.

УДК 621.316.925

Использование кодекса Республики Беларусь об образовании в организации учебного процесса на энергетическом факультете

Силюк С.М.

Белорусский национальный технический университет

С 1 сентября 2011 года вступил в силу Кодекс Республики Беларусь об образовании, который заложил основы стратегии инновационного развития национальной системы образования. Кодекс – свод документов об образовании, принятых в Республике. Его правовые нормы направлены на повышение качества образования на всех ступенях. В кодексе окончательно закреплены две ступени высшего образования: подготовка дипломированных специалистов и магистратура. При получении профессионального образования обязательным является заключение договора об оказании образовательных услуг, причем договоры заключают все студенты: и платные, и бюджетники. Изменено содержание магистратуры. На этой ступени обеспечивается либо углубленная подготовка специалиста (практико-ориентированная магистратура), либо формирование знаний, умений и навыков научно-исследовательской работы с присвоением степени магистра. Кодекс помог разрешить ряд проблем, возникающих у студентов в части прекращения образовательных отношений, восстановления в число студентов для продолжения обучения.

В нем четко обозначены причины, по которым прекращаются образовательные отношения, а также права лиц, отчисленных из учреждения образования, имеющих право на восстановление для получения образования. В частности, восстановление в вузе для получения образования возможно для лиц, прошедших текущую аттестацию за первое полугодие (семестр) при освоении содержания образовательных программ. Конкретное звучание получила в кодексе тема распределения выпускников, начиная от момента получения направления на работу до трудоустройства на первом рабочем месте, рассмотренная в Постановлениях Совета Министров Республики Беларусь от 22.06.2011 № 821 «О некоторых вопросах распределения, перераспределения, направления на работу выпускников, возмещения затраченных государством средств на их подготовку и целевой подго-

товки специалистов, рабочих, служащих» и от 19.07.2011 № 972 «О некоторых вопросах формирования заказа на подготовку кадров» («Положение о базовой организации учреждения образования»), которые подробно регламентируют вопросы распределения, перераспределения молодых специалистов, а также возврата денежных средств в случае неявки или не отработки. Все эти новшества успешно используются в организации учебного процесса на энергетическом факультете, начиная с 2011-2012 учебного года.

УДК 621.3

АСУ производством и сбытом электроэнергии

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Революционным направлением развития электроэнергетики Беларуси является переход на рыночные отношения при производстве, покупке и продаже электроэнергии. Важнейшим организационно-техническим инструментом формирования и управления рынка электроэнергии следует считать интегрированную АСУ производством и сбытом электроэнергии (АСУ ПСЭ), которая должна открыть возможность не только контроля процесса в реальном времени, ведение текущей документации отчетного характера но и управления развитием как ЭЭС, так и систем электроснабжения потребителей. Первыми аналогами подобных систем являются АСКУЭ, как подсистемы ОАСУ «Энергия» разрабатываемые в конце 80-х годов по заданию Минэнерго СССР.

АСКУЭ в Беларуси сегодня, утратив идеологическую стройность получила практическую реализацию почти во всех компонентах с учетом развития информационных технологий и государственной поддержки на организационно - финансовом уровне. Не хватает главного: элемента управления, изначально заложенного в АСКУЭ. Построение АСКУЭ Беларуси происходит снизу. Нет общей идеологии, осознания сложности, масштабности и сверх эффективности системы. При «доставании» действующих АСКУЭ новыми элементами для решения задач новой сложности возникнут банальные нестыковки протоколов обмена информации, несогласованность ресурсных возможностей отдельных функциональных структур, требующие переделок только что созданного.

Для трансформации разрозненных элементов АСКУЭ в АСУ ПСЭ необходимо:

- уделить должное внимание координации задач и элементов во всем их многообразии и заложить основы объединения АСКУЭ с действующей системой АСДУ;

- продолжить оснащение потребителей цифровыми измерительными приборами и системами, что позволит на уровне бытового потребления (использованию двухставочных тарифов) и на предприятиях (автоматизированные рабочие места энергетиков) перейти к активному управлению электропотреблением;

- рассматривать АСУ ПСЭ как главный инструмент управления текущим состоянием и развитием ЭЭС, а также формирования и контроля рынка электроэнергетики.

УДК 621.316.925

Исследование режимов самозапуска электродвигателей в условиях отягощения пуска короткими замыканиями на присоединенных линиях электропередачи

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

Самозапуск электродвигателей (ЭД) – это электромеханический процесс, при котором частота вращения электродвигателей (полностью или частично) уменьшается вследствие отключения их от сети или глубокого понижения напряжения на шинах питания, а при восстановлении напряжения достигает установившегося значения. Понижение напряжения на шинах питания может происходить при внешних коротких замыканиях.

Расчет режимов перерыва питания и самозапуска ЭД собственных нужд (СН) для сложной схемы электроснабжения рекомендуется выполнять с помощью ПЭВМ.

В данной работе разработана в системе динамического моделирования (СДМ) Simulink Matlab структурная схема модели системы электропитания СН 0,4 кВ для исследования режимов самозапуска ЭД методом вычислительного эксперимента. Модель позволяет исследовать режимы включения ЭД при возникновении коротких замыканий на присоединенной линии электропередачи и на зажимах ЭД, присоединенных к шинам питания через кабельную линию. При разработке структурной схемы модели системы электропитания каждый элемент схемы представлялся или отдельным блоком, или учитывался своими параметрами в обобщенных моделях структурной схемы. Так линии связи, кабельные линии электропитания представляются блоками с сосредоточенными параметрами сопротивления и индуктивности, а переходные сопротивления контактов учитываются в блоках трехфазных выключателей.

Достоинством СДМ Simulink и SimPowerSystem является то, что комбинируя их возможности можно не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких уст-

роиств. В частности имеется возможность рассчитать переходный и установившийся режимы работы системы, проанализировать устойчивость, выполнить гармонический анализ токов и напряжений.

УДК 621.311

К вопросу поиска зон оптимальной загрузки трансформатора

Гончар А.А.

Белорусский национальный технический университет

В технической литературе, связанной изучением трансформаторов, часто ставится вопрос о поиске зон их оптимальной загрузки по различным критериям (минимум потерь активной мощности, минимум удельных потерь мощности и т.д.)

Как правило, поиск таких зон связываются с максимумом КПД трансформатора по активной мощности. При этом предполагается, что максимум КПД соответствует минимуму суммарных потерь активной мощности в нем. Для подтверждения или опровержения этого предположения нами рассмотрена данная ситуация в зависимости от коэффициента загрузки трансформатора k .

Известно соотношение для определения суммарных потерь активной мощности трансформатора - $\Sigma \Delta P = \Delta P_{ст} + k^2 \Delta P_M$, где $\Delta P_{ст}$ и ΔP_M соответственно потери мощности в стали и в меди, а k - коэффициент загрузки трансформатора.

Известно также, что максимум КПД трансформатора наступает при равенстве $\Delta P_{ст}$ и ΔP_M . При этих условиях потери мощности равны удвоенным потерям в стали. Также очевидно, что минимум потерь мощности трансформатора соответствует холостому ходу, т.е. при нулевом k .

Из этого следует, что максимум КПД трансформатора не соответствует минимуму суммарных потерь мощности в нем. В связи с этим, обоснование преимущества работы трансформатора с нагрузками, близкими к максимуму КПД, требует дополнительной аргументации.

Наличие активной составляющей тока практически не позволяет использовать КПД для оценки качества преобразования электрической энергии в трансформаторе. Как показывает практика, при проведении технико-экономических расчетов, связанных с использованием трансформаторов, достаточно паспортных значений потерь мощности в стали $\Delta P_{ст}$ и потерь мощности в меди ΔP_M , указанных в каталогах силовых трансформаторов.

О комплексной записи мощности при расчетах электрических сетей электрических систем

Баро Б.

Белорусский национальный технический университет

Очень часто в литературе по теоретическим основам электротехники и по электрическим сетям и системам обозначают на комплексной плоскости действительную ось «+1» и мнимую «+j».

Это не соответствует действительности, ибо на комплексной плоскости «1» и «j» являются ортами координатных осей. «1» является действительной единицей, а «j» - мнимой единицей. Это единичные векторы и не нуждаются ни в каких-либо других знаках. Их направление соответствует положительному направлению соответствующей координатной оси.

В вышеуказанной литературе известны три способа записи комплексной мощности:

$$\dot{S} = P - jQ, (1); \quad \dot{S} = P + jQ, (2); \quad \dot{S} = P \pm jQ. (3)$$

Из них только запись (2) является правомерной, ибо соответствует определению очень важного в электротехнике понятия угла сдвига (разности) фаз между током и напряжением:

$$\varphi = \psi_U - \psi_I. \quad (4)$$

В самом деле, запись (2) можно получить из:

$$\dot{S} = \sqrt{3}\dot{U}I = \sqrt{3}Ue^{j\psi_U}Ie^{-j\psi_I} = \sqrt{3}UIe^{j(\psi_U - \psi_I)} = Se^{j\varphi}. \quad (5)$$

Что касается записи (1), то её можно получить из:

$$\dot{S} = \sqrt{3}\dot{U}I = \sqrt{3}Ue^{-j\psi_U}Ie^{j\psi_I} = \sqrt{3}UIe^{j(\psi_I - \psi_U)} = Se^{-j\varphi}. \quad (6)$$

Вот то, что надо было доказывать. Комментарии излишние.

В заключение скажем, что φ – алгебраическая (т.е. знакопеременная) величина в отличие от φ_I и φ_U , которые являются знакопостоянными. Именно поэтому нет никакой надобности в записи (1) и (3).

Классификация методических подходов поиска мест повреждения в распределительных электрических сетях

Калентионюк Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Разнообразие видов и характера повреждений, а также архитектуры и условий функционирования распределительных электрических сетей не

позволяет получить и использовать универсальный метод определения мест повреждения (ОМП). К примеру, в зависимости от режима нейтрали распределительные электрические сети разделяют на три группы:

1. Сети с незаземленными (изолированными) нейтральями.
2. Сети с резонансно-заземленными нейтральями.
3. Сети с эффективно-заземленными нейтральями.

В Республике Беларусь сети с резонансно-заземленными нейтральями – это сети с нейтральями, заземленными через дугогасящие катушки (компенсированная нейтраль), а сети с эффективно-заземленными нейтральями – сети с резистивным заземлением нейтрали.

В основу классификации методических подходов поиска мест повреждения в распределительных электрических сетях положено разделение на

- Дистанционные и топографические методы.
- С отключением и без отключения поврежденной линии.

Дистанционное ОМП, учитывая погрешность приборов, позволяет указать только зону с местом повреждения, поэтому необходимо применять еще один метод – топографический.

На воздушной линии определить место повреждения без топографических средств бывает трудно, так как иногда невозможно увидеть следы перекрытия изоляторов или следы неустойчивых повреждений.

Дистанционные методы ОМП с отключением поврежденной линии:

- Импульсные (локационные) методы.
- Метод колебательного разряда.
- По параметрам аварийного режима.
- Метод стоячих волн.
- Метод искусственно созданных переходных процессов.

Дистанционные методы ОМП без отключения поврежденной линии:

- Волновые методы.
- Методы, использующие параметры установившегося режима.
- Методы наложения токов промышленной частоты.

УДК 629.7.064.5

Повышение надежности работы систем стабилизации напряжения бесконтактных синхронных генераторов

Синяков А.Л., Дудников И.Л., Александров А.Н.

Минский государственный высший авиационный колледж

Бесконтактный синхронный генератор (БСТ) состоит из трех генераторов разной мощности: генератора переменного тока, возбудителя и подвозбудителя. Кроме того БСТ содержит два трехфазных выпрямителя; регулятор напряжения с угольным столбиком и обмоткой электромагнита.

Подвозбудитель обеспечивает питание обмотки возбуждения возбудителя через первый трехфазный выпрямитель и угольный столбик регулятора напряжения, обмотка электромагнита которого подключена через регулировочное сопротивление к выходу второго трехфазного выпрямителя, подключенного входом к выходным зажимам якорной обмотки генератора переменного тока. Возбудитель обеспечивает питание обмотки возбуждения генератора переменного тока через многофазный однополупериодный выпрямитель. Если напряжение на выходных клеммах якорной обмотки генератора переменного тока меньше номинального, то регулятор уменьшает сопротивление угольного столбика, что приводит к увеличению тока в обмотке возбуждения генератора и как следствие, к увеличению напряжения генератора. При уменьшении напряжения генератора стабилизация напряжения происходит в обратном порядке. При таком способе стабилизации напряжения генератора существует опасность выхода из строя угольного столбика из-за перегрева. Для устранения отмеченного недостатка система стабилизации напряжения БСГ снабжена дополнительной обмоткой возбуждения, которая расположена на постоянном магните ротора подвозбудителя и включена последовательно с обмоткой возбуждения генератора. В этом случае стабилизации напряжения генератора осуществляется при меньшем диапазоне изменения сопротивления угольного столбика, в результате чего повышается надежность работы угольного столбика и всей системы в целом. Конструкция системы защищена патентом Республики Беларусь.

УДК631.171

Использование α -контролеров в локальных системах управления технологическими процессами

Фурсенко С. Н.

Минский государственный высший авиационный колледж

Развитие современной микроэлектроники применительно к задачам автоматизации производственных процессов, в сравнении с предыдущей техникой (релейно-контактная аппаратура) придала техническим средствам автоматики ряд новых и важных свойств: существенно более высокая надежность; возможность выполнения разнообразных и сравнительно сложных логических и вычислительных операций (наличие постоянной и оперативной памяти дает неограниченные возможности любого преобразования сигналов); сокращается общая материалоемкость, энергоемкость, упрощается эксплуатация технических средств и обеспечивается их устойчивая работа. Производство логических модулей (α – контроллеров) началось в 1996 году. В контроллерах вместо соединения проводами алгоритм

работы устройства, технологической линии реализуются программно в виде FBD (функционально блоковых диаграмм), которые затем после разработки заносятся в память α -контроллера.

В распоряжении пользователя имеется восемь логических функций типа И, ИЛИ, НЕ и т.д., большое число типов реле, в том числе реле с задержкой включения и выключения, импульсные реле, реле с самоблокировкой, а так же такие элементы, как выключатель с часовым механизмом, тактовый генератор, календарь. часы реального времени с возможностью автоматического перехода на летнее (зимнее) время, регулирование температуры с реализацией П, ПИ и ПИД законов регулирования и др.

α – контроллеры должны быть в сейфе у каждого главного энергетика предприятия хотя бы для того, чтобы временно заменить практически любое отказавшее реле времени и сократить до минимума простой оборудования, пока идет замена.

Уже одно это оправдывает его существование и подвигнет специалистов на их детальное изучение и широкое практическое применение для модернизации реальных систем управления.

УДК 621.3

Электрическая прочность изоляции на основе оксида алюминия

Красько А.С.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе приведены результаты определения электрической прочности изоляции оксидной пленки, предназначенной для изоляции шарикоподшипников электрической машины.

Изолирующая пленка на основе оксида алюминия наносится методом плазменного напыления на наружную поверхность и боковые раны внешнего неподвижного кольца подшипника. Толщина изолирующего слоя составляет доли миллиметра (0,24 – 0,37 мм).

Напряжение пробоя определялось на переменном напряжении частотой 50 Гц для пленки, нанесенной на плоские металлические подложки, а также для пленки, нанесенной на кольцо подшипника.

Чтобы учесть возможную неоднородность напыления диэлектрика на подложку, каждый образец подвергался воздействию напряжения в пяти точках. При этом расстояния между точками приложения напряжения принимались такими, чтобы исключить перекрытие по поверхности.

При определении электрической прочности пленки, нанесенной на подшипник, пробивное напряжение определялось по центру наружного слоя и у краев. Кроме этого, определялось напряжение перекрытия по поверхности боковых граней.

Обработка результатов эксперимента проводилась методами математической статистики и теории вероятности.

Как показали результаты исследования, электрическая прочность оксида алюминия на плоских образцах в однородном поле составляет 0,01 кВ/мм, а среднеквадратичное отклонение составляет 0,31.

Электрическая прочность пленки, нанесенной на подшипник по центру наружной поверхности, такая же, как и для плоских образцов, а у краев примерно на 6 % ниже.

Что касается напряжения перекрытия по поверхности боковых граней, то оно примерно на 16 % ниже напряжения пробоя и определяется прочностью воздуха и напряженностью поля.

УДК 621.3.022

Использование программного обеспечения УНИКОН в учебном процессе

Тищечкин А.А., Сапожникова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Электрические станции» БНТУ используются микропроцессорные реле (МР) производства БЭМН типов МР-300, МР-500, МР-600, МР-700, МР-801 и микропроцессорное реле со свободно программируемой логикой МР-741. Указанные МР являются многофункциональными и реализуют функции защиты, автоматики, индикации, контроля, местного и дистанционного управления.

Программирование МР может производиться с клавиатуры на лицевой панели МР или с помощью персонального компьютера (ПК) через специальное программное обеспечение УНИКОН. Связь МР с ПК осуществляется с помощью разъема RS-232 или USB, расположенного на лицевой части модуля центрального процессора. Для правильной работы УНИКОН с ПК, необходимо настроить параметры СОМ-порта.

При настройке портов указываются:

- время, через которое посылается последующий запрос устройству);
- скорость передачи между МР и ПК;
- время ожидания ответа (для МР100, ТЦ100 не менее 2000мс) и время ожидания байта (не менее 50 мс);
- время включения передачи (временная задержка, после которой СОМ-клиент начинает передачу пакета) и выключения передачи (временная задержка после окончания передачи пакета);
- время настройки протокола, необходимые для установления связи модуля центрального процессора с ПК (четность, длина, стоп-биты).

Использование программного обеспечения УНИКОН позволяет загружать и использовать несколько МР одновременно; просматривать на экране компьютера текущее состояние, журналы аварий и системы; изменять конфигурацию МР; задавать уставки, входные и выходные сигналы, контролировать срабатывание выходных реле. Также программное обеспечение УНИКОН позволяет программировать логику защиты МР-741. Конфигурацию любого подключенного устройства можно сохранить в файл и в любой момент загрузить из файла.

Использование программного обеспечения УНИКОН позволяет упростить программирование МР производства БЭМН.

УДК 621.311

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

Калентионок Е.В., Мазурек Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность применения различных методов определения мест повреждения в электрических сетях в значительной степени зависит от установления вида повреждения. В зависимости от режима нейтрали все виды повреждений, возникающие в воздушных распределительных электрических сетях можно квалифицировать следующим образом:

- Трехфазные КЗ на землю и без земли.
- Двухфазные КЗ на землю и без земли.
- Двойные КЗ или замыкания на землю на одной или разных линиях.
- Однофазное КЗ или замыкание на землю без обрыва провода.
- Однофазное КЗ или замыкание на землю с обоих концов оборванного провода.
- Однофазное КЗ или замыкание на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны питания.
- Однофазное КЗ или замыкание на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны потребителя.
- Обрыв провода без замыкания на землю.

Для определения представительных факторов определения вида повреждения рассмотрена одна из типовых схем распределительной электрической сети длиной 13,2 км, номинальным напряжением 10 кВ, выполненной проводами марки АС35 и АС50, содержащей восемь трансформаторных подстанций. Расчет нормальных и аварийных режимов выполнен с использованием модели, созданной в программно-вычислительном комплексе Matlab. В качестве аварийных режимов рассмотрены междуфазные и однофазные КЗ и замыкания на землю и без земли. Замыкание на землю

моделировалось для различных значений переходного сопротивления в месте повреждения, которое принималось равным от 0 (металлическое замыкание) до 1000 Ом.

На основе расчетов установлено, что для определения вида КЗ достаточно информации по токам в аварийном режиме, для определения вида однофазного повреждения необходимо располагать данными по напряжениям на шинах 10 кВ питающей подстанции.

УДК 621.311

Технико-экономические расчеты при компенсации реактивной мощности

Прокопенко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Определение мощности и мест установки дополнительных компенсирующих устройств должно проводиться совместно с оптимизацией режима сети по напряжению и реактивной мощности за счет имеющихся в ней регулирующих устройств. К таким устройствам относятся автотрансформаторы (трансформаторы) связи и регулируемые источники реактивной мощности.

Для того, чтобы объединить в единый алгоритм две оптимизационные задачи, требуется сравнивать экономические эффекты от изменения режимов работы существующих регулирующих устройств и от установки дополнительных компенсирующих устройств.

Основу расчета экономических эффектов составляет задача определения снижения потерь энергии от сделанного оптимизационного шага: то ли это изменение режимов существующих регулирующих устройств, то ли – оптимальная установка дополнительных компенсирующих устройств. Учитывая, что задача компенсации реактивной мощности решается на перспективу и исходная информация ограничена только данными о характерных режимах максимальных и минимальных нагрузок для приближенного определения потерь энергии в расчетной схеме сети целесообразно воспользоваться известным методом определения потерь энергии – “времени потерь активной и реактивной мощности”, который получил развитие в ряде работ.

Использование данного метода позволяет рассчитывать эффект от установки единичной мощности компенсирующего устройства в схеме сети, от установки компенсирующих устройств в ряде узлов схемы сети, от изменения режимов работы существующих средств регулирования, а это в целом позволило построить алгоритм решения задачи таким образом, что на каждом оптимизационном шаге сравнивается экономическая эффектив-

ность изменения режимов существующих средств регулирования и оптимально установленных компенсирующих устройств, приводящих к одинаковому регулируемому эффекту, т.е. задача оптимизации режима сети за счет изменения режимов работы существующих средств регулирования и установки дополнительных компенсирующих устройств решается комплексно.

УДК 621.548.4

Об одном способе повышения КПД ветроэнергетической установки и снижения уровня электромагнитного шума

Горноста́й А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет
Институт транспорта и связи, Латвия*

Известно использование в ветроэнергетической установке (ВЭУ) преобразователя электроэнергии в виде генератора постоянного тока с первичной и вторичной обмотками на статоре и роторе и подсоединенным к ним полупроводниковым устройством [1]. Такой преобразователь позволяет обеспечивать простое самовозбуждение путем подсоединения обмотки возбуждения генератора к выходу полупроводникового устройства, работающего в режиме выпрямителя. Обмотка статора выполнена многофазной, а главное – якорь выполнен с двумя обмотками. Полупроводниковый выпрямитель, являясь нелинейным устройством, и особенно наличие дополнительной второй обмотки якоря, существенно искажают форму кривой тока в обмотках генератора, создавая при этом дополнительные потери и значительный электромагнитный шум.

Предлагается конструкция преобразователя электроэнергии, в котором первичная обмотка генератора выполнена в виде одной многофазной, например, девятифазной цепи, расположенной на статоре и соединенной в многоугольник, подключенный своими вершинами к полупроводниковому устройству, выполненному с возможностью работать сначала в режиме инвертора регулируемой частоты, а затем в режиме выпрямителя, при этом вторичная обмотка имеет возможность первоначально включаться на резистор, а затем на выход выпрямителя [2].

Таким образом, использование преобразователя электроэнергии предлагаемой конструкции в ВЭУ повышает коэффициент полезного действия и снижает уровень электромагнитного шума установки.

1. Ветроустановка / Патент Латв. Республики LV-5078 / Виноградов Р.И. и др. – Оpubл. 28.12.1992.

2. Электромеханический преобразователь энергии / Патент 8391 Респ. Беларусь, МПК F 03 D 7/00, 2012 / Горноста́й А.В. и др., зарег-н 03.04.2012.

Теплоэнергетика

УДК 681.513.8

Использование феномена золотого сечения для оптимизации параметров динамической настройки САР теплоэнергетических объектов

Кулаков Г.Т., Корзун М.Л., Капацевич В.В.
Белорусский национальный технический университет

Максимальное распространение в области автоматизации теплоэнергетических процессов получили двухконтурные САР.

Для оптимизации внутренних возмущений в таких системах используется метод частичной компенсации (МЧК), основанный на использовании соответствующих коэффициентов Вышнеградского, а для оптимальной отработки внешних возмущений - один из методов полной компенсации в частном или общем виде.

Обычно динамика опережающего участка двухконтурных САР описывается передаточной функцией инерционного звена второго порядка. Если на целое принять сумму большей и меньшей постоянной времени этой передаточной функции, то можно улучшить качество отработки внутренних возмущений (уменьшение максимальной динамической ошибки регулирования до 20 %) по методу МЧК, уточнив коэффициенты Вышнеградского на основе ряда чисел золотого сечения.

Использование феномена золотого сечения при выборе оптимальной структуры корректирующего устройства (за целое принимается величина запаздывания по каналу регулирующего воздействия) позволяет повысить быстродействие САР при отработке задающего сигнала в 3 – 4 раза по сравнению с традиционными методами оптимизации, а также уменьшить линейный интервальный критерий качества при отработке крайнего внешнего возмущения до двух раз.

УДК 681.513.8

Методика оптимизации САР для объектов с динамической моделью n -го порядка при одинаковых постоянных времени

Кулаков Г.Т., Басалай Д.В., Салей А.А.
Белорусский национальный технический университет

Динамика инерционного участка многих теплоэнергетических объектов регулирования, например пароперегревателей, описывается передаточной функцией инерционного звена n -й степени с одинаковыми постоянными времени. Для таких объектов регулирования разработана универсальная номограмма, позволяющая по экспериментальным или

расчетным характеристикам пароперегревателя либо исходной передаточной функции объекта найти численные значения параметров передаточной функции инерционного участка пароперегревателя в виде последовательного соединения n -звеньев с одинаковыми постоянными времени. Для этой передаточной функции инерционного участка пароперегревателя и передаточной функции опережающего участка объекта регулирования в виде инерционного звена первого или второго порядка предложена методика оптимизации систем автоматического регулирования, позволяющая существенного улучшить качество регулирования по сравнению с типовой двухконтурной САР с дифференцированием промежуточного сигнала / 1 /.

В основу структурно-параметрической оптимизации САР положена передаточная функция оптимального регулятора, куда входит инверсная передаточная функция объекта и заданная передаточная функция САР при отработке задающего сигнала на основе предложенной современной теории автоматического управления. Вначале находится отношение заданной передаточной функции системы по задающему воздействию к передаточной функции объекта регулирования. При этом порядок передаточной функции числителя равен соответствующему порядку знаменателя. Полученная таким образом передаточная функция отношения умножается на инверсную передаточную функцию разности между единицей и оптимальной передаточной функцией системы по задающему воздействию

Литература

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: Учеб. /И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.

УДК 620.9:662.638

Сжигание фрезерного торфа в котлах

Жихар Г.И., Купреев Е.И., Забурдаев В.В.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее распространенным топочным устройством для сжигания фрезерного торфа является топка с шахтно-мельничной установкой.

На тепловых электростанциях Белглавэнерго ранее широко использовался фрезерный торф.

На фрезерном торфе работали такие крупные электростанции как Светлогорская ГРЭС, Бобруйская ТЭЦ, Жодинская ТЭЦ, БелГРЭС, Витебская ТЭЦ и др.

На Светлогорской ГРЭС на фрезерном торфе работали котлы ПК-14-2 производительностью 220 т/ч с давлением 100 кг-с/см² и температурой

перегретого пара 540°C. Для совершенства горелочных устройств по предложению МЭИ в амбразурах топок котлов были установлены одноструйные горелки с повышенной устойчивостью зажигания. После реконструкции были проведены испытания при нагрузке котла 107-242 т/ч. Опыты проводились при сжигании торфа: $W_r=38-42\%$, $A_r=7,3-9\%$, $Q_i=2300-2500$ ккал/кг, $\alpha_T=1,22\div 1,28$.

В диапазоне нагрузок котла $D_k=110\div 240$ т/ч. КПД котла брутто изменялся в пределах 87,93÷89,67 %.

На Жодинской ТЭЦ на фрезерном торфе работал котел ПК-20, оборудованный горелками для сжигания фрезерного торфа в плоских параллельных струях. Паропроизводительность котла 120 т/ч при давлении пара 111 кг·с/см² и температуре перегрева пара 510°C. Испытания проводились при сжигании фрезторфа с $W_r=47,1-49,35\%$ при нагрузке котла 116-120 т/ч. В пределах данной нагрузки КПД котла брутто изменялся с 89,1 до 87,9 %.

На Минской ТЭЦ-2 работал котел производительностью 90 т/ч. На котле установлены пылегазовые горелки МЭИ с тонкими струями. Максимальный КПД равный 94-95 % соответствует $\alpha_T=1,05$ при $D_k=60-90$ т/ч.

Приведенные примеры указывают на то, что в Белорусской энергосистеме был накоплен большой опыт по эффективному сжиганию фрезерного торфа, который целесообразно использовать в настоящее время.

УДК 621.181

Определение коррозионной активности продуктов сгорания при сжигании мазута в котлах

Карницкий Н.Б., Замара С.М.

Белорусский национальный технический университет

Основным коррозионным агентом в котлах, сжигающих серосодержащее топливо (мазут, фрезерный торф, гидролизный лигнин), является серный ангидрид SO₂. На генерацию SO₂ оказывают влияние такие факторы, как коэффициент избытка воздуха, нагрузка котла, рециркуляция дымовых газов, компоновка котла и др. Наличие отложений на поверхностях нагрева, в зависимости от их состояния, может как препятствовать так и способствовать протеканию коррозии.

Количество образующегося SO₂ есть функция серосодержания топлива, коэффициента избытка воздуха и температуры факела; перенос образовавшейся серной кислоты, конденсирующейся на поверхности отложений и диффундирующий сквозь их слой к металлу главным образом зависит от

температуры поверхности металла, концентрации кислоты и типа воздухоподогревателя.

Датчики коррозионного зонда предложено изготавливать из цинка, поскольку в золе топлив он не обнаружен. Следовательно, оседающая за время опыта зола не вносит дополнительной погрешности и, кроме того, реакционная способность цинка намного выше реакционности железа, что существенно повышает чувствительность определения. К достоинствам метода следует отнести простоту оснащения и малую затрату времени для получения конечных результатов.

Показатель КАПС определяется массой металла, прореагировавшего с пленкой серной кислоты, образующейся на поверхности датчика с заданной температурой в течение определенного времени выдержки его в потоке продуктов сгорания:

$$\text{СКАПС} = 1,225 \cdot \Delta G_{\text{Zn}} / (S \cdot \tau), \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}),$$

где 1,225 – коэффициент пересчета массы цинка в эквивалентное количество SO_3 .

ΔG_{Zn} – убыль массы цинкового датчика, мг.

Расчетная абсолютная погрешность определения КАПС – $\pm 0,08 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

УДК 621.311

Особенности работы энергосистемы Республики Беларусь в условиях ввода АЭС

Карницкий Н.Б., Матвеев Е.А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в связи с ростом потребления электроэнергии в Белорусской энергосистеме и снижением экспортных возможностей соседних энергосистем остро встал вопрос обеспечения баланса мощностей в часы максимальных нагрузок, особенно при сокращении импорта электроэнергии.

Одним из направлений развития энергетической отрасли является введение в эксплуатацию атомной электростанции. При расчетах капиталовложений в строительство АЭС топливные издержки принимаются единовременными, а ввиду длительного срока службы топливных элементов впоследствии себестоимость электроэнергии получается относительно ниже, чем на традиционных тепловых электростанциях. Однако при расчетах эффективности и экономичности работы АЭС необходимо принимать во внимание большое количество факторов работы электростанции совместно с энергосистемой в целом. В первую очередь необходимо учиты-

вать график нагрузок. Как известно, АЭС работает в номинальном режиме с отклонениями от мощности в пределах 5%, а потребление электроэнергии отнюдь не постоянно. Для сохранения баланса мощности в энергосистеме необходимо иметь резервные энергогенерирующие мощности для покрытия пиковых нагрузок, а также продумать компенсацию провалов в графике потребления. Для обеспечения оптимальной надежности энергоснабжения потребителей в случае непрогнозируемого роста электропотребления или аварийного отключения наиболее крупной генерирующей единицы (на сегодняшний день это 300–320 МВт) на электростанциях постоянно имеется резерв мощности. При этом необходимо принять во внимание, что мощность одного блока проектируемой атомной электростанции составит 1200 МВт. Наиболее важное требование к этому резерву – возможность его использования за время не более 15 минут. В связи с отсутствием в энергосистеме высокоманевренного оборудования, способного в течение 15 минут из отключенного состояния набрать нагрузку, резерв мощности находится на включенном оборудовании – так называемый горячий резерв мощности. Кроме того идет тенденция вводить в энергосистему маневренные блоки, способные вступать в работу в течение коротких промежутков времени.

УДК 621.311

Перспективный анализ поврежденных паровых турбин

Пантелей Н.В., Карницкий Н.Б.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время все больше внимания уделяется прогнозированию надежности работы турбоагрегатов и блоков тепловых электростанций, анализу аварийного резерва мощности в энергосистеме. Это связано с тем, что большая часть оборудования электростанций морально устарело и отработало свой проектный ресурс. Достигли предельной наработки все блоки Лукомльской ГРЭС и значительная часть оборудования Могилевской, Жобруйской, Гродненской, Мозырской и Новополоцкой ТЭС. В настоящее время, надежность становится категорией экономической и оказывает влияние на экономичность работы, как отдельных структурных частей ГЭС, так и ТЭС в целом.

Общее количество нарушений в надежности турбинного оборудования за последние 20 лет существенно снизилось. Так, в 1992 году количество отказов оборудования по различным причинам составляло 241 случай, а в 2010 году – 75 случаев. Снижение общего количества нарушений объясняется во многом снижением количества работающих турбоагрегатов из-за

снижения выработки электроэнергии. Например, среднегодовое количество работающих агрегатов незначительно, но уменьшается (в 1994 году – 33,84%, а в 1995 году – 31,6%).

Нарушения в работе турбинного оборудования наиболее часто происходят по следующим причинам:

- нарушения в работе системы регулирования (36%);
- нарушения в работе системы парораспределения (36%);
- нарушения в работе вспомогательного оборудования (18%);
- прочие виды нарушений (10%).

Увеличение числа отказов на системах регулирования и парораспределения турбоагрегатов позволяет сделать вывод о снижении технологической дисциплины при эксплуатации, в период проведения ремонтных работ, при наладке. Это объясняется нехваткой квалифицированных специалистов по регулированию турбин. Этими же причинами можно объяснить рост числа нарушений в работе оборудования по вине персонала. Так по вине персонала количество нарушений было в 2008 году – 7 случаев, а в 2010 году – 12.

УДК 621.181

Проблемы применения перспективных ВХР барабанных котлов на ТЭС Республики Беларусь

Карницкий Н.Б., Чиж В.А., Нерезько А.В.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Белорусской энергосистеме преобладают котельные установки барабанного типа. Основным водно-химическим режимом (ВХР) которых является гидразинно-амиачный, а котловая вода корректируется фосфатами с подщелачиванием гидроксидом натрия. Мировой опыт эксплуатации барабанных котлов показал, что при жесткости питательной воды менее 0,2 мг-экв /дм³ и солесодержанием менее 35 мг/дм³ возможности фосфатирования, как методов коррекции котловой воды, исчерпываются.

Энергосистемы США, Англии, Германии, Японии, Австралии и других стран успешно эксплуатируют котлы с естественной циркуляцией на бескоррекционных водных режимах с дозированием и без дозирования в котловую воду гидроксида натрия, а также внедрены нейтрально-окислительные водные режимы (НОВР).

В 60-х годах прошлого столетия в Беларуси проводились промышленные испытания по применению безфосфатных водных режимов, однако их

внедрению на наших котлах препятствуют такие специфические особенности эксплуатации как:

- в котлах широко используется высококалорийное жидкое топливо, вызывающее существенное увеличение теплового потока и большее корректирование примесей котловой воды;
- котлы, как правило, имеют ступени испарения, что способствует концентрированию примесей во второй ступени;
- в пароводяных трактах барабанных котлов отсутствует блочные обессоливающие установки (БОУ);
- в связи с широким использованием систем теплоснабжения тепловая схема содержит сетевые подогреватели, которые являются потенциальным источником загрязнения питательной.

При переходе на безкорректирующий воднохимический режим необходимо учитывать конструкцию котла, особенности тепловой схемы, качество исходной воды, контроль гидравлической плотности конденсатора и сетевых подогревателей, по возможности добавить в тепловые схемы БОУ.

УДК 621.311.1

Опыт создания базы данных по надежности ТМО ТЭС

Буров А.Л., Карницкий Н.Б., Веремейчик Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Несмотря на определенные экономические трудности, в настоящее время значительное внимание уделяется дальнейшему развитию электроэнергетической отрасли Республики Беларусь.

Вводятся в строй новые электроэнергетические мощности на органическом топливе, начато строительство первой Белорусской АЭС. При этом должного внимания требует то оборудование ТЭС, которое исчерпало свой парковый ресурс. В энергосистеме Беларуси их доля составляет порядка 55% при установленной мощности $N_{уст}=8525$ МВт. Поддержание работоспособности такого оборудования требует не только капиталовложений, но прежде всего информационного обеспечения о состоянии отдельных узлов, агрегатов, определяющих надежную работу паровых котлов и турбин в целом. Не следует забывать, что это оборудование в стратегической перспективе (после ввода АЭС) перейдет в утяжеленный режим работы, связанный с перераспределением сегмента графика электрических нагрузок, т.е. переход из базовой части графика в полупиковую и пиковую.

На кафедре «Тепловые электрические станции» БНТУ разработана информационная система по формированию базы данных надежности оборудования ТЭС. Она включает только базовые электростанции, но может

быть расширена при необходимости до требуемых масштабов. На наш взгляд, актуальным представляется примененный системный подход к оценке технического состояния, уровня эксплуатации, аварийности оборудования ТЭС с целью принятия решений по повышению (сохранению) его надежности на основе созданной информационной системы (ИС), а в рамках ГПО «Белэнерго» с ее использованием может быть создана корпоративная информационная система (КИС).

Прежде всего, для разработки ИС требуется стартовая информация по анализируемой системе. В частности, информация по основным техническим данным паровых котлов и турбин ТЭС с указанием даты их ввода в эксплуатацию, конкретное количество пуско-остановов, число часов работы, времянахождения в ремонте и в резерве на данный момент.

При формировании данных предусмотрена система структуры базовых ТЭС с учетом их пополнения новыми энергоисточниками (свободные блоки).

УДК 697.34

Последовательность расчета тепловых сетей с учетом надежности

Тарасевич Л.А., Савко Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Расчет показателей системы теплоснабжения с учетом фактора надежности должен производиться для каждого потребителя во всех эксплуатационных режимах.

Проектирование новых тепловых сетей рекомендуется начинать с построения исходного пьезометра для каждого конкретного теплопровода от источника тепла до каждого конечного абонента. Для обычных двухтрубных тепловых сетей с одинаковыми диаметрами подающих и обратных теплопроводов первичный исходный пьезометр представляет собой симметричный график с равной потерей давления в подающих и обратных теплопроводах тепловых сетей. Анализ исходного пьезометра обеспечивает возможность предварительного выбора диаметров и выполнения первичной трассировки радиальных не резервированных тупиковых теплопроводов от источника тепла до конечных абонентов.

Затем строятся остальные графики давлений:

- расчетный – по расчетным расходам сетевой воды;
- зимний – при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из обратного трубопровода;
- переходный – при максимальном отборе воды на горячее водоснабжение из подающего трубопровода;

- летний – при максимальной нагрузке горячего водоснабжения в отопительный период;
- статический – при отсутствии циркуляции в тепловой сети;
- аварийные.

По показателю безотказности при проектировании тепловых сетей следует определять:

- по тепловым сетям: допустимость проектирования радиальных тепло-трасс; предельно допустимую длину не резервированных участков теплопроводов; достаточность диаметров новых или реконструируемых теплопроводов; необходимость применения надземной или тоннельной прокладки; достаточность запаса прочности теплопроводов надземной прокладки;
- по потребителям тепла: необходимость проведения работ по дополнительному утеплению зданий; способы резервирования теплоснабжения;
- по источнику тепла: достаточность установленной тепловой мощности.

УДК 697.34

Однотрубный транспорт тепловой энергии

Тарасевич Л.А., Савко Е.С.

Белорусский национальный технический университет

С развитием источников теплоснабжения затраты на строительство транзитных тепловых сетей будут возрастать. В связи с этим совершенствование системы транспорта тепловой энергии, в частности транзитного транспорта, приобретает большое народнохозяйственное значение. Одним из путей совершенствования является переход на однотрубные системы теплоснабжения.

При размещении аккумуляторов горячей воды в районах непосредственного теплопотребления становится возможным уменьшение диаметров обратных трубопроводов на участке между источником тепловой энергии и узлом подключения баков-аккумуляторов, а при большой доле тепловой нагрузки создаются предпосылки для отказа от прокладки обратных трубопроводов. Обязательным условием применения однотрубных систем является сбалансирование расхода сетевой воды на покрытие нагрузок отопительно-вентиляционных и горячего водоснабжения, исключающее потери теплоты и воды со сбросом. Это условие ограничивает зону применения однотрубных систем и делает необходимым сочетание однотрубных транзитных магистралей с двухтрубными тепловыми сетями в районах непосредственного теплопотребления при размещении аккумуляторов на границе между однотрубными и двухтрубными тепловыми сетями.

Применение однострунных систем теплоснабжения может быть оправдано только при такой протяженности, при которой экономия затрат по тепловым сетям полностью компенсирует соответствующие потери на теплоисточниках. Строительство однострунной тепломагистрали в сравнении с двухтрунными тепловыми сетями каких-либо дополнительных трудностей не создает. Отказ от второй трубы и уменьшение диаметра прокладываемой сокращают объем работ, не изменяя характер строительства. Однострунный транспорт упрощает схему теплофикационной установки ТЭЦ и перевод районных котельных на совместную работу, благодаря образованию прямоточной системы при уменьшении диаметра и общей протяженности прокладываемых трубопроводов и количества устанавливаемых насосов, арматуры и авторегуляторов. В отличие от двухтрунной, однострунная тепломагистраль работает весь отопительный период, что повышает требования к качеству строительно-монтажных работ и уровню эксплуатации.

УДК [621.311.22+621.311.25](0.75.8)

Анализ существующих подходов к оценке остаточного ресурса оборудования ТЭС

Головчук Е.А., Герасимова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

В отечественной энергетике старение оборудования значительно опережает темпы перевооружения. Указанная проблема усугубляется отсутствием научно-обоснованной концепции технической диагностики и определения ресурса и недостаточной эффективностью традиционных методов и средств неразрушающего контроля металла.

Проведен анализ существующих подходов к оценке остаточного ресурса стареющего оборудования, сложившихся в настоящее время, и выделены основные тенденции их развития.

Во-первых, переход от вероятностных методов оценки ресурса к оценке индивидуального ресурса стареющего оборудования на основе комплексного подхода. Во-вторых, переход от дефектоскопии к методам технической диагностики, основанным на сочетании механики разрушений, металловедения и неразрушающего контроля (НК) - методам НК напряженно-деформированного состояния (НДС). И третье, осознана необходимость 100% обследования стареющего оборудования с целью определения потенциально опасных зон.

Классический комплексный подход, сочетающий результаты разрушающего и неразрушающего контроля с поверочными расчетами на проч-

ность имеет ряд недостатков. В основном недостатки связаны с физической основой традиционных методов неразрушающего контроля (ультразвуковая диагностика, магнитографический метод, рентген).

«Пассивные» методы диагностики НДС – метод акустической эмиссии, метод магнитной памяти металлов, тепловой контроль - могут оценить фактическое НДС конструкции и являются наиболее пригодными для практики.

Преимущества использования этих методов нашли отражение в новом российском стандарте ГОСТ Р 53006-2008 «Основы оценки ресурса потенциально опасных объектов на основе экспресс методов. Общие требования». При реализации стандарта представляется возможным в большинстве случаев без выполнения сложных поверочных расчетов на прочность, и отличии от классического подхода, делать экспертную оценку ресурса на основе комплексного обследования оборудования и назначать срок безопасной эксплуатации.

УДК 621.165-22

Анализ технического состояния высоконапряженных элементов паровых турбин

Криксина Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Состояние элементов проточной части, и в частности, лопаток паровых турбин зависят от целого ряда факторов. Это и конструктивные факторы, включающие химический состав металлов, пределы текучести, микроструктуру материалов, и технологические, отвечающие за качество изготовления и монтажа. Большое влияние оказывают условия эксплуатации: качество свежего пара, совершенство системы консервации, режимы работы оборудования. Основные возможные повреждения лопаток ЦВД и ЦСД:

- механические повреждения;
- отрыв рабочих ;
- излом рабочих лопаток;
- коррозионные повреждения;
- абразивная эрозия;
- усталостные повреждения;
- стояночная коррозия проточной части турбины;
- ползучесть;

Опыт эксплуатации турбоустановок показывает, что повреждения лопаточного аппарата остаются наиболее частой причиной вынужденного

простота основного оборудования. Анализ повреждаемости элементов цилиндров высокого и среднего давления показывает, что наибольшее внимание следует уделять вопросам повышения надежности рабочих лопаток и дисков, эксплуатирующихся в ЗФП, а также способам усиления защиты рабочих лопаток от эрозийного износа.

Для надежной эксплуатации проточной части паровой турбины и лопаточного аппарата в частности, необходим комплексный подход с учетом всех влияющих на работу лопаток факторов.

Изучение условий работы и возможных повреждений лопаток паровых турбин цилиндров высокого и среднего давлений необходимо для осуществления их грамотной эксплуатации, монтажа и ремонта, а так же разработки эффективных методик, которые способствуют улучшению качества их работы, увеличению надежности, прочности и износостойкости, продлению срока службы.

УДК 621.438+621.311

Применение электродкотлов на ТЭЦ для регулирования графиков электрической нагрузки

Качан С.А., Барановский И.Н., Апанасевич В.Е.
Белорусский национальный технический университет

В условиях ввода в Белорусской энергосистеме АЭС, когда для действующих электростанций значительно сократится зона базовой электрической нагрузки, ТЭЦ в большой степени будут вовлечены в регулирование суточных графиков нагрузок, включая всю переменную их часть.

Применение электродкотлов на ТЭЦ обеспечит эффективное использование теплофикационных турбоустановок в маневренном режиме, поскольку при использовании электроэнергии для нагрева сетевой воды, достигается максимальное снижение выдачи мощности в энергосистему $\Delta P_{рег}$ в ночные часы (вплоть до нуля). При этом фактическое снижение мощности установок ниже теплового графика $\Delta N_{тф}$ меньше $\Delta P_{рег}$ на величину потребления электроэнергии электродкотлами $\Delta N_{эк}$.

Необходимая мощность электродкотлов $\Delta N_{эк}$, будет тем выше, чем больше задаваемая энергосистемой глубина разгрузки $\Delta P_{рег}$ и чем ниже удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении $W_{тф}$ на разгружаемой теплофикационной турбоустановки.

Поскольку $W_{тф}$ паротурбинных установок (ПТУ) примерно в 2 раза ниже, чем парогазовых установок (ПГУ) утилизационного типа, для одинакового снижения выдачи электроэнергии $\Delta P_{рег}$ требуется снижение на-

грузки отопительных отборов и, соответственно, мощность электродеталей для ПТУ почти в 2 раза большая, чем для ПГУ.

Доля $\Delta N_{\text{эк}}$ от $\Delta P_{\text{рег}}$ составляет $\sim 1/3$ для ПГУ и $\sim 2/3$ – для ПТУ.

Поэтому фактическая глубина разгрузки установок, работающих по тепловому графику, по электрической мощности $\Delta N_{\text{тф}}$, наоборот, составляет $\sim 1/3 \Delta P_{\text{рег}}$ для ПТУ и $\sim 2/3 \Delta P_{\text{рег}}$ – для ПГУ.

В сравнении с разгрузкой отопительных отборов на топливоиспользующие котлы применение электродеталей на ТЭЦ приводит к некоторому (менее 0,5%) перерасходу топлива, поскольку работа электродеталей связана с «двойной» трансформацией энергии и сопровождается дополнительными ее потерями.

Наибольшая величина перерасхода топлива соответствует применению электродеталей на ПГУ в связи с более глубокой их разгрузкой ($\Delta N_{\text{тф}} \sim 2/3 \Delta P_{\text{рег}}$) и более резким снижением их экономичности при разгрузке.

Тем не менее, этот перерасход топлива может рассматриваться как приемлемая плата за повышение маневренности.

УДК 621.1

Перспективы использования ветроэнергетики

Качан С.А., Лушик И.М.

Белорусский национальный технический университет

Дефицит собственных ископаемых топливных ресурсов и необходимость повышения энергетической безопасности Беларуси требуют изменения подходов к обеспечению республики топливно-энергетическими ресурсами. Ветроэнергетика представляет экологически безопасный и эффективный, достаточно мощный и доступный источник энергии.

Беларусь располагает значительными ресурсами энергии ветра, которые оцениваются в 1600 МВт годовой выработкой электроэнергии 2,4 млрд. кВт·ч. На территории нашей страны выявлено около 1840 площадок, пригодных для размещения ветроэнергетических установок (ВЭУ) и ветропарков. Наиболее перспективными районами для развития ветроэнергетики являются северо-восточные и центральные районы.

Внедрению ВЭУ должно предшествовать детальное обследование мест строительства. Обследования зон опытной эксплуатации ВЭУ в Беларуси показали, что при оптимальном выборе площадки (на возвышениях и открытой местности, на берегах водных массивов и т.п.) окупаемость ВЭУ при среднегодовой скорости ветра 6-8 м/с укладывается в срок около 5 лет. К неоправданному увеличению сроков окупаемости ветротехники ведут ошибки в определении ее эксплуатационных параметров.

Для обеспечения общественных электросетей предпочтительно освоение ВЭУ высокой мощности от 1 до 2,5 МВт и выше, сгруппированных в ветроэлектрические станции (ВЭС). Экономическая выгода объясняется общей для всех ветроустановок трансформаторной подстанцией, единой системой управления, контроля, технического обслуживания и ремонта.

С ростом мощности ВЭУ удельные капиталовложения снижаются. Примерная стоимость серийной ВЭУ мощностью 6 кВт составляет 7,2 тыс., 60 кВт – 60 тыс., 500 кВт – 450 тыс., 1500 кВт – 1200 тыс. USD. Снижению удельной стоимости ВЭУ будет способствовать также активное участие белорусских предприятий в изготовлении отдельных компонентов.

Как показывает зарубежный опыт, основная выработка электроэнергии ВЭУ приходится на дневное время суток и холодное время года, т.е. ВЭУ являются пиковыми источниками энергии, хотя и неуправляемыми.

Специальные меры по резервированию ВЭУ не требуются, т.к. их доля в выработке энергии не превысит 10% и, поскольку ВЭУ будут устанавливаться в нескольких областях, вероятность одновременной остановки всех ВЭУ во всех областях (и даже в пределах одной области) близка к нулю.

УДК 621.311.22.078

Состояние, проблемы и перспективы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Ковалев В.А.

Автоматизация производственных процессов является одним из наиболее эффективных направлений технического прогресса. Тепловая энергетика занимает ведущее место среди других отраслей промышленности по уровню автоматизации. Современный энергетический блок – сложный комплекс согласованно действующих агрегатов и механизмов.

Управление теплоэнергетическими процессами энергоблоков, работающих в широком диапазоне изменения нагрузок, во многом предопределяет экономичность, надежность, долговечность и безопасность работы энергетического оборудования. Вместе с тем износ основных производственных фондов в белорусской энергосистеме в настоящее время составляет 53%.

Это обуславливает актуальность проблемы существенного улучшения качества регулирования технологических параметров теплоэнергетических процессов энергоблоков /1/.

Для решения поставленной проблемы предлагается использовать аналитический метод структурно-параметрической оптимизации систем автоматического регулирования (САР). Метод структурно-параметрической

оптимизации основан на передаточной функции оптимального регулирующего устройства как последовательного соединения инверсной передаточной функции объекта регулирования любого вида и сложности и заданной передаточной функции разомкнутой системы, в которую входит оптимальная передаточная функция замкнутой САР по задающему воздействию.

При этом структура передаточной функции последней должна соответствовать структуре передаточной функции объекта регулирования, а численное значение ее постоянной времени определяют из ряда чисел золотого сечения, принимая за целое время запаздывания по каналу регулирующего воздействия или интегральную постоянную времени передаточной функции объекта регулирования.

Литература

1. Кулаков, Г.Т. Теоретико-методические основы инновационно-прорывных технологий автоматизации энергоблоков / Г.Т. Кулаков, А.Г. Кулаков: Материалы МНПК «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении»/ред. кол.: Хрусталеv Б.М (гл. ред.) и др. (Минск, 11 апреля 2012 года). - Мн.: Бизнессофтсет, 2012, с. 24-25.

УДК 681.513.8

Модернизированная система автоматического регулирования температуры перегретого пара за котлом

Кулаков Г.Т., Мелаек Д.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Типовая двухконтурная система автоматического регулирования (САР) температуры перегретого пара за котлом (система с дифференцированием промежуточного сигнала) не позволяет существенно улучшить качество регулирования.

Предлагается инвариантная САР, построенная на базе каскадной системы автоматического регулирования. При этом внутренние возмущения отрабатываются внутренним контуром стабилизирующего регулятора, параметры динамической настройки которого рассчитывают по методу по методу полной компенсации / 1 /. Структура и динамическая настройка корректирующего регулирующего устройства выбирается с учетом динамики внутреннего контура стабилизирующего регулятора и передаточной функции инерционного участка пароперегревателя на базе передаточной функции оптимального регулятора с обоснованием заданной структуры

разомкнутой САР и использованием феномена золотого сечения при выборе численных значений критерия оптимальности.

Дополнительно измеряется наиболее опасное крайнее внешнее возмущение. Выход датчика по нагрузке подается на вход дополнительного устройства компенсации внешнего возмущения, выход которого подключается ко входу корректирующего регулирующего устройства.

Инвариантная система обеспечивает оптимальную обработку крайнего внешнего возмущения со временем регулирования, меньшим двух запаздываний по каналу регулирующего воздействия. При этом с уменьшением численного значения заданий постоянной времени в критерии оптимальности, выбираемого с учетом феномена золотого сечения качество регулирования улучшается. Вместе с тем это достигается увеличением максимальной величины регулирующего воздействия.

Литература

1. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: Учеб. / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.

УДК 621.5

Технико-экономическое сравнение централизованных систем хладоснабжения применительно к условиям Республики Ирак

Седнин А.В., Хоссене Назар Н. Кадум
Белорусский национальный технический университет

В современном обществе все больше возрастает потребность в охлаждении воздуха в теплое время года. Для деловых зданий, магазинов процесс кондиционирования необходим в жаркий период года, для больниц и медицинских учреждений охлаждение актуально в течение всего времени. В последнее время во многих жилых районах в различных странах были построены системы централизованного хладоснабжения бытовых потребителей. Этот вопрос особенно актуален для стран с жарким климатом, к которым безусловно относится Республика Ирак. Вместо индивидуальных кондиционеров, устанавливаемых в каждой комнате, проектируются централизованные холодильные установки с сетями для подачи хладоносителя. На сегодняшний день в системах централизованного хладоснабжения в качестве хладоносителя рассматривают только воду. Подача холодной воды потребителям, происходит по аналогичной системам теплоснабжения схеме. Отличие состоит в том, что разница температур между прямой и обратной водой гораздо меньше, чем для систем теплоснабжения и составляет порядка 3-8 °С. Меньшая расчетная разница температур ведет к

большим значениям диаметрам трубопроводов, что увеличивает капитальные затраты на организацию транспорта хладоносителя.

В системах централизованного хладоснабжения применяются как парокompрессионные (ПКХМ) так и абсорбционные (АБХМ) холодильные машины. Для привода компрессоров холодильных машин используются электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, газовые и паровые турбины. Выбор типа привода зависит от величины капитальных затрат, эксплуатационных затрат, доступности топлива и электричества, и критериев надежности.

Для климатических условий Республики Ирак, было проведено технико-экономическое сравнение централизованных систем хладоснабжения с использованием как парокompрессионных, так и абсорбционных холодильных машин, результаты которого показали, что выбор оптимального варианта зависит от стоимости топлива, величины удельных капитальных затрат и эффективности производства электроэнергии в энергосистеме.

УДК 621.165

Анализ фактических теплогидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения

Седнин А.В., Ильин П.А.

Белорусский национальный технический университет

Система централизованного теплоснабжения г. Минска была спроектирована на работу по качественному способу регулирования отпуска тепловой энергии. Такое регулирование при постоянных расходах циркулирующей в системе воды обеспечивает устойчивость гидравлического режима при переменных тепловых нагрузках, что является основным его достоинством.

Недостаток применяемого метода распределения тепловой энергии по многочисленным тепловым пунктам особенно проявляется в периоды резких похолоданий, когда потребители не получают ее необходимого количества из-за того, что температура воды, подаваемой от теплоисточника, оказывается значительно ниже требуемой по графику регулирования. Минские тепловые сети работают по температурному графику 120/70 °С с температурой срезки 105 °С. Одним из основных факторов пониженного температурного графика является изношенное состояние оборудования теплосетей.

Снижение температуры прямой сетевой воды при одновременном увеличении ее расхода изменяет условия теплообмена в теплоиспользующих

установках и приводит к повышению температуры обратной сетевой воды, что снижает энергетический эффект при теплоснабжении от ТЭЦ.

С внедрением средств автоматического регулирования возникли проблемы, связанные с колебаниями значений расхода сетевой воды на источниках теплоснабжения в течение суток. Наиболее явно данные колебания проявляются в летний период, когда тепловая нагрузка источника определяется только нагрузкой ГВС и в течение суток изменяется в широком диапазоне.

Таким образом, источники теплоснабжения, изначально спроектированные для работы по качественному способу регулирования тепловой нагрузки, вынуждены работать при количественно-качественном режиме. Данный режим отличен от расчетного, что обуславливает снижение экономичности работы оборудования теплоисточников и надежности теплоснабжения. Поэтому необходима оптимизация не только температурного графика, но и режима работы действующей системы теплоснабжения в целом, включая источник, тепловые сети, теплоиспользующие установки.

УДК 621.311

Выбор вариантов реконструкции теплоисточников при условии строительства АЭС в Республике Беларусь

Седнин А.В., Ковалев Р.С.

Белорусский национальный технический университет

Как известно, Белорусская АЭС (проект типа АЭС-2006) будет состоять из 2 энергоблоков, а её установленная мощность составит 2400 МВт. Ввод АЭС (первого энергоблока – в 2018 г., полное завершение работ – в 2020 г.) непосредственно скажется на изменении базисной части электрогенерации и потребует ограничение ввода электрических мощностей за счёт развития паротурбинных (ПТ) и парогазовых (ПГ) технологий на ТЭС Республики Беларусь. Также предполагается, что вырабатываемая АЭС электроэнергия будет использоваться для внутреннего потребления.

Фактически, в настоящее время, КЭС и крупные ТЭЦ являются полупиковыми электростанциями, а вышеперечисленные обстоятельства позволяют говорить и о дальнейшей их эксплуатации в таком режиме. Следовательно, с учётом строительства АЭС, реконструкцию существующих КЭС и ТЭЦ целесообразно проводить путём замены отработавшего свой ресурс оборудования аналогичным (без увеличения электрической мощности и начальных параметров пара). Для промышленно-отопительных ТЭЦ с пониженной технологической нагрузкой возможны варианты: замена

турбин агрегатами меньшей мощности, либо изменение их типа (перевод турбин типа "ПТ" в "Т" или "Р").

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

Благодаря избыточности электроэнергии, при реконструкции (строительство новых) действующих источников теплоснабжения, необходимо рассматривать варианты для выработки тепловой энергии на базе электродкотлов большой мощности и теплонасосных станций. Применение данного оборудования позволит искусственно увеличить потребление электроэнергии в энергосистеме и создать благоприятные условия для работы АЭС. Стоит отметить, что в настоящее время планируется реализация проекта установки электродкотлов на Гомельской ТЭЦ-2, что при условии его реализации позволит получить практический опыт их использования, к моменту выхода АЭС на проектную нагрузку.

УДК 620.97

Энергоснабжение теплотехнологической линии производства ячеистого бетона автоклавного твердения

Левков К.Л., Сверчков С.А., Карпова Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Энергоемкость теплотехнологических производств отечественной продукции в 2 – 2,5 раза выше среднеевропейского уровня. Это свидетельствует о неудовлетворительном использовании первичной энергии, и как следствие, ее перерасходу. Возможно реальное сокращение энергетических затрат в промышленности до 50 % за счет проведения мероприятий по энергосбережению и энергетически-эффективному использованию первичных энергоресурсов.

Стоит заметить, что теплотехнологическое предприятие с энергетической точки зрения является идеальным в том случае, если оно не потребляет электроэнергии со стороны. Поэтому для обеспечения эффективного использования топливно-энергетических ресурсов в рамках существующей теплотехнологии требуется вводить комбинированную выработку тепловой и электрической энергии (когенерация).

Дополнительным источником электрической энергии могут быть, образующиеся в большом количестве, тепловые отходы автоклавной обработки. Для их преобразования в электроэнергию необходимо применение

утилизационных установок, внедрение которых связано с определенными трудностями. В первую очередь существует крайняя неравномерность количества образующихся тепловых отходов. Это обусловлено технологическими графиками работы отдельно взятого автоклава и последовательностью проведения циклов тепловлажностной обработки в группе автоклавов (от 6 до 8шт).

Таким образом, для повышения энергоэффективности теплотехнологической линии производства ячеистого бетона автоклавного необходим комплексный подход и требуется оптимизация:

- в системе энергоснабжения предприятия (ввод комбинированной выработки электрической и тепловой энергии);
- в системе утилизации тепловых отходов;
- технологических графиков предприятия (ввод аккумулирующих мощностей).

Вышеперечисленные мероприятия по оптимизации позволят существенно повысить энергетическую эффективность использования первичных и вторичных энергоресурсов и, как следствие, повысить рентабельность предприятий, производящих ячеистый бетон.

УДК 620.97

Способы утилизации тепловых отходов при промышленном производстве силикатных изделий

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

Белорусский национальный технический университет

Теплотехнологический процесс автоклавной обработки, при производстве силикатных изделий, обладает существенным количеством тепловых отходов в виде сбросного пара и конденсата. В этой связи возникает необходимость рационального использования тепловых отходов предприятий в самом технологическом процессе (регенеративное теплоиспользование) или как вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). Наиболее простым во многих случаях может быть утилизационное теплоиспользование. Этот термин подразумевает использование тепловых отходов не в технологических нуждах, а на стороне, например для создания микроклимата помещений или нагрева питательной воды.

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

Основной принцип экономии энергии заключается в многократном ее использовании. Это значит, что теплоносители с высоким температурным потенциалом следует использовать в следующем порядке:

- 1) для получения работы (выработка электрической или механической энергии);
- 2) для технологических нужд;
- 3) для создания микроклимата.

Для экономии топливно-энергетических ресурсов необходимо проводить тепловую регенерацию в цикле и утилизировать тепловые отходы производства. При производстве силикатных изделий возможны следующие основные способы утилизации тепловых отходов:

- получение низкопотенциальной тепловой энергии в виде горячей воды на технологические и хозяйственно-бытовые нужды;
- выработка электрической энергии с применением утилизационных турбинных установок, работающих по замкнутому циклу на низкокипящих теплоносителях (бутан, пентан, хладоны и т.д.).

Первый способ является наименее затратным, однако обладает низкой энергоэффективностью. Второй способ позволяет вырабатывать электроэнергию, которая может быть использована на собственные нужды производства и поэтому выглядит предпочтительнее.

УДК 621.1

Численный метод расчета затвердевания расплавов

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Исследование процессов течения и теплообмена в жидких движущихся расплавах представляет как теоретический интерес, заключающийся в математическом описании сложных взаимосвязанных процессов тепломассо-переноса, так и практический интерес, состоящий в создании научных основ новых технологий энергетики, металлургии и машиностроения, использующих эффекты движущихся расплавов. К таким технологиям относятся: непрерывные и центробежные способы литья, методы получения корпусных заготовок под низким и регулируемым давлением, методы литья выжиманием, а также использование жидкометаллических теплоносителей и реологических жидкостей в энергетике и других отраслях народного хозяйства.

Разработана математическая модель формирования тонкостенных литых изделий сложной конфигурации в металлической форме, где особое значение имеет начальная стадия заполнения с одновременным затверде-

ванием металла в процессе течения в полости литейной формы. Анализ этих факторов необходим при рассмотрении условий формирования тонкостенных корпусных заготовок, время затвердевания которых соизмеримо со временем заполнения формы.

Численным методом проведен расчет затвердевания и охлаждения движущегося расплава в полости цилиндрической формы заданной геометрии. Расчеты выполнены для двумерной модели с учетом переменной вязкости металла как функции температуры $\dot{\Gamma} = f(T)$ во всей области течения. В качестве искоемых (зависимых) параметров выбраны составляющие скорости u и V (в продольном и поперечном направлениях), давление в потоке P , функции тока $\dot{\Gamma}$, температуры T в потоке, затвердевшей корке металла, форме.

Численное решение задачи получено конечно-разностным методом. Для нахождения дискретного аналога системы дифференциальных уравнений переноса и краевых условий используется нерегулярная (растягивающаяся) сетка со сгущением узлов вблизи контактных границ. Для расчета составляющих скорости применяется шахматная сетка с расположением переменных по схеме «бумеранг». Контур, имеющий форму бумеранга, охватывает триаду узловых точек, в которых хранится информация о давлении, температуре и других переменных.

УДК 534.2

Организация стабильного потока смеси воздуха и дисперсного твердого топлива при сжигании в установленных теплогенераторах

Ярмольчик Ю. П., Белаш Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В условиях повышения цен на нефтепродукты и природный газ интерес к использованию твердого топлива как к основному альтернативному энергоносителю возрастает. В результате вопрос о развитии новых энергоэффективных технологий сжигания мелкодисперсных твердых топлив (измельченных углей, торфа, бытовых и промышленных горючих отходов, сланцев и т.п.) является актуальным.

Однако использование подобных видов топлива сопровождается необходимостью решения задачи организации стабильного и экологичного горения в топках уже существующих теплогенераторов.

Целью исследования является организация энергоэффективного и стабильного сжигания мелкодисперсного твердого топлива в установленных энергогенерирующих агрегатах. В работе дается анализ современного со-

стояния белорусской энергетики и подчеркивается актуальность проблемы замещения проектных топлив. Обосновывается выбранная методика проведения исследований, рассмотрены основные тенденции, связанные с замещением проектных топлив. Представлен обзор проведенных исследований, связанных с проблемой перехода на непроектное топливо, как на основе экспериментального подхода, так и на основе применения пакетов прикладных программ. При замещении базового топлива требуется изменить конструкцию топки и условия эксплуатации оборудования, применить принципиально новое горелочное устройство, что приводит к значительным материальным затратам, привлечения большого числа специалистов, вывода теплогенерирующего агрегата из эксплуатации на длительный срок, но при этом гарантировать надежную и эффективную работу агрегата после реконструкции невозможно.

Проведение вычислительных экспериментов позволяет значительно снизить затраты и повысить эффективность разработки по сравнению с экспериментальными исследованиями. Для построения адекватной математической модели аэродинамики дымовых газов, процессов горения и теплообмена в топках используется метод Эйлера-Лагранжа для описания движения газа и взвешенных частиц. Численными методами определены режимные параметры при изменении дисперсности и плотности топлива, скорости потока топливовоздушной смеси и вторичного воздуха, подаваемого на горение, а также конфигурация и геометрические характеристики оптимального пламени.

УДК 621.1

Процессы теплообмена в расплавах

Есьман Р.И., Криштофик А.В.

Белорусский национальный технический университет

Исследованы теплофизические и гидродинамические особенности течения жидких металлов и сплавов в каналах цилиндрического сечения. Решена сопряженная задача гидродинамики и теплообмена при движении расплавов.

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

Анализ процессов теплопереноса при течении жидких металлов и сплавов проведен с учетом зависимости эффективной вязкости от температуры во всей области течения.

Из анализа результатов математического моделирования и численного эксперимента выявлен физический механизм течения жидких металлов и сплавов с изменяющейся вязкостью в каналах цилиндрического сечения. Исследование полученных картин линий тока позволяет определить зоны вихревого циркуляционного течения в кольцевых цилиндрических каналах, что открывает возможности прогнозирования расположения дефектных зон в изделиях, получаемых специальными технологиями литья (жидкой штамповкой, методами выжимания и непрерывного литья и др.).

Результаты математического моделирования и численного эксперимента позволяют определить основные управляющие параметры специальных технологий литья.

Результаты проведенного анализа закономерностей движения расплавленных металлов и сплавов в каналах сложной геометрии представляют в совокупности научную основу для разработки специальных технологий формирования тонкостенных корпусных литых изделий (технологии непрерывного литья, жидкой штамповки, литья под низким и регулируемым давлением и др.).

УДК 621.1

К вопросу качественного сжигания лигнина в динамических потоках

Ярмольчик Ю. П., Айдарова З.Б.

Белорусский национальный технический университет

Вопросы энергетической безопасности для Республики Беларусь, вследствие низкой обеспеченности собственными энергоносителями, являются важнейшими компонентами национальной энергетической стратегии. Наиболее оптимальный способ решения этой проблемы – эффективное использование собственных альтернативных видов топлива. Одним из них является технический лигнин. Лигнин – вторая после целлюлозы основная часть древесины (от 19 до 28 % в зависимости от породы). Лигнин представляет собой сложную смесь, состоящую из лигнина растительной клетки, непрогидролизованной целлюлозы (полисахаридов), веществ лигноуминового комплекса с включением смол, не отмытых после гидролиза моносахаридов, минеральных и органических кислот, редуцирующих веществ, зольных элементов, а также влаги (до 70%). Зольность кислого лигнина находится в пределах 6-25% и зависит от условий и сроков его хранения в отвалах.

Цель исследования – определение основных организационных и технических мероприятий, позволяющих использовать лигнин для целей энергоресурсосбережения.

По физическим свойствам лигнин близок к торфу. Вследствие повышенного содержания углерода (59-67%), незначительного содержания карбоксильных групп энергетическая ценность гидролизных лигнинов по выходу летучих горючих компонентов значительно выше, чем у древесины. Содержание летучих веществ в горючей массе лигнина составляет 65-68%. Содержание горючих веществ в гидролизных лигнинах составляет 58-75%. Выделяясь при нагреве лигнина, они способствуют ускорению воспламенения части топлива и его выгоранию. Таким образом, можно рассматривать диспергированный технический лигнин в качестве топлива, способного стабильно гореть и в динамическом потоке.

В настоящее время к внедрению рекомендованы технологические разработки, позволяющие получать и сжигать только брикетированную лигнопродукцию. Однако технический лигнин представлен частицами размером от нескольких сантиметров до 1 мкм и менее. Поэтому процессы брикетирования представляются более энергоемкими, чем подготовка лигнина к сжиганию в горелочных устройствах для дисперсных топлив. Кроме того, сжигание в динамических потоках значительно более эффективно, а пневмотранспорт в камеру сгорания требует меньших капитальных и эксплуатационных затрат, чем механические транспортеры.

УДК 621.1

Методология конструирования горелочных устройств для организации сжигания многофазных топлив в турбулентных потоках

Ярмольчик М. А., Матусевич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Объемы поставок альтернативного дисперсного твердого топлива могут быть ограничены сезонностью и другими факторами. По этим причинам промышленность заинтересована в развитии технологий и разработке эффективных технических устройств для комбинированного сжигания различных видов альтернативного топлива, позволяющих придерживаться высоких требований к современным технологическим процессам – с одной стороны, и к возрастающим экологическим стандартам – с другой.

Цель исследования – выбор оптимальной принципиальной схемы и методики конструирования основных узлов и механизмов горелочных устройств в зависимости от физических, химических и геометрических характеристик проектного топлива и конфигурации камер сгорания.

В результате численных и натурных испытаний определено, что каналы подачи топлива целесообразно располагать внутри осевых и тангенциаль-

ных каналов подачи воздуха и вокруг стабилизатора (при использовании газообразного топлива) или в центре стабилизатора (при использовании жидкого и альтернативного дисперсного твердого топлива). Такая схема обеспечивает: образование рециклических завихрений у корня факела пламени, которые обеспечивают его стабильность даже в холодной топке; управление формой факела пламени; насыщение факела пламени топливом (за счет аэродинамического захвата); создание в центральной части факела пламени условий, способствующих значительному сокращению образования окисей азота. Для подачи первичного воздуха наиболее эффективным представляется использование двух независимых каналов с регулировкой сечения выходного отверстия.

Для случая турбулентных диффузионных факелов пламени процесс сгорания комбинированного многофазного топлива определяется структурой потока и условиями смешения различных видов топлива и распределенных потоков окислителя. Соотношение подводимого на горение воздуха по осевому и тангенциальному каналам определяет форму факела пламени, его размеры и интенсивность процессов, что позволяет эффективно оптимизировать технологические параметры.

Организация двух независимых потоков воздуха (осевого и тангенциального) представляется наиболее оптимальной при комбинированном сжигании различных видов органического топлива.

УДК 534.2

Модернизация эксплуатируемых водогрейных котлов серий ПТВМ и КВГМ

Гламаздин П.М., Гламаздин Д. П.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Ярмольчик Ю.П., Ярмольчик Н. М.

Белорусский национальный технический университет

Одним из самых неэффективных потребителей топлива в Республике Беларусь являются системы централизованного теплоснабжения. Неэффективными являются и отопительные котельные, входящие в их состав и, как правило, укомплектованные водотрубными котлами серий ПТВМ и КВГМ. При том, что конструктивно эти котлы очень сильно отличаются, у них есть и общие недостатки. Общими недостатками являются использование не отвечающих сегодняшним требованиям горелок, особенно в возможностях точного регулирования соотношения «топливо/дуговой воздух» при переменных нагрузках, и несовершенные системы автоматизации. Конструкция котлов обеих серий не предполагает наличия газо-

плотной топки и, соответственно, они оснащены тяжелой обмуровкой, которая требует постоянного ухода и ремонта во избежание увеличения присосов холодного воздуха. При частых остановках и пусках котлов увеличивается опасность нарушения герметичности обмуровки и, следовательно, потребность в ремонтах. Конструктивно котлы серии КВГМ отличаются меньшим количеством горелок и наличием принудительной тяги. Котлы этой серии мощностью 10, 20 и 30 Гкал/час оснащаются одной горелкой, при мощности 50 Гкал/час - двумя, при 100 Гкал/час - тремя и при 180 Гкал/час - шестью горелками. Для котлов серии ПТВМ характерно большее число горелок: от шести горелок при мощности 30 Гкал/час и до 20 горелок при мощности 200 Гкал/час. Очевидно, чем больше горелок, тем сложнее автоматизировать их работу, тем сложнее системы топливоподачи. Отсюда и отличие в подходах к модернизации котлов. Для серии КВГМ количество горелок можно и не изменять. В котлах серии ПТВМ горелки располагаются поровну на двух противоположных экранах приблизительно на одной высоте, что приводит к образованию в топке зоны повышенной температуры и соответственно к ухудшению температурного режима экранных труб в районе амбразур горелок, что влечет за собой их частый выход из строя. Простая замена горелок на более совершенные этот недостаток не устранил. Уменьшение числа горелок и их более удачное геометрическое расположение в процессе модернизации способно устранить указанный недостаток.

УДК 620.9.002.68

Определение предельного эффективного радиуса теплоснабжения от биогазовых энергетических комплексов

Прокопеня И.Н., Шкловчик Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Биогаз, получаемый в результате анаэробного сбраживания осадка сточных вод на биогазовых энергетических комплексах (БЭК) городских очистных сооружениях, обычно используется для производства электрической и тепловой энергии. Вырабатываемая энергия частично расходуется для обеспечения технологического процесса анаэробного сбраживания исходного сырья и покрытия нагрузок собственных нужд предприятия. При обосновании выбора энергетических установок БЭК важно учитывать существенный дисбаланс в выработке и потреблении электрической и тепловой энергии, существующий на очистных предприятиях городских подканалов в разрезе сезонов года. При выборе когенерационных установок следует учитывать, что в неотапительный период эти установки будут

вынуждены работать по «конденсационному» циклу, сбрасывая избыточную теплоту через градирни в окружающую среду, что значительно снижает эффективность работы БЭК. Одно из направлений решения данной проблемы, которое было проанализировано в работе – организации отпуска теплоты сторонним потребителям (развитие существующих тепловых сетей предприятия с подключением ближайших теплопотребителей или прокладка новой теплотрассы, соединяющей теплоисточник с ближайшим городским теплоисточником).

Целью работы является определение экономически целесообразного радиуса теплоснабжения от теплоисточников биоэнергетических комплексов.

На основе численного анализа установлено влияние ряда факторов (типа энергоустановки биогазового комплекса, стоимости замещающего вида топлива, тарифов на электрическую и тепловую энергию) на величину предельного радиуса (дальности) теплоснабжения, осуществляемого от биогазового энергетического комплекса городских очистных сооружений.

Разработаны рекомендации по определению экономически обоснованного предельного радиуса (дальности) теплоснабжения, которые могут быть использованы для выбора основного энергетического оборудования на стадии обоснования инвестирования строительства биогазовых энергетических комплексов, также при разработке перспективных планов развития систем теплоснабжения городов и населенных пунктов.

УДК 620.9.001.12/.18

Комбинированная энергетическая установка на биомассе

Седнин В.А., Кушнер Д.Л., Левшеня А.И.
Белорусский национальный технический университет

Среди современных технологий комбинированного производства электрической и тепловой энергии из биомассы в диапазоне малых единичных мощностей установок (до 5 МВт) можно выделить следующие:

паросиловые циклы на водяном паре средних и низких параметров;

паросиловые циклы с применением низкотемпературных рабочих тел (органических жидкостей), так называемые циклы ОРЦ;

циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинные циклы на газогенераторном газе, получаемом в процессах термической конверсии (газификации) топлива;

циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинные циклы с

использованием биогаза, получаемого путём сбраживания органических отходов;

газотурбинные циклы с прямым сжиганием твёрдого топлива в камере сгорания газовой турбины;

газотурбинные циклы с внешним сжиганием топлива;

установки на основе цикла Стирлинга.

Прямое сжигание генераторного газа в газовых турбинах осуществить достаточно трудно ввиду высокого абразивного износа частей турбины и необходимости сжигания топлива под давлением. В качестве альтернативного решения используют внешнее сжигание.

В настоящее время при использовании твёрдой биомассы (древесных отходов, фрезерного топлива, соломы и пр.) наибольший интерес представляют технологии ОРЦ с применением прямого сжигания биомассы в котлоагрегатах с промежуточным теплоносителем (термомасляным контуром).

На наш взгляд, внимания заслуживают комбинированные установки, сочетающие в себе несколько технологий. Например, комбинация газотурбинного агрегата с внешним сжиганием топлива и паросилового цикла на низкокипящем (органическом) рабочем теле (ОРЦ).

УДК 536.3

Экспериментальная оценка теплоотдачи в ограниченном пространстве при работе вихревого теплогенератора в системе теплоснабжения

Несенчук А.П., Качар И.Л., Бегляк В.В., Матрунич А. Ю.
Белорусский национальный технический университет

В качестве современного источника теплоснабжения может быть использован вихревой теплогенератор (ВТГ) или вихревой насос (ВН). В таких устройствах происходит двойное преобразование формы движения материи (энергия электрического тока – механическая форма движения материи – тепловая форма движения материи).

Анализ эксплуатационных возможностей вихревых теплогенераторов, выполненный в работах докт. техн. наук, проф. А. А. Халатова чл.-корр. НАН Украины позволяет сделать выводы, что ВТГ обладает:

- компактностью и исключительной простотой устройства;
- взрыво- и пожаробезопасностью;
- возможностью работы с использованием неподготовленных жидкостей (технической водой);
- автономностью работы в автоматическом режиме.

Установка, реализующая теплоснабжение с использованием вихревого теплогенератора, имеющаяся на каф. «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», использует вихревой теплогенератор марки ВТГ-2,2.

Все эксперименты для изучения теплоотдачи от отопительных приборов в условиях свободной конвекции и конвекции в ограниченном пространстве выполнялись с использованием мягких отопительных приборов.

Эксперимент (трехфакторный анализ) выполнялся в соответствии со специально разработанным планом эксперимента при установившемся тепловом режиме.

Опыты выполнялись в десяти точках и были связаны с измерением температур теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей, а также температуры в ограниченном пространстве.

Для изучения теплоотдачи в ограниченном пространстве также необходимо учесть свободное положение отопительного прибора. Исходя из этого, были произведены серии опытов, в которых изменялся угол φ между теплоотдающей поверхностью отопительного прибора и вертикалью (при $\varphi = 0$ – вертикальное расположение; при $\varphi = 90^\circ$ – горизонтальное): $\varphi = 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$.

УДК 62.50:620.4

Алгоритм решения задачи оптимизации структуры и состава системы централизованного теплоснабжения (СЦТ)

Седнин В.А., Шкляр И.В., Карпова Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

Задача модернизации существующих СЦТ является актуальной в современных условиях. Особенно сложной проблемой она является для крупных городов с плотной застройкой и разветвленной системой тепловых сетей. К тому же строительство административных, гражданско-социальных и жилых зданий в центре городов ещё больше увеличивает плотность застройки и тем самым приводит к возрастанию тепловых нагрузок. Ввиду того, что одновременно происходит и модернизация самих тепловых сетей и теплоисточников, представляет определенный интерес эффективное решение задачи оптимизации структуры и состава СЦТ.

В сетевой постановке, если $\{x_{ij}\}$ и $\{y_{ij}\}$ обозначают дуговые потоки и увеличение пропускной способности дуг $(i, j) \in U$ соответственно, задача может быть сформулирована следующим образом: минимизировать суммарные затраты $(\sum_{(i,j) \in U} c_{ij} y_{ij} + \sum_{i \in S} c_i v_i)$ на модернизацию сети, при условиях:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i \in N(\bar{k})} x_{i\bar{k}} - \sum_{j \in N(\bar{k})} x_{\bar{k}j} &= 0, \quad k \in S \cup T, \\ \sum_{i \in N(s_i)} x_{is_i} - \sum_{j \in N(s_i)} x_{s_ij} &= -v_{s_i}, \quad s_i \in S \setminus S, \\ \sum_{i \in N(t_i)} x_{it_i} - \sum_{j \in N(t_i)} x_{t_ij} &= v_{t_i}, \quad t_i \in T \setminus T, \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i \in N(s_i)} x_{is_i} - \sum_{j \in N(s_i)} x_{s_ij} &= -v_{s_i} - \Delta v_{s_i}, \quad s_i \in S, \\ \sum_{i \in N(t_i)} x_{it_i} - \sum_{j \in N(t_i)} x_{t_ij} &= v_{t_i} + \Delta v_{t_i}, \quad t_i \in T. \end{aligned} \right\} (2)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq \alpha_{ij} + y_{ij}, \quad (i, j) \in U. \quad (3)$$

Здесь: величина потока v_s , из каждого источника $s \in S$ и v_t – в каждый сток $t \in T$ сети $G(V, U)$; Δv_{t_i} , $t_i \in T$ – требуемое увеличение тепловой нагрузки потребителя t_i ; Δv_{s_i} , $s_i \in S$ – планируемая величина увеличения мощности теплоисточника s_i ; c_{ij} и c_i – затраты связанные с увеличением пропускной способности дуги $(i, j) \in U$ и мощности источника i ; v_i – величина потока из источника i ; y_{ij} – приращение пропускной способности дуги $(i, j) \in U$, а α_{ij} – её пропускная способность.

В результате работы представлены алгоритмы, позволяющие эффективно решать задачи по выбору варианта модернизации топологически сложных систем централизованного теплоснабжения при их развитии в результате увеличения тепловых нагрузок.

УДК 536.2:532/533: 674.047

Большие деформации в коллоидных капиллярно-пористых материалах

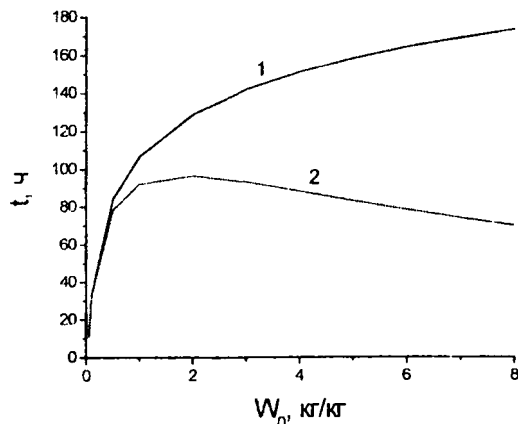
Сычевский В.А., Ковалев С.С.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что размеры коллоидных капиллярно-пористых тел сокращаются в процессе сушки, причем усадка может иметь значительную величину.

Неравномерное уменьшение размеров материала при сушке приводит к развитию напряжений в нем, что в свою очередь является причиной его разрушения. В коллоидных капиллярно-пористых материалах реализуются большие деформации. Так относительные деформации некоторых материалов составляют: для ржи, кожи, древесины и угля – 15%, для глины – 30%, для макарон – 45%, а для торфа – 120%.

Исследование напряженно-деформированного состояния материалов в процессе сушки с использованием численных методов расчета показало, что необходимо применять формулы больших деформаций.



1 – малые деформации, 2 – большие деформации

 Время окончания процесса сушки
 для разных начальных влажностей тел

Так, на рисунке представлено принципиальное различие в расчетных данных, полученных на основе выражений для малых и больших деформаций.

Используя этот факт, выведена формула расчета напряжений на поверхности при сушке образца в виде пластины

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{E}{1-\nu} \left[\left(1 + \frac{2}{3} \frac{\beta_p (W_n - W_s)}{1 + \beta_p \left[W_n + \frac{2}{3} (W_n - W_s) \right]} \right)^2 - 1 \right]$$

Предложенная формула применялась для экспериментального определения растягивающих напряжений на поверхности образцов. Эксперименты показали, что по перепаду влажностности в материале можно судить о напряженно-деформированном состоянии древесины. Визуальные наблюдения за трещинами коррелируют с соотношениями между растягивающим напряжением и прочностью на поверхности материала. Лучше всего экспериментальные результаты согласуются с расчетами для толстых образцов и образцов, имеющих однородную структуру.

Энергетическое строительство

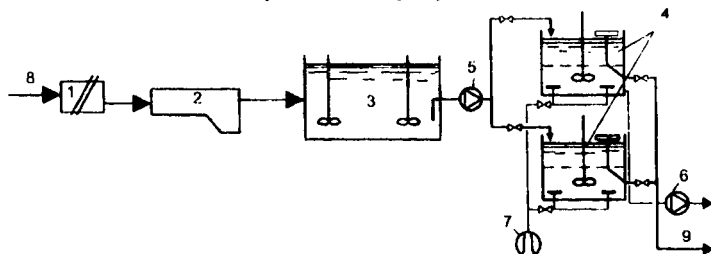
Биологическая очистка сточных вод в SBR-реакторах

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

Белорусский национальный технический университет

SBR-реакторы (sequencing batch reactor) – сооружения последовательного действия, в которых сточные воды проходят все циклы очистки в одном емкостном сооружении путем чередования условий в нем – аэрация, перемешивание, отстаивание, декантация очищенных сточных вод и откачка избыточного активного ила. После завершения одного цикла возможно начало следующего цикла или реактор может находиться в режиме ожидания, что делает процесс очистки весьма гибким, особенно в при большой неравномерности притока.

При биологической очистке сточных вод с использованием реакторов последовательного действия предусматривается предварительная очистка сточных вод от механических примесей на решетках и песколовках. Необходимость первичного отстаивания при очистке на реакторах последовательного действия устанавливается оценкой качественного состава очищаемых сточных вод с учетом цели обработки. Количество параллельно работающих реакторов и необходимость включения в состав очистных сооружений приемных резервуаров-накопителей для сточных вод перед биологической очисткой и резервуаров накопителей для очищенной воды определяется в зависимости от неравномерности поступления сточных вод на очистку и условий отведения очищенных сточных вод. Пример схемы компоновки очистных сооружений с использованием реакторов последовательного действия приведен на рисунке.



1 – решетка, 2 - песколовка, 3 – приемный резервуар-накопитель для сточных вод перед очисткой, 4 - реактор последовательного действия, 5 – насос для подачи сточной вод в реактор, 6 – насос для отведения избыточного активного ила, 7 - воздуходувка, 8 – подача исходной сточной воды, 9 - отведение очищенной сточной воды

Схема возможной компоновки очистных сооружений с реакторами последовательного действия

Определение отметки оси насоса при транспортировке рассолов предприятий калийной отрасли

Шейко А.М.

Белорусский национальный технический университет

Для обеспечения безкавитационной работы насосного агрегата необходимо выполнить расчет по определению отметки оси насоса. Отметка оси насоса определяется путем нахождения геометрической высоты всасывания Z , отложенной от минимального уровня рассолов:

$$Z = (h_{\text{атм}} - \Delta h - h_{\text{п.ж}}) / \rho_p - h_{\text{ис2-2}} \frac{\rho_p}{\rho_w},$$

где $h_{\text{атм}}$ - атмосферное давление, выраженное в метрах водяного столба. Δh - допустимый кавитационный запас (NPSHr), который приводится в характеристике насоса в зависимости от его подачи, $h_{\text{п.ж}}$ - давление паров жидкости, ρ_p - плотность рассола, ρ_w - плотность воды, $h_{\text{ис2-2}}$ - потери напора от входа во всасывающий водовод до сечения 2-2 (Рис. 1).

Многолетний опыт эксплуатации насосных станций для транспортировки рассолов в хвостовых хозяйствах рудоуправлений ОАО «Беларуськалий» показал, что применение на всасывающей линии рассолопровода обратных клапанов приводит к их преждевременному выходу их из строя в связи с образованием на них отложений. Поэтому наиболее простым в эксплуатации и по конструкции является применение вакуумных баков, устанавливаемых перед насосом (рис 1). Объем бака не зависит от типа и производительности насоса, а только от параметров всасывающей линии и давления в баке. Для минимизации поступления в насос воздуха возможно установка в баке диафрагмы, образующей успокоительный отсек, где происходит гашения избыточной кинетической энергии и локализация пузырьков воздуха.

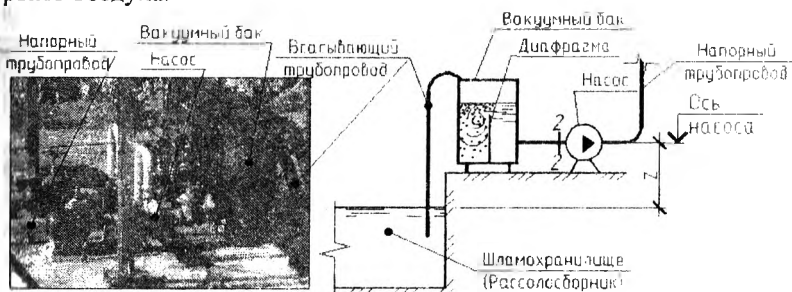


Рис. 1. Схема работы насоса с вакуумным баком

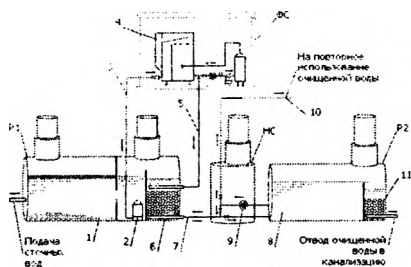
Локальные сооружения для очистки нефтесодержащих сточных вод транспортных предприятий

Кравцов А.М., Шахрай Д.С.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Ранее были представлены новые подходы для решения проблемы совершенствования сооружений для очистки нефтесодержащих сточных вод [1]. В частности предложены технология и компактные сооружения, размещаемые в стандартном мобильном контейнере.

Вторым альтернативным компоновочным решением может быть подземное размещение части оборудования. Для этого могут использоваться цилиндрические пластиковые емкости. В соответствии предлагаемой схемой



отстойник-нефтеловушка 1 и скорый зернистый фильтр 6 комбинируются в одной подземной емкости P1, а резервуар очищенной воды 8 и сорбционный фильтр тонкой очистки 11 – в другой подземной емкости P2. Флотационная станция ФС, включающая кроме флотатора 4 вспомогательное оборудование, имеет наземное расположение.

Преимущества предлагаемой схемы следующие:

1. Экономия полезных площадей предприятия за счет размещения значительной части оборудования под землей в пластиковых емкостях.
2. Модульность комплектования оборудования, что позволяет оптимизировать размещение оборудования и открывает возможность использования существующих сооружений при их реконструкции.
3. Возможность временного прекращения работы флотационной станции и насосного оборудования, например, в случае поступления на сооружения слабозагрязненных сточных вод. В этом случае вода, переливаясь через разделительную перегородку в резервуаре P1, сразу поступает на очистку в скорый фильтр 6, и далее самотеком по трубопроводу 7 отводится в резервуар очищенной воды P2.

1. Кравцов, А.М. Мобильная станция для очистки нефтесодержащих сточных вод / А.М. Кравцов, Д.С. Шахрай // Наука – образованию, производству, экономике : Материалы Девятой международной научно-технической конференции. В 4 томах. Т. 2 / редкол Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск : БНТУ, 2011. – С. 144.

Использование современных средств вычислительной техники и программирования при создании приложений для гидравлического расчета водопроводных сетей

Трус Г.В., Ранавирасингхе Ш.Л.

Белорусский национальный технический университет

Высокая капиталоемкость систем водоснабжения и водоотведения, необходимость учета многоотраслевого характера водопотребления предприятиями различной административной подчиненности вызывает необходимость многовариантных технико-экономических проработок проектных решений, с целью отыскания оптимальных режимов работы водопроводно-канализационных систем. Решение указанных задач практически неосуществимо без использования современной вычислительной техники.

Основная цель данной работы – формирование и составление алгоритмов решения конкретных инженерных задач в области водоснабжения и водоотведения, используя эффективные численные методы решения задач на основе применения современных средств вычислительной техники.

Программа расчета EPANET-2 предназначена для выполнения гидравлических расчетов водопроводных сетей. Предполагается, что режим движения воды в трубах является установившимся, а отбор воды осуществляется в узлах сети. Программа расчета учитывает изменение уровня воды в резервуаре чистой воды и водонапорной башне, изменение режима водопотребления по часам суток, обеспечивает возможность оценки качества воды в трубах сети.

EPANET 2 – это компьютерная программа, которая осуществляет моделирование гидравлического режима и качества воды за длительный период в напорной трубопроводной сети. Сеть состоит из труб, узлов (соединений труб), насосов, задвижек и резервуаров воды. Программа спроектирована как исследовательский инструмент с целью улучшения понимания состояния и движения питьевой воды в распределительной системе, может быть использована для различных приложений при анализе распределительной системы и помогает оценить альтернативную стратегию управления по улучшению качества воды в сети.

Программа Calculator11, разработанная на объектно-ориентированном языке программирования JAVA 6-ой версии используется в вычислениях над числами при моделировании гидравлических расчетов водопроводных сетей и выполняет роль электронного калькулятора, превосходящего стандартный калькулятор от Windows XP и других аналогов по своей функциональности, дизайну и эффективности.

**Оценка эффективности работы очистных сооружений сточных вод
ОАО «Світанак» г. Жодино**

Лесович Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Проведены исследования эффективности работы очистных сооружений сточных вод ОАО «Світанак» г. Жодино. Сооружения построены по опытно-производственному проекту (1982 г.), введены в эксплуатацию в 1986г. и включают следующие основные элементы: электрокоагуляторы с пластинчатыми стальными электродами (5 шт.) для очистки сточных вод активного крашения; четырехсекционный усреднитель полезной емкостью 1400 м³; 2 двухсекционные флотаторы с пневматической флотацией; электрофлотаторы (9 шт.).

Концентрированные производственные сточные воды от цеха крашения расходом порядка 300 м³/сут обрабатываются в электрокоагуляторах и направляются в усреднитель, где смешиваются со сточными водами, имеющими значительно меньшее содержание загрязняющих веществ, а так же сточной водой от подготовки полотна к крашению, промывки оборудования, расходом порядка 2700 м³/сут. Далее сточная вода поступает на флотаторы с пневматической флотацией, а затем на электрофлотаторы. Очищенные таким образом промышленные сточные воды сбрасываются в городскую канализационную сеть.

В последнее время в технологии красильно-отделочного производства существенно изменился состав используемых красителей и химикатов, а как следствие состав сточных вод.

Полученные данные показали, что не по всем загрязнениям действующие очистные сооружения обеспечивают требуемую степень очистки. Особенно неудовлетворительна работа очистных сооружений по хлоридам (1210мг/л при ПДК 350мг/л), взвешенным веществам (1030мг/л при ПДК 500мг/л) и содержанию красителей. Используемые в настоящее время на очистных сооружениях способы обработки сточных вод основаны на электрокоагуляции и применении химических реагентов (коагулянтов и флокулянтов).

Проведенные исследования эффективности работы очистных сооружений сточных вод ОАО «Світанак» г. Жодино показали, что применяемые методы не позволяют обеспечить требуемую степень очистки. Данная проблема должна решаться путем совершенствования существующих технологий сточных вод с применением более эффективных реагентов, фильтрующих материалов для доочистки и оптимизации режима работы очистных сооружений.

Исследование водосливной плотины практического профиля Полоцкой ГЭС

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

Для снижения расхода органического топлива на производство электрической энергии существует несколько путей. Один из них – развитие гидроэнергетики путем строительства гидроэлектростанций (ГЭС) малой и средней мощности. В процессе исследований проверена пропускная способность водосливной плотины практического профиля при прохождении паводков 3 %, 0,5 % и 0,1 %-ой обеспеченности при заданных отметках НПУ и ФПУ, изучены режимы сопряжения бьефов и пропуска льда. Измерены скорости потока на входе в пролет водосливной плотины и на сходе с рисбермы, построены графики пропускной способности водосливного пролета двух типов плотин при НПУ в верхнем бьефе при поднятии затвора на 0,5, 1,0, 2,0 и 3,0 м и полном открытии отверстия, а также при опускании клапана затвора на 0,25, 0,75 и 1,0 м.

В результате опытов установлено, что водосливная плотина обладает достаточной водопропускной способностью и устойчивым режимом сопряжения бьефов с затопленным гидравлическим прыжком при всех исследованных схемах пропуска расходов воды в нижний бьеф. Так, расчетный паводковый расход 3 %- й обеспеченности пропускается при отметке уровня воды в верхнем бьефе 102,41 м, что на 0,29 м ниже расчетной отметки ФПУ₁, поверочный паводковый расход 0,5 %- й обеспеченности – при отметке уровня воды в верхнем бьефе 122,05 м, что на 0,25 м ниже расчетной отметки ФПУ₂, а паводковый расход 0,1 %- й обеспеченности – при отметке уровня воды в верхнем бьефе 122,72 м.

Диапазон изменения скоростей по глубине потока на входе в водосливной пролет плотины практического профиля равен 1,9...2,16 м/с при пропуске расчетного паводкового расхода, и 2,18...2,6 м/с – при пропуске поверочного паводкового расхода. Максимальные значения средней скорости по оси потока в конце рисбермы плотины составили 2,40 м/с при пропуске расчетного паводкового расхода и 2,93 м/с – при пропуске поверочного паводкового расхода. Во избежание ударов льдин о водосливную поверхность плотины, дно и стенку водобойного колодца пропуск льда через плотину практического профиля необходимо начинать при отметке уровня воды в нижнем бьефе 113,8 м.

Пропускная способность одного водосливного пролета этой плотины при частичном открытии отверстия изменяется от 75,37 до 362,7 м³/с, при частичном опускании клапана затвора – от 18,84 до 35,33 м³/с.

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

Дефицит электрической энергии в республике Беларусь, финансовые трудности при расчете за импортируемые топливно-энергетические ресурсы активизировали процесс строительства малых гидроэлектростанций (ГЭС) на многочисленных реках. В настоящее время в стране работает более 40 малых ГЭС общей установленной мощностью около 15 МВт.

В связи с проектированием Полоцкой ГЭС проведены гидравлические исследования водосливной плотины профиля Ямборга на физической модели. Эта плотина имеет шесть водосливных отверстий шириной 20 м каждое и высотой отверстия при НПУ – 8 м. Два крайних бычка и центральный – неразрезные, с треугольной напорной гранью толщиной 3 м, второй и четвертый – разрезные, с трапецидальной напорной гранью толщиной 5 м каждый.

В результате опытов установлено, что водосливная плотина профиля Ямборга обладает достаточной водопропускной способностью и устойчивым режимом сопряжения бьефов с затопленным гидравлическим прыжком при всех исследованных схемах пропуска расходов воды в нижний бьеф. Так, расчетный паводковый расход 3 %-ой обеспеченности пропускается при отметке уровня воды в верхнем бьефе 120,34 м, что на 0,36 м ниже расчетной отметки ФПУ₁, поверочный паводковый расход 0,5 %-ой обеспеченности – при отметке уровня воды в верхнем бьефе 121,85 м, что на 0,45 м ниже расчетной отметки ФПУ₂, а паводковый расход 0,1 %-ой обеспеченности – при отметке уровня воды в верхнем бьефе 122,6 м.

Диапазон изменения скоростей по глубине потока на входе в водосливной пролет плотины равен 1,73...2,48 м/с при пропуске расчетного паводкового расхода и 2,08...2,93 м/с – при пропуске поверочного паводкового расхода.

Максимальные значения средней скорости на оси потока в конце рисбермы плотины составили 2,35 м/с при пропуске расчетного паводкового расхода и 2,85 м/с – при пропуске поверочного паводкового расхода.

Во избежание ударов льдин о водосливную поверхность плотины, дно и стенку водобойного колодца пропуск льда через плотину профиля Ямборга необходимо начинать при отметке уровня воды в нижнем бьефе 113 м, Пропускная способность одного водосливного пролета плотины при частичном открытии отверстия изменяется от 77,7 до 414,5 м³/с.

Результаты НИР будут использованы при выборе типа водосливной плотины в процессе разработки строительства проекта Полоцкой ГЭС.

В пределах мелиоративных систем и гидротехнических объектов лесная растительность может находиться в следующих видах: островки и куртины, поросшие редкой лесной и лесокустарниковой растительностью, на почвах, непригодных для сельского хозяйства (песчаные гряды и всхолмления); лесные посадки на прилегающих к мелиоративной системе территории (для закрепления песков); лесные полосы вдоль каналов и дорог в пределах мелиоративной системы; лесные прибрежные посадки и естественные лесокустарниковые заросли вдоль рек-водохранилищ, озер и водохранилищ, т.е. площади, занятые лесной растительностью, как правило, невелики и товарного значения не имеют. Поскольку лес и сельскохозяйственное поле не могут существовать на одном и том же месте, то речь может идти только о протяженных лесных посадках вдоль каналов, дорог и прибрежных площадях.

Лесная растительность вдоль проводящих каналов проектируется почти во всех проектах вновь создаваемых водных объектов и мелиоративных систем. Однако во взрослое состояние лесные полосы приходят не все. Конструкция лесной полосы, создаваемая на земляной подушке и с посадкой взрослых деревьев, приходит во взрослое состояние на 2...3-й год.

Одна из задач дальнейшего развития лесных полос в пределах мелиоративных систем состоит в том, чтобы создавать их сверхнормативной ширины, например 20...30-рядные. В таких лесных полосах можно выращивать товарную древесину. Для мелиорации такие лесные полосы будут иметь природоохранное значение (пути миграции животных, места обитания полезных птиц и т.д.). Мелиоративные системы и водные объекты должны иметь в своем составе в качестве элементов лесные посадки, поскольку улучшается ландшафт, улучшается ветровой режим над полями и т.д. Широкие лесные полосы можно выращивать вдоль рек-водохранилищ, вдоль береговой линии водохранилищ, вдоль крупных каналов мелиоративной сети. Для развития лесного дела в пределах мелиоративных систем необходимо согласование с Минсельхозпродом вопроса отведения части мелиорированной площади и береговой линии водного объекта под лесные посадки. Хотя в республике около 40 % площади занято под лесную растительность, она размещена неравномерно. В районах развития мелиоративных работ, особенно в Полесье, следует увеличить лесистость путем посадки лесных полос и древесной растительности при строительстве дорог, а также прудов и водохранилищ.

Детерминированная защита подземных вод от загрязнения радиоактивными отходами Островецкой АЭС

Рогунович В.И., Иванкова О.А., Демидович А.
Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь проблема захоронения РАО стоит остро в связи со строительством Островецкой АЭС, а в ближайшем будущем - и второй АЭС. Основной недостаток всех существующих способов захоронения РАО – их недолговечность. В США на начальной стадии разработок сроком стабильно безопасного захоронения приняты 100 000 лет, в Германии – 1 000 000 лет. Возникает проблема несопоставимости периода, в котором РАО остаются безопасными для людей и окружающей среды, с периодом, на который можно гарантировать надежность существующих геологических барьеров.

По рекомендации МАГАТЭ, самым безопасным решением проблемы окончательного захоронения РАО является их захоронение в могильниках с соблюдением принципа многобарьерной защиты.

В дипломной работе О.А. Иванковой рассматривался вариант многобарьерной защиты захоронения РАО с помощью системы бессточного дренажа, состоящей из перфорированных труб. СБД работает как система сообщающихся сосудов, создающих безуклонный уровень грунтовых вод. Способ защищен Патентом Республики Беларусь №11137. Основной недостаток такой системы – несоответствие срокам безопасного захоронения из-за недолговечности труб. Поэтому стоял вопрос в изменении фильтрующей конструкции на такую, которая способна продолжить время выполнять свои функции, учитывая вероятность сдвига земной коры.

Конструкция такого устройства следующая: по объему захоронения выполняется отсыпка гравием такой мощности, которая превосходит возможный сдвиг земной коры. В монографии Н.И. Пузыревского было доказано, что гравийная отсыпка не кальматируется. Эту конструкцию можно использовать как в качестве основной самостоятельной защиты захоронения РАО, так и в качестве одного из барьеров многобарьерной защиты.

При защите источника загрязнения СБД возможно подтекание грунтовых вод под источник выноса РАО, т.к. снизу захоронение не защищено. Результаты исследований методом ЭГДА подтекания грунтовых вод показали, что грунтовые воды не проходят через само захоронение, а обтекают его. Это позволяет сделать вывод, что не происходит выноса растворенных РАО вместе с грунтовыми и подземными водами, и как следствие, не происходит загрязнения ближайших от Островецкой АЭС территорий.

Биогазовая установка в составе комплексной электростанции

Гатилло С.П., Моргунов С.В.

Белорусский национальный технический университет

Во всем мире довольно широкое распространение получило строительство комплексных электростанций, использующих для выработки энергии различные комбинации, в том числе возобновляемых видов энергии (так называемые Hybrid Renewable Energy Projects). Мировой опыт показал, что прогресс в развитии ВИЭ зависит также и от правильности принятых технических решений с точки зрения совместимости работы электростанций, использующих для выработки энергии различные комбинации ВИЭ, а также традиционные источники энергии. Такие электростанции относят к комплексным (гибридным).

Обычно при проектировании комплексной электростанции рассматривалось использование дизель-электрических агрегатов, гелиосистем, ветроэнергетических установок, гидроэнергетических установок, солнечных батарей.

Например, при рассмотрении работы очистных сооружений крупного города наиболее логичным является использование в первую очередь основного объекта их производства – сточных вод. Возможными вариантами развития комплексной электростанции в этом случае будет установка гидроагрегатов, тепловых насосов, а также биогазовой установки, работающей на биогазе, получаемом в результате сбраживания илового осадка после процесса очистки сточных вод.

Другим примером может стать пока что редко применяемая в Беларуси технология строительства биогазовых установок, работающих на свалочном газе. Такие установки могут быть построены на законсервированных полигонах твердых коммунальных отходов. Другим компонентом комплексной электростанции в этом случае могут быть солнечные батареи (что вызвано часто наличием рядом с полигоном непахатных земель, на которых с наименьшими затратами можно их разместить), а также (при благоприятных ветровых условиях) ветроэнергетические установки.

Такое территориальное совмещение энергоустановок, использующих различные источники первичной энергии очень выгодно с точки зрения финансовой устойчивости проекта в целом, так как они взаимно дополняют друг друга и являются гарантией непрерывной выработки энергии хотя бы одним из компонентов электростанции.

Первые биогазовые установки уже появились на полигонах в Беларуси, для их успешной работы необходимо их дополнение до полноценной комплексной электростанции.

Опыт работы и перспективы строительства ВЭУ в Беларуси

Смирнов А.И., Гатилло С.П.
НПО «Малая энергетика»

Белорусский национальный технический университет

Мировой опыт показывает, что ветроэнергетика развивается очень быстро, причем самые большие величины вводимых ежегодно мощностей в последние годы сместились в азиатский регион. Не уменьшатся мировые темпы строительства ветроэнергетических установок и в перспективе. Экспертные оценки предполагают, что к 2050 году количество первичной энергии, ежегодно получаемой с использованием ветра, увеличится по сравнению с нынешним уровнем примерно в 7 раз (от 0,79 ЭДж до 5,5 ЭДж).

В настоящее время в Беларуси работает 9 ветроэнергетических установок (ВЭУ) общей установленной мощностью около 3 000 кВт. При этом они включают в свой состав ВЭУ мощностью от 5 кВт (г. Могилев) до 1500 кВт (г. Новогрудок), а также ветропарк из трех ВЭУ единичной мощностью 77 кВт (Новогрудский район).

Опыт эксплуатации и количество получаемой электроэнергии на этих ВЭУ показывает на безусловную перспективность развития этого направления возобновляемой энергетики для условий Беларуси. Процент использования установленной мощности на отдельных установках достигает 15% - 20% - 28%, что является хорошим результатом для ветроустановок таких установленных мощностей (мощность зависит от скорости ветра и поэтому определяется, в том числе, как существующей на площадке высотной отметкой, так и высотой подъема оси ветроколеса).

Надо отметить относительно ветроэнергетического потенциала Беларуси, что в стране имеется как минимум 50-70 площадок, подходящих для сооружения ветроэлектроустановок или даже ветроэлектростанций (ВЭС). Это природные возвышенности с фоновыми скоростями ветра на высоте 10 м от 5,9 до 6,2 м/сек, что соответствует скоростям ветра на высоте ступицы рабочих колес ВЭУ 50 - 90 м соответственно 7,5 - 8,5 м/сек. Т.е. скоростям, при которых применение ВЭУ технически возможно и оправдано. На основе полученного в Беларуси опыта эксплуатации можно говорить о ближайшем реальном потенциале в 500-700 МВт установленной мощности при числе часов использования этой мощности от 2000 до 3000 час.

В дальнейшей перспективе можно рассчитывать на мощность в 1600 МВт. Используя его, можно будет вырабатывать порядка 3 млрд. кВт*ч электроэнергии ежегодно.

Взаимодействие с грунтами гибких подпорных стен ограждения котлованов

Повколас К.Э., Корбут О.Б.

Белорусский национальный технический университет

Широкое применение заанкеренных подпорных стенок в качестве вертикальных ограждающих конструкций котлованов с креплением их буроинъекционными анкерами требует подробного изучения и анализа напряженно-деформированного состояния грунтового массива за подпорной стенкой и в ее основании для получения достоверного метода расчета таких конструкций.

Используя современные электронно-вычислительные машины и программные комплексы, позволяющие подробно рассматривать и анализировать поведение грунтов и конструкций на каждой стадии их устройства, авторы выполнили численный анализ напряженно-деформированного состояния буроинъекционных анкеров и заанкеренных подпорных стен с учетом стадийности их устройства. Результаты сравнивались с данными испытаний и геодезических наблюдений на строящейся станции "Петровщина" минского метрополитена, а также с расчетами по П17-02 к СНБ 5.01.01-99 «Проектирование и устройство подпорных стен и креплений котлованов».

Сравнение результатов численного анализа методом конечных элементов в упруго-пластической постановке и расчетов, выполненных по теории предельного напряженного состояния, показывает их значительное расхождение по ряду параметров и качественной картине распределения напряжений. Так, прогнозируемая расчетом деформативность анкера превышает полученную по данным натуральных испытаний вдвое. Активное давление грунта, определенное при помощи теории предельного напряженного состояния, практически в два раза меньше, чем по данным конечно-элементного анализа, хотя при этом обе эпюры схожи по форме. Значения анкерного усилия занижены на порядок.

Хорошее совпадение результатов численных расчетов с данными геодезических наблюдений получено по перемещению оголовка шпунтовых балок подпорной стенки. Высокая сходимость всех методик отмечена при определении глубины погружения шпунта.

Использование метода конечных элементов позволяет с достаточно высокой для практических расчетов точностью прогнозировать напряженно-деформированное состояние заанкеренной подпорной стенки на всех стадиях ее устройства.

Утилизация осадков сточных вод предприятий бумажной промышленности

Михневич Э.И. Яромский В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В результате очистки сточных вод предприятий бумажной промышленности образуются осадки. Складирование образовавшихся осадков приводит к нерациональному использованию земельных ресурсов и представляет определенную угрозу окружающей среде. К тому же, в осадках производственных сточных вод могут содержаться полезные вещества, которые можно рассматривать как вторичные сырьевые ресурсы.

Технология утилизации осадков производственных сточных вод определяется их качественным химическим составом и физическими свойствами.

Основными направлениями утилизации осадка сточных вод являются:

- использование осадка в качестве топлива;
- в сельском хозяйстве в качестве удобрения;
- в производстве строительных материалов и в дорожном строительстве в качестве наполнителя.

Однако, выбор наиболее рационального способа утилизации осадка должен быть выполнен на основании анализа его состава и свойств применительно к каждому из указанных направлений утилизации.

Исследование состава и свойств осадка проводилось на очистных сооружениях завода газетной бумаги (г. Шкюв).

В результате исследований установлено, что обезвоженный на фильтр-прессах осадок имеет следующие основные показатели: насыпная плотность – 735-750 кг/м³; зольность 37-43%; pH – 8,1-8,5; влажность 69-74%; общий азот – 0,63-0,98; фосфаты (P₂O₅)-0,34-0,36; кальций – 7,62-12,02%; диоксид кремния – 4,9-15,0%; сухое вещество – 25,0-30,0%.

Анализ данных и проведенные опыты по сжиганию осадка показали, что осадок не горит, а плавится, т.к. в нем содержится большое количество диоксидов кремния и кальция. В осадке содержится незначительное количество биогенных веществ (азот, фосфор), что не позволяет использовать его в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

Результаты выполненных исследований по использованию осадка в производстве строительных материалов показали, что высушенный при температуре 105 °С осадок со средней плотностью 150 кг/м³ можно использовать в качестве теплоизолирующего материала с коэффициентом теплопроводности – 0,04-0,05 Вт/м К.

**Сближение и гармонизация норм НПА и ГНПА
Республики Беларусь с законодательством ЕС в области требований
к степени очистки сточных вод**

Ануфриев В.Н

Белорусский национальный технический университет

Проблемы, связанные с эвтрофикацией природных водных объектов, стали темой многочисленных научных исследований, предметом международных природоохранных программ. Данная проблема является актуальной и для Беларуси. Поступление биогенных элементов, в том числе соединений азота и фосфора в водные объекты приводит к быстрому размножению и развитию водорослей, что резко осложняет экологическую ситуацию в водных экосистемах. Такие же процессы происходят и в акватории Балтийского моря, вызывая озабоченность общественности в странах региона из-за поступления биогенных веществ воды Балтики, в том числе и за счет их выноса речной водой с территории Беларуси. В связи с чем, существует ряд международных проектов с участием белорусских организаций и предприятий по уменьшению выноса биогенных веществ. Одним из направлений решения данной проблемы является сближение и гармонизация нормативов Республики Беларусь с законодательством ЕС в области требований к степени очистки сточных вод. Основными документами ЕС устанавливающие требования к степени очистки сточных вод являются Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза от 23.10.2000 г, устанавливающая основы для деятельности Сообщества в области водной политики (2000/60/ЕС) и Директива Совета от 21.05.1991 г. об очистке городских сточных вод (91/271/ЕЕС). Так последним документом устанавливаются требования к минимальной степени очистки сточных вод отводимых в водные объекты в зависимости от объема загрязняющих веществ, выраженных в эквивалентах населения. В части соединений азота и фосфора их концентрация не должна превышать 15,0 мг и 2,0 мг/л соответственно для очистных сооружений мощностью 10 000 - 100 000 ЭН и 10,0 мг и 1,0 мг/л соответственно для очистных сооружений мощностью более 100 000 ЭН.

Такие же подходы реализуются в проекте ТКП по установлению установления нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод. Унифицируется ряд нормируемых показателей сточных вод и методы их определения. Вместе с тем процесс сближения норм Республики Беларусь с Европейскими находится в начальной стадии и далек от завершения, в том числе и из-за экономических возможностей страны в обеспечении экологических требований.

Энергосбережение в системе водоснабжения агрокомплексов

Занкевич В.А.*, Борицова Ж.И. Синица СИ.*

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет*

В сообщении приводится анализ некоторых мероприятий по энергосбережению систем водоснабжения на современных агропромышленных комплексах мясомолочного направления. Снижение энергозатрат зависит от многих факторов, которые учитываются на стадии проработки технико-экономического обоснования проекта, а выбор оптимальных режимов энергоэффективного оборудования на стадии наладки и эксплуатации. Данные энергосберегающие мероприятия неразрывно связаны с механизацией и автоматизацией всех технологических процессов. На современных комплексах, например, молочно-товарной ферме или свиноферме («точное свиноводство») используется гибкая комбинированная система автоматического регулирования энергоснабжения, включая водоснабжение с помощью климат-компьютера. С другой стороны, существует ряд систем распознавания животных, например, Qwes, поставляемые в Республику Беларусь фирмой БиокомТехнология. Так, для распознавания коров на специальной бирке, устанавливается чип, включающий определенное количество датчиков, микропроцессор, запоминающее устройство и крепится на ошейнике, одеваемого на шею коровы. Инфракрасные устройства идентификации, которые загружают данные с чипа, установлены в различных местах коровника, например, автопоилок, роботизированных линий доения, кормовых станций. Данные анализируются в компьютере кормления и позволяют судить о физиологическом и физическом состоянии животных. Программный модуль Biodata-Management фирмы TEWE-Electronic GmbH(ФРГ) позволяет производить совместный анализ компьютеров кормления и климат-компьютера, что способствует оптимизации режимов кормления и поения. Разработаны карманные компьютеры, например, компьютер Nedap Velos Mobile фирмы NE DAP Agri (Нидерланды), с помощью которого посредством интернета фермер получает полную информацию о состоянии животных, находясь вне фермы.

Составлены схемы работы основного оборудования для водоснабжения молочно-товарных ферм, схемы автоматики, режимы его работы. На фермах с естественной вентиляцией в теплый период и частичной рециркуляцией в холодный с беспривязным содержанием скота на периодически сменяемых подстилках, по сравнению с фермами традиционного содержания скота, на водоснабжение энергозатраты уменьшились в 4-5 раз, а на микроклимат в 7-8 раз.

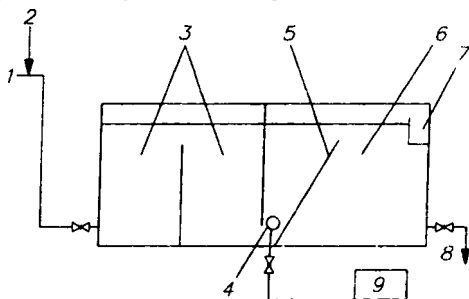
Флотационная обработка промывных вод фильтров обезжелезивания воды

Михайлик Л.Г., Дмитриев Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь основным методом осветления промывных вод станций обезжелезивания является отстаивание в статических отстойниках, допускается применение фильтрования на скорых или мембранных фильтрах, за рубежом нередко используется флотация, позволяющая получать высокий эффект осветления воды.

На кафедре водоснабжения и водоотведения БНТУ были проведены исследования по обработке промывных железосодержащих вод методом безнапорной флотации. Экспериментальная флотационная установка, состоящая из камер хлопьеобразования и флотации, показана на рисунке.



1 – подача воды на обработку; 2 – ввод реагента; 3 – камера хлопьеобразования; 4 – диспергатор; 5 – направляющая перегородка; 6 – флотационная камера; 7 - карман сбора пены; 8 – отвод воды; 9 - компрессор

Экспериментальный флотатор

Высота установки составляла 35 см (слой воды 30 см, конструктивное превышение 5 см), ширина – 20 см, расчетная производительность от 3 до 9 м³/ч. Ввод воды на обработку и отвод осветленной воды для равномерного распределения и отвода воды по всей ширине установки были выполнены в виде Т-образных трубок из дюралюминия. Для поступления воды в распределительной части были просверлены с равным шагом отверстия диаметром 5 мм. В процессе исследований установлено, что качество флотационной обработки промывных вод зависит от типа диспергатора и размера распределяемых в обрабатываемой воде пузырьков воздуха, а также скорости прохождения воды через установку. Повышение эффективности работы флотатора может быть достигнуто уменьшением размера пузырьков воздуха при применении напорной флотации.

Особенности эксплуатации многослойных фильтров

Михайлик Л.Г., Вабишевич Д.Г., Алексеенко Г.Н., Джигило Э.В.
Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших регламентных операций является обратная промывка загрязненных фильтрующих слоев многослойного фильтра. Вовремя и правильно проведенная обратная промывка обеспечивает эффективность последующего цикла - фильтрования. Начало обратной промывки определяется двумя взаимосвязанными технологическими параметрами: потерей напора, обусловленной возрастающим гидравлическим сопротивлением фильтрующих слоев в связи с накоплением задержанных загрязнений, и качеством очищенной воды.

Для промывки многослойных фильтров следует применять водяную или последовательную водовоздушную промывку в два, три или четыре этапа (этап совместной подачи в загрузку и воды и воздуха исключается во избежание выноса легких фильтрующих материалов из верхних слоев):

- воздух – вода;
- вода – воздух – вода;
- воздух – вода – воздух – вода.

Заключительным этапом всегда должна быть промывка водой.

В Республике Беларусь, г. Барановичи, имеется опыт применения двухслойных фильтров с загрузкой из антрацита и песка (сверху вниз), которые промываются в два этапа. По окончании фильтроцикла и выключении фильтра из режима фильтрования вода опускается в нем до уровня, примерно, на 0,2 м выше верха фильтрующего слоя, после чего начинается барботаж фильтрующей загрузки воздухом, который длится 4 минуты, затем подача воздуха отключается и включается подача воды на промывку, длящуюся в течение 8 минут. По окончании регенерации фильтр снова включается в режим фильтрования. Видеосъемка с помощью телекамеры показала эффективность используемого способа промывки двухслойных фильтров, а также хорошее состояние дренажной системы фильтров из двуденных модулей, также примененной впервые в республике.

На кафедре водоснабжения и водоотведения БНТУ проводились исследования по изучению эффективности применения различных фильтрующих материалов, в том числе и в многослойных фильтрах. Результатом исследований явилось включение трехслойных фильтров с загрузкой из активированного угля, антрацита и песка в нормативный документ ТКН 45-4.01-31 «Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования».

К вопросу учета расхода теплоты на горячее водоснабжение

Копко В.М.

Белорусский национальный технический университет

Известна формула, по которой теоретически можно определить расход теплоты на подогрев воды на горячее водоснабжение

$$Q^h = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_m^h - t_c). \quad (1)$$

В этом выражении ρ – плотность воды, кг/м³, и c – удельную теплоемкость, кДж/кг⁰С, можно считать постоянными величинами в диапазоне температур в системе горячего водоснабжения.

Расход воды V , м³, величина непостоянная из-за некоторого слива воды из водоразборных кранов даже при отрегулированной системе. Особенно слив неконтролируем в системах без циркуляции.

t_m^h – температура воды на выходе из теплообменника, °С, зависит от схемы подключения теплообменника. В принятых двухступенчатых схемах холодная вода вначале подогревается в первой ступени обратной водой из системы отопления примерно на 25°С и затем догревается во второй ступени до расчетной 65°С. Таким образом, перепад температур для отпуска теплоты из подающего трубопровода теплосети равен около 65 – 25 = 40°С, а не 65 – 5 = 60°С, как в одноступенчатой схеме.

Практика показала, что температура t_m^h колеблется в течение суток от 45 до 65°С, в вечерние и утренние часы снижаясь вследствие повышенного водоразбора. Температура воды, поступающей к потребителям неодинаковая, а у конечных потребителей она всегда ниже из-за разрегулировки циркуляции, а также вследствие остывания в подающих трубопроводах.

Температура холодной воды t_c , поступающая из водопровода к теплообменнику также непостоянная и колеблется в более широком диапазоне, чем расчетные значения $t_c = +5^\circ\text{C}$ для зимнего периода и $t_c = +15^\circ\text{C}$ для летнего периода.

На расход теплоты на горячее водоснабжение оказывают влияние полотенцесушители. При наличии на вводе теплосчетчиков расход теплоты полотенцесушителями учитывается, при учете расхода воды водомерами количество теплоты на обогрев ванных комнат учитывается приближенно.

Таким образом, вследствие вышесказанного, формула (1) не может использоваться для учета расхода теплоты на горячее водоснабжение с целью расчетов потребителей тепла с его поставщиками.

Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Была разработана и предложена экспериментальная установка (рис.1), на основании которой можно провести исследование гелиосистемы. С помощью натуральных измерений при стационарных условиях теплообмена предлагается определить характер влияния естественного циркуляционного давления на распределение расхода теплоносителя по параллельным соединениям в зависимости от различного направления движения теплоносителя. В эксперименте предлагается использовать гелиоколлекторы отечественного и зарубежного производства. В качестве гелиоколлектора отечественного производства предлагается использовать коллектор, разработанный в Белорусском государственном аграрном техническом университете.

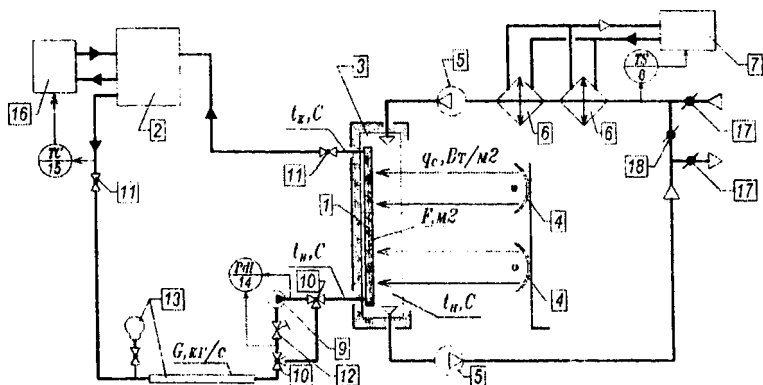


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

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 – трехходовой переключающий клапан, 11 – запорный клапан, 13 – расходомер в виде стеклянного трубопровода, 14 – дифманометр показывающий, 15 – регулятор температуры пропорциональный, 16 – водоохладитель, 17 – воздушная заслонка (в закрытом положении), 18 – воздушная заслонка на байпасе (в открытом положении).

Другая часть исследования состоит в экспериментальном подтверждении зависимости оценки эффективности гелиоколлектора, полученной аналитически.

Применение математического моделирования при выборе нагревателя для переменного режима работы системы отопления

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Цель проведенного исследования – выполнить анализ влияния различных видов отопительных приборов на динамику изменения температуры внутреннего воздуха в условиях реализации переменных режимов отопления помещений в выходные дни.

Исследование осуществлено с применением программного комплекса собственной разработки, предназначенного для расчета нестационарных многомерных полей параметров микроклимата в помещениях. Математическая модель учитывает теплопередачу в ограждениях, естественную конвекцию в воздухе помещения, лучистый теплообмен между внутренними поверхностями ограждений, остеклением и наружной средой.

Рассматривались варианты отопления с использованием следующих отопительных приборов: радиатор, конвектор, подоконная панель, напольное отопление. Проанализированы шесть режимов работы, состоящих из суточного периода полного отключения отопления в выходные дни (или же двукратного снижения мощности), а затем – разогрева до исходной температуры воздушной среды с тремя вариантами мощности нагревателя.

При использовании лучшего из рассмотренных режимов экономия за отопительный период может составлять 4,3 млн руб. (при стоимости тепловой энергии 139 тыс. руб. за 1 ГДж) для здания площадью 1000 м², расположенного в г. Минске, оборудованного конвекторами.

Рекомендуется при применении переменного режима работы максимально удлинить время отключения, а на период разогрева оставить время, необходимое для повышения температуры до требуемого значения при включении нагревателей с максимально возможной мощностью.

Наибольшая экономия теплоты среди вариантов, характеризующихся своевременным разогревом помещения, наблюдается при использовании конвектора и радиатора, поскольку они обеспечивают самый быстрый разогрев внутренней воздушной среды. Панельные отопительные приборы мало пригодны для обеспечения переменного режима работы отопления, т.к. характеризуются значительной тепловой инерцией.

Таким образом, применение численного моделирования позволяет учесть основные особенности задачи, выбрать наиболее подходящий нагреватель и оптимальный режим переменного отопления, что обеспечит максимальную экономию топливно-энергетических ресурсов.

Теплообмен в приквартирных остеклённых светопрозрачных пространствах

Хрусталеv Б.М., Акельев В.Д., Пенкрат А.С.
Белорусский национальный технический университет

В современной инженерной практике на территории республики до сих пор не разработаны и не введены в использование методики по определению температур в приквартирных светопрозрачных пространствах. При расчёте теплопотерь таких помещений согласно действующей методике расчёта теплопотерь [1, приложение Ж], наличие остеклённого балкона или лоджий никак не учитывается. В условиях роста спроса на энергоресурсы данный вопрос представляет особый интерес в исследовании, как один из способов учёта снижения энергопотребления систем отопления, вентиляции и кондиционирования и их капитальных затрат. Существующая методика для определения температуры в неотапливаемых помещениях имеет ряд недостатков:

- для внутренних стен рассматриваемого помещения применяются не уточнённые коэффициенты теплопередачи α ($\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$);
- коэффициент теплопередачи α принимается равным для всех ограждающих конструкций не зависимо от их состава и расположения;
- методика не имеет поверочного расчёта.

В предлагаемой методике приквартирное пространство рассматривается как неограниченное пространства (массопотоки у остекленных и неостекленных поверхностей не взаимодействуют между собой). Расчёт температуры воздуха выполняется при отсутствии фильтрационных и радиационных потоков при стационарном тепловом режиме. В расчётах принято допущение приблизительного равенства площадей и степеней черноты теплопередающих поверхностей. Сопротивление ограждающих конструкций определяется как среднее термическое сопротивление с учётом заполнений оконных проёмов. Коэффициент теплоотдачи конвективной составляющей находится из критериальных выражений при естественной конвекции. Температура воздуха в приквартирном пространстве принимается равной средней арифметической из всех значений температур поверхностей, образующих остекленные лоджии или балконы. Методика позволяет рассчитать температуру в приквартирном пространстве и коэффициенты теплопередачи в с точностью $1\div 2\%$.

Литература

1. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Мн.: Минстройархитект., 2004. – 78 с.

Воздухообмен в помещениях зданий с большой поверхностью светопрозрачных конструкций

Борухова Л.В., Шибeko А.С.

Белорусский национальный технический университет

При проектировании систем вентиляции общественных зданий воздухообмен в помещениях находится или на основании расчёта количества приточного воздуха, необходимого для ассимиляции избытков явной теплоты, или по кратности воздухообмена.

При расчёте воздухообмена для ассимиляции избытков явной теплоты находят суммарные теплопоступления в помещение. Они представляют собой сумму теплопоступлений от людей; искусственного освещения; оборудования, установленного в помещении; а также теплопоступлений через заполнение световых проёмов и массивные ограждения (стена, покрытие).

Зачастую при проектировании систем вентиляции в общественных зданиях воздухообмен рассчитывается на основании кратности воздухообмена. Кратность воздухообмена – это отношение количества приточного (удаляемого) воздуха, которое должно подаваться (удаляться) из помещения в час, отнесённое к внутреннему объёму помещения. Действующие технические нормативно-правовые акты на проектирование общественных зданий устанавливают кратность воздухообмена рабочих кабинетов (офисов) $1,5 \text{ ч}^{-1}$.

Однако, изначальный смысл кратности воздухообмена заключался в том, что она была рассчитана для холодного периода года при определённом количестве людей (исходя из нормы площади или объёма на одного работающего) и на данный момент не учитывает современную насыщенность офисов разнообразной оргтехникой (компьютерами, принтерами, копировальными аппаратами); ориентацию по сторонам света и работу искусственного освещения в тёплый период года.

В целях проверки существующей кратности воздухообмена были произведены расчёты воздухообмена офисов с различной их ориентацией. Результаты расчётов показали, что требуемая для ассимиляции избытков явной теплоты кратность воздухообмена в летний период составляет в зависимости от ориентации фасада $8 \dots 12 \text{ ч}^{-1}$, что в $5 \dots 8$ раз превышает существующую кратность воздухообмена.

Анализируя западный опыт проектирования, в частности Германии, где кратность воздухообмена для офисов в летний период рекомендуется принимать до 14 ч^{-1} , можно сделать вывод о том, что существующие ныне кратности воздухообмена нуждаются в корректировке

Исследование микроклимата ледовой арены

Сомова С.В., Окулевич С.В.

Белорусский национальный технический университет

Современная ледовая арена представляет собой сложную инженерную систему, в которой система кондиционирования имеет большое значение. Система кондиционирования и осушения воздуха (СК), которой снабжается ледовая арена любого уровня, позволяет при снижении энергозатрат поддерживать оптимальную температуру воздуха и влажности над поверхностью, газовый состав и подвижность воздуха, содержать в порядке лед и здание при полной гарантии комфорта для зрителей. Температура в зоне зрительских мест должна быть $+18^{\circ}\text{C}$, а в зоне льда $+14^{\circ}\text{C}$. Кроме того, СК снижает влажность в помещении, что предотвращает образование тумана и выпадение конденсата на конструкциях здания.

В данном случае исследовалась система кондиционирования воздуха на базе кондиционера КЦ-ТК55 производительностью 55,5 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. в зоне ледовой арены площадью 1800 м^2 катка, рассчитанного на 1800 зрителей. Минимальное количество наружного воздуха, подаваемого в зрительный зал СК, принято в соответствии с гигиеническими требованиями из расчета 20 $\text{м}^3/\text{час}$ на зрителя и 80 $\text{м}^3/\text{час}$ на спортсмена.

При организации микроклимата решались следующие проблемы:

1. Распределение влажности по высоте помещения.
2. Загрязнение воздуха отработавшими газами при заливке и обработке ледовой площадки.
3. Обеспечение требуемых температур поверхности льда и в различных зонах арены при разных видах мероприятий, проводимых на катке.

Излишняя влажность воздуха вызывает увеличение расходов на техническое обслуживание; образование тумана; конденсацию влаги и образование плесени и грибка на поверхностях здания.

Состояние льда в значительной степени зависит от равномерности распределения температуры воздуха на площадке. Локальное повышение температуры приводит к снижению твердости льда, в результате чего при динамических нагрузках спортсмены могут повредить суставы ног.

Результаты проведенных исследований показали, что температурное поле неравномерно как по площади катка, так и по высоте помещения арены; температура воздуха в зоне ледового поля и на трибунах не соответствует нормативам; при некоторых разностях температур наружного и внутреннего воздуха достигается температура точки росы, что приводит к образованию тумана в пределах ледового поля и под пологом арены и конденсации влаги на конструкциях, дымовые газы рассеиваются полностью только спустя 30-50 минут после обработки льда.

Основные принципы газоснабжения высотных зданий

Протасевич А.М., Волчек Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Здание высотой более 75 м (более 25 этажей) принято считать высотным. В практике строительства наиболее распространенными высотными зданиями являются жилые, гостиничные и административные. Повышение эффективности использования энергии в таких зданиях поможет в дальнейшем решить многие проблемы современных мегаполисов.

Одним из актуальных вопросов высотного строительства является газоснабжение высотных зданий. Однако нормативного документа, регламентирующего использование газа в них нет. На сегодняшний день по высотному строительству в Республике Беларусь разработаны, согласованы и утверждены два документа: ТКП 45-3.02-108-2008 «Высотные здания. Строительные нормы проектирования» и ТКП 45-1.03-109-2008 «Высотные здания из монолитного железобетона. Правила возведения».

Поскольку в Республике Беларусь запрещено использование природного газа низкого давления в жилых помещениях, расположенных выше 11-го этажа, то выше 12 этажа возможна прокладка газопроводов только среднего давления для основных и альтернативных источников энергообеспечения. Иными словами, для энергообеспечения многофункциональных высотных комплексов (МВК), сблокированных из зданий различной этажности, возможно использование газа низкого давления для газоснабжения блока жилых помещений до 11-ти этажей включительно и среднего давления для газоснабжения автономных и альтернативных источников энергообеспечения высотной части зданий. При этом условием обеспечения безопасности является разработка мер, предотвращающих образование и накопление взрывоопасной газозудной смеси в зданиях.

По условиям энергообеспечения в высотном здании кроме централизованных источников требуется предусматривать автономные источники, которые могут размещаться как в самом здании, так и в отдельно стоящих объектах. В качестве автономных источников энерго- и холодоснабжения МВК кроме котельных могут использоваться когенерационные и тригенерационные установки, топливные элементы и газотурбинные технологии.

В сложившейся ситуации основными принципами газоснабжения высотных зданий следует принять: зонирование МВК по высоте; использование газа низкого давления до 11 этажа; использование систем газоснабжения среднего давления для надстроенных или отдельно стоящих котельных; применение двух источников тепло-, холодо- и электроснабжения с использованием новейших технологий энергообеспечения.

Новая конструкция многослойной стеновой панели

Сизов В.Д., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Отличительной особенностью разработанной конструкции панели с повышенными теплотехническими качествами является то, что наружный слой выполнен из перфорированных в верхней и нижней частях защитных листов с уложенным на них перфорированным слоем алюминиевой фольги, функцию одного из слоев утеплителя выполняет воздушная прослойка, а второй слой выполнен в виде нескольких слоев микромодулей, разделенных слоями перфорированной алюминиевой фольги и защищенных сеткой, а внутренний бетонный слой отделен от слоев микромодулей слоем алюминиевой фольги.

Основным отличительным признаком разрабатываемого технического решения является расположение пустотелых ячеек микромодулей в зоне отрицательных температур, что предотвращает накопление конденсата и образования зон промерзания. При этом расположение перфорированного слоя фольги на внутреннем слое панели препятствует проникновению водяных паров из помещений в слой теплоизоляции из микромодулей.

Изложенное можно подтвердить температурными и влажностными полями, рассчитанными для вариантов конструкции, где I вариант – общепринятая конструкция, а II вариант – разработанная конструкция.

В результате расчетов построены графики влажностного режима наружной стены для каждого варианта, которые приведены на рис. 1 и 2.



Рисунок 1 Вариант I

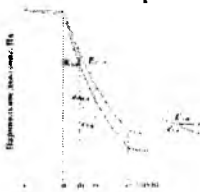


Рисунок 2 Вариант II

Из анализа приведенных графиков (рисунки 1, 2) видно, что в первом варианте имеются пересечения линий E и e при эксплуатации конструкции в отопительный и холодный периоды года. Следовательно, риск выпадения конденсата в толще ограждения имеется. Во втором варианте конструкции подобного пересечения нет, следовательно, и риска конденсации водяного пара в толще ограждения не будет, т.е. разработанная конструкция предотвращает появление зоны конденсации при эксплуатации наружных ограждений даже в наиболее неблагоприятных условиях.

К вопросу об обеспечении требований по теплозащите для ограждений из щелевых керамзитобетонных блоков

Якимович Д.Д, Короткий В.Н, Черванева Е.А, Костевич М.Ф.
Белорусский национальный технический университет

Теплотехнические исследования стеновой кладки выполнялись в натуральных условиях и в условиях стенда. Влажность керамзитобетона в условиях стенда и условиях объекта (1-этажное здание) составила 2,71...6,32%. Средний эквивалентный коэффициент теплопроводности керамзитобетонных блоков с пазогребневой системой с учетом горизонтальных и вертикальных стыков составил: для условий стенда 0,16 Вт/м·°С; для кладки одноэтажных зданий на полимерцементном клеевом составе – 0,165 Вт/м·°С, на цементно-песчаном растворе – 0,174 Вт/м·°С. Для кладки многоэтажного здания на цементно-песчаном растворе 0,175...0,644 Вт/м·°С. Анализ термограмм поверхностей исследованных конструкций и воздухопроницаемости стеновой кладки позволяет предположить, что главными причинами снижения теплозащитных свойств кладки из щелевых керамзитобетонных блоков с ростом этажности зданий являются дефекты строительных работ и проектные ошибки. Проектные ошибки вызваны как незнанием особенностей теплотехнических свойств кладки из щелевых блоков, так и недостаточной теплотехнической проработкой многих строительных узлов. Проектировщики далеко не всегда могут грамотно оценить теплотехническую сторону многих элементов как по причине чрезвычайно большого количества разрабатываемых узлов и конструкций, так ввиду отсутствия у них информации о результатах натуральных исследований. Для систем наружного утепления разработаны ТКП, в соответствии с которыми эти системы проектируются и возводятся, их разработка была длительной и достаточно тернистой, несмотря на большой зарубежный опыт применения таких систем. На сегодняшний день отсутствует систематизация и анализ данных о результатах применения керамзитобетонных блоков: эксплуатационные характеристики, проблемные узлы и способы их решений. Пазогребневая система вертикального стыка блоков, оправдала себя как с технологической (выполнение кладки), так и с теплотехнической стороны, а кладка из щелевых керамзитобетонных блоков может демонстрировать высокие теплотехнические характеристики, при грамотном проектировании и строительстве. Для этого необходима разработка соответствующего ГКП, где были бы собраны основные конструкции узлов и техника их исполнения, что позволило бы разгрузить проектировщиков и дать им возможность сконцентрироваться на проработке узлов нестандартных, специфичных для конкретного строительного объекта.

Особенности программной реализации и расчета полей температуры и влажности ограждающих конструкций

Лешкевич В.В.

Белорусский национальный технический университет

Последовательность расчета полей температуры и влажности ограждающих конструкций методом конечных элементов состоит из следующих этапов: 1. построение расчетной сетки; 2. ансамблирование; 3. решение полученной системы уравнений.

Построение сетки выполняется с помощью триангуляции Делоне. В работе использован простой итеративный алгоритм. Одним из вопросов при построении конечноэлементных сеток является правильный выбор размера конечного элемента. Для теплотехнических расчетов фрагментов ограждающих конструкций рекомендуется принимать размер конечного элемента таким, чтобы отношение меньшего из размеров фрагмента конструкции к размерам конечного элемента было не менее $15 \div 20$.

Ансамблирование – процесс построения уравнений баланса для каждого элемента и объединение их в общую систему линейных уравнений. При расчетах трехмерных полей количество узлов расчетной области может достигать значительных величин – от 10 до 50 тысяч и более. Часто при указанном количестве узлов возникают проблемы с нехваткой оперативной памяти ЭВМ. Благодаря тому, что матрица коэффициентов получается разреженной, решение указанной проблемы заключается в использовании структур данных, которые хранят в памяти только ненулевые значения.

Полученная система уравнений как для стационарных так и для нестационарных расчетов сводится к виду $Ax=B$, где A – квадратная матрица $n \times n$ (n – число узлов). При определенных комбинациях геометрической формы фрагмента конструкции, граничных условий и сетки может случиться, что матрица A является вырожденной (сингулярной). В этом случае для решения системы уравнений необходимо найти псевдообратную матрицу. Альтернативным вариантом является незначительное изменение шага сетки.

Сопоставив полученные значения матрицы-столбца x с расположением точек в пространстве, получим искомое поле температуры или влажности фрагмента конструкции. В работе представлены результаты расчета температурных полей строительных конструкций – фрагмента кладки из многощелевых керамзитобетонных блоков, углового стыка пенополиуретановых панелей с металлическим каркасом, выполненные в компьютерной программе, разработанной автором.

Особенности тепловлажностного режима ограждающих конструкций зданий с эффективным использованием теплоты

Калиниченко Е.С., Лешкевич В.В.

Белорусский национальный технический университет

По определению профессора Табунщикова Ю.А., энергоэффективное здание – «здание, в котором эффективное использование энергоресурсов достигается за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, а также приемлимы с экологической и социальной точек зрения и не изменяют привычного образа жизни».

Авторами проведено исследование теплотехнических характеристик ограждений экспериментального энергоэффективного одноквартирного одноэтажного жилого дома с повышенными теплозащитными характеристиками наружных ограждений, расположенного в агрогородке д. Парфьяново Витебской области.

Наружные стены выполнены из двухслойных панелей с несущим металлическим каркасом и укрыты снаружи тонкой штукатуркой по сетке из стекловолокна. Внутренний слой панелей толщиной 20 мм выполнен из стекломатных листов. Теплоизоляционный слой, выполненный из пенополиуретана, имеет плотность 60 кг/м^3 .

Для исследования влажностного состояния теплоизоляции наружных стен здания выполнен отбор образцов стеновых материалов и в лабораторных условиях определена их массовая влажность. Анализ полученных данных показал, что максимальная массовая влажность $W = 128,7 \%$ имеет слой пенополиуретана толщиной, прилегающий к наружной поверхности ограждения. Значение её значительно превышает расчетное массовое отношение влаги для пенополиуретана в условиях эксплуатации "Б", равное $W_B^w = 5 \%$. По мере удаления от наружной поверхности влажность теплоизоляционного материала снижается, и уже в середине слоя имеет влажность, соответствующую условиям эксплуатации "Б".

Полученные данные показывают, что в процессе эксплуатации происходит накопление влаги в слое пенополиуретана, примыкающем к наружной поверхности. Высокие значения влажности могут привести к разрушению как наружного слоя штукатурного слоя конструкции, так и слоя пенополиуретана, примыкающего к наружной поверхности.

Несмотря на высокую стойкость полимерных теплоизоляционных материалов воздействию влаги, накопление её в конструкциях может значительно снизить долговечность и теплозащитные качества наружных ограждений.

О нормировании теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций

Крутилин А.Б.

Белорусский национальный технический университет

Для уменьшения потерь теплоты при проектировании в Республике Беларусь наружных стен зданий одним из основных решений является увеличение толщины теплоизоляционного (конструктивно-теплоизоляционного) слоя ограждающей конструкции. В то же время известно, что при увеличении сопротивления теплопередаче наружных стен возрастает сток теплоты через теплопроводные включения, откосы проемов, стыки с плитами перекрытий и покрытий и т.п. При этом резко снижается величина приведенного сопротивления теплопередаче, по сравнению с сопротивлением теплопередаче, рассчитанным по "глади" конструкции.

Расчеты приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен жилого дома в г. Минске с наружными стенами из ячеистобетонных блоков ($\delta = 400$ мм, $\rho = 500$ кг/м³) на клеевом растворе с наружной внутренней штукатурками показали следующее. Коэффициент теплотехнической однородности с учетом откосов проемов наружной стены и дисков перекрытий составил $r = 0,632$, а приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т.пр} = 1,34$ м²·°С/Вт, что значительно меньше величины $R_{т.н.} = 2,0$ м²·°С/Вт, принятой на основании действующей нормативно-технической документации на период возведения здания в РБ.

Изменением № 1 к ТКП 45-2.04-43-2006 утвержденным приказом Минстройархитектуры Республики Беларусь от 29 декабря 2008 г. установлены новые нормативные значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий. В том числе для жилых и общественных зданий приняты следующие значения: наружные стены – $R_{т.н} = 3,2$ (м²·°С)/Вт, совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами – $R_{т.н} = 6,0$ (м²·°С)/Вт и т.д. С учетом влияния теплопроводных включений на сегодняшний день указанные величины приведенного сопротивления теплопередаче трудно достижимы, а для отдельных, ранее "типовых" (до введения изменений к ТКП 45-2.04-43-2006) конструкций – недостижимы вообще.

В ТКП 45-2.04-43-2006 не определено понятие "приведенное сопротивление теплопередаче", отсутствует его методика расчета, что при проектировании ограждающих конструкций зданий приводит к ошибкам, а при эксплуатации помещений после возведения – к систематическому нарушению параметров микроклимата и тепловому режиму конструкций.

Обоснование выбора теплоносителя для тепловой обработки железобетонных изделий в заводских условиях

Орлович А.И., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

С целью ускорения твердения бетона на заводах ЖБИ повсеместно применяется тепловая обработка в установках, оборудованных различными системами теплоснабжения. Как правило, основным видом теплоносителя в тепловых установках является водяной пар.

Почему водяной пар получил и имеет такое широкое применение в производстве бетона, невзирая на низкий КПД (12-18%) и высокие удельные расходы?

Основным достоинством водяного пара является обеспечение оптимальных тепловлажностных условий для твердения бетона. Однако данному виду теплоносителя присущи серьезные недостатки. В частности, регулирование процесса тепловой обработки с помощью системы автоматики связано с большими трудностями, сильное увлажнение изделий за счет конденсата отрицательно сказывается на теплофизических характеристиках легких бетонов, наличие конденсата требует его утилизации. Использование высокопотенциального теплоносителя – водяного пара – в камерах, температура прогрева в которых в последние годы снижена с 80-90 °С до 40-60 °С за счет использования добавок-ускорителей твердения, на наш взгляд, становится нецелесообразным и требует пересмотра подхода к выбору теплоносителя, так как при таких температурах достижение требуемой относительной влажности греющей среды происходит при значительно более низком влагосодержании. Для обеспечения низкотемпературных режимов рациональным является использование низкотемпературных теплоносителей: горячая вода, влажный воздух и т.д. Например, относительная влажность среды близкая к 100% может быть создана за счет насыщения влагой пузырьков воздуха при прохождении ими слоя «псевдокипящей» горячей воды, находящейся в днище пропарочной камеры. Одно из преимуществ такой камеры – отсутствие потерь тепловой энергии, экологическая чистота и низкая себестоимость.

Теплоснабжение кассет, термоформ, карусельных установок, камер непрерывного действия с помощью регистров и др., в которых возможен возврат чистого конденсата, применение водяного насыщенного пара на наш взгляд является целесообразным.

В каждом конкретном случае выбор наиболее экономичного теплоносителя и совершенствование методов подвода теплоты – один из путей снижения энергоемкости производства строительных изделий.

Экономия теплоты в системах горячего водоснабжения (ГВС)

Байлук Н.Д.

Белорусский национальный технический университет

Энергетическая и экономическая ситуация в Республике Беларусь требует от предприятий внедрения энергосберегающего оборудования и технологий. К приоритетным направлениям энергосбережения относятся работы по внедрению тепловых насосов и получению вторичных энергетических ресурсов, утилизации выбросов.

Практически на всех предприятиях имеются в наличии низкотемпературные источники теплоты двух видов: сточные воды и вытяжной воздух.

Вытяжной воздух располагает небольшим потенциалом и его теплота может быть утилизирована только попутно из экономических соображений. Сточные воды предприятий, например, оздоровительного комплекса, представляют собой источник теплоты с тепловой мощностью во время работы процедур до 800 кВт. Сточные воды можно разделить на 3 категории по степени доступности извлечения теплоты: легкодоступные, не требующие очистки; доступные, с незначительным количеством примесей; труднодоступные, требующие устройства для очистки.

Тепловая мощность утилизации таких предприятий может быть 500...600 кВт. Максимально возможная мощность утилизации достигает 900...1000 кВт.

Исходя из результатов среднестатистической выборки расхода горячей воды с поправкой на теплопотери и возможную ошибку, можно принимать средний расход ежедневно в течении 9 часов – 15 м³/час горячей воды 50°C, что соответствует утилизации $Q_{\text{свт}} = 5,4$ гкал/сутки при коэффициенте утилизации 0,7.

В результате возможности получения 500 кВт тепловой мощности за счет утилизации теплоты сточных вод возникает несколько вариантов горячего водоснабжения: без использования теплового насоса, с тепловым насосом $Q \leq 200$ кВт, с тепловым насосом $Q > 200$ кВт,

Система утилизации теплоты сточных вод с применением тепловых насосов в системе горячего водоснабжения энергетически и экономически целесообразна.

Внедрение системы можно разбить на два этапа:

- разработка и устройство системы утилизации теплоты сточных вод;
- наблюдение за ее работой в течение некоторого времени.

На основании полученных данных осуществляется оптимизация требуемой теплопроизводительности теплового насоса.

Перспективные методы определения степени сухости влажного водяного пара

Кудрявцев П.А.

Белорусский национальный технический университет

Степень сухости значительно влияет на энтальпию влажного пара. Существующие теплосчётчики не имеют входного сигнала по степени сухости. Некоторые модели теплосчётчиков предлагают вводить значение степени сухости в качестве константы, рассчитанной заранее, что не может удовлетворять динамически изменяющимся условиям транспортирования пара. Поэтому целесообразно рассмотреть перспективные методы определения степени сухости с закреплением их в нормативной базе, которые бы стимулировали производителей теплосчётчиков включать показания степени сухости в свои приборы. Данное нововведение значительно упростит взаиморасчёт между поставщиком и потребителем пара.

Методы определения степени сухости влажного водяного пара можно условно разделить на следующие 4 группы:

- с введением ПАВ; с введением индикаторов; лазерный; с впрыскиванием воды с последующим измерением перепада давления на диафрагме; метод на основе определения плотности пароводяной среды;
- кондуктометрический; радиометрический; дизелькометрический;
- метод на основе зависимости от скорости движения среды; на основе измерения осевого усилия, создаваемого потоком влажного пара;
- на основе измерения перепада давлений; дросселирующего калориметрирования, метод перегрева и метод конденсации пробы пара.

Подобная классификация позволяет сгруппировать методы, обладающие схожими достоинствами и недостатками, выделив те из них, наличие которых желательно при рассмотрении перспективных направлений определения степени сухости.

К требованиям, предъявляемым к перспективным методам определения степени сухости, относятся: точность; отсутствие ухудшения параметров пара; возможность динамической обработки информации; применяемость в широком диапазоне значений степени сухости; стоимость реализации; простота реализации и эксплуатации.

Анализ отечественной и зарубежной патентной базы позволяет отнести к таковым калориметрический метод (во всех известных трёх его воплощениях – дросселирование, перегрев и конденсация) и метод на основе перепада давления. Данные методы перспективно рассматривать при создании «Методики расчёта систем пароснабжения с учётом степени сухости» с последующим изданием её в виде нормативных документов.

**Аккумуляирование теплоты в системах теплоснабжения,
вентиляции и кондиционирования воздуха**

Протасевич А.М., Сизова Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Использование тепловых аккумуляторов в системах теплоснабжения, отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий и сооружений обусловлено несовпадением периодов поступления от источников бросовой теплоты или теплоты возобновляемых источников и её потреблением. Кроме того, аккумуляирование позволяет эффективно использовать теплоту, которая может быть потеряна или использована частично.

Благодаря применению надёжных систем аккумуляирования энергии обеспечивается не только стабильное и бесперебойное энергоснабжение потребителей, но и повышается эффективность использования оборудования за счёт накопления пиковой и низкопотенциальной энергии, которая не может быть использована потребителем без соответствующих преобразований.

Основными функциями аккумуляторов энергии являются:

- обеспечение бесперебойного энергоснабжения потребителей за счёт накопления избыточной энергии с последующим её использованием в периоды отсутствия или недостатка энергии;
- обеспечение оптимального режима работы источников энергии и потребителей за счёт выравнивания колебаний в энергосистеме;
- повышение потенциала энергии до необходимого уровня при накоплении низкопотенциальной энергии;
- преобразование энергии одного вида в другой в зависимости от нужд потребителей.

Система аккумуляирования теплоты эксплуатируется во взаимодействии с источником энергии и её потребителем и включает в себя следующие компоненты:

- 1) сосуд или резервуар для теплоаккумулялирующего материала с теплоизоляцией;
- 2) теплоаккумулялирующий материал, в котором накапливается и хранится теплота;
- 3) теплообменное оборудование.

Применение аккумуляторов теплоты в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха позволяет шире применять вторичные энергоресурсы, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Концепция «пассивного» дома

Полещук А.А., Полещук П.Б

Белорусский национальный технический университет

Все страны мира стремятся к экономии энергии, в том числе и в строительной отрасли. С этой целью в Европе была разработана классификация зданий на основе их уровня энергопотребления:

- 1) «старое здание» (около $q = 300$ кВт·ч/м²·год);
- 2) «новое здание» (до $q = 150$ кВт·ч/м²·год);
- 3) «дом низкого потребления энергии» (до $q = 60$ кВт·ч/м²·год);
- 4) «пассивный дом» (не более $q = 15$ кВт·ч/м²·год);
- 5) «дом нулевой энергии» ($q = 0$ кВт·ч/м²·год).

Энергетическая концепция пассивного дома направлена на снижение расхода энергии в новостройках в 8-10 раз. Таким образом, в то время как обычное здание в Германии потребляет от 150 до 250 кВт·ч/м²·год, пассивному дому достаточно всего 10-15 кВт·ч/м²·год.

Основы концепции «пассивного» дома:

- компактная форма здания, высокий уровень теплозащиты, отсутствие «мостиков холода» ;
- оптимизация ориентации здания;
- герметичность наружных ограждающих конструкций;
- пассивный подогрев приточного воздуха;
- использование утилизации теплоты вытяжного воздуха;
- ГВ за счет нетрадиционных возобновляемых источников;
- снижение электропотребления за счет использования бытовой техники с низким энергопотреблением.

В пассивном доме не должно быть мостиков холода, поэтому все соединения ограждающих конструкций следует выполнять очень точно. Пассивный дом должен быть очень герметичным, т.е. непродуваемым. Дом – это не только стены и кровля, но и инженерные системы, от которых в немалой степени зависит энергоэффективность жилья. Оригинальная концепция пассивного здания предполагает, что обогрев постройки будет осуществляться за счет утилизированной теплоты и возобновляемых источников энергии.

В то же время, несмотря на неоспоримые преимущества, строительство пассивных домов в Беларуси пока практически не ведется. И это несмотря на то, что владельцы пассивных домов тратят на энергоносители почти на 15-20% меньше, чем владельцы обычных каменных домов. При этом планируемый срок окупаемости пассивного дома за счет экономии энергии может составить 7-8 лет.

К вопросу проектирования дымовых труб

Питиримов В. В.

Белорусский национальный технический университет

Дымовые трубы многих промышленных предприятий являются сложными инженерными сооружениями, проектирование, строительство и эксплуатация которых требует комплексного решения большого количества технических задач, в том числе эффективной тепловой изоляции несущих конструкций. Дымовые трубы работают в условиях, сочетающих перепады температуры, давления, влажности, агрессивных химических воздействий компонентов дымовых газов, ветровых нагрузок, нагрузок от собственной массы.

Для определения основных параметров и требований дымовых труб использовались действующие в Республике Беларусь нормативные документы, а также нормативная документация стран Европы. На основании изученных материалов определены основные технические требования к дымовым трубам, к которым в первую очередь относятся: термическое сопротивление, газоплотность, паропроницаемость и газостойкость, гидравлическое сопротивление, температура конденсации дымовых газов, коэффициенты теплоотдачи у внутренней и внешней поверхностей дымовой трубы.

Для снижения скорости охлаждения продуктов сгорания и коэффициента теплоотдачи необходимо стремиться к уменьшению коэффициента гидравлического сопротивления у внутренней поверхности дымовых труб.

Следует отметить, что европейские нормы проектирования содержат раздел, который определяет расчет коаксиальных дымоходов. Коаксиальный дымоход сконструирован по принципу «труба в трубе». Для отвода отработанных газов в окружающую среду предназначена внутренняя труба, а по внешнему контуру поступает наружный воздух, необходимый для обеспечения процесса горения.

В изученной зарубежной нормативной документации определено, что для природного газа температура конденсации дымовых газов устанавливается по точке росы для воды, а для каменного угля, топочного мазута и древесины температурой конденсации дымовых газов является точка росы для кислоты.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что ни в нормативной документации Республики Беларусь, ни в изученной нормативной документации стран Европы не представлены материалы, касающиеся проектирования и строительства стеклопластиковых дымовых труб.

Расчет распределительных газовых сетей среднего давления с путевым отбором газа

Артихович В.В.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы в Беларуси для газоснабжения жилой застройки городов, поселков, сельских населенных пунктов широко используются распределительные газопроводы среднего давления из полиэтиленовых труб с установкой домовых регуляторов давления. При этом к газопроводам присоединяется большое число различных потребителей (отдельные стояки жилых зданий, индивидуальные жилые дома, отдельные мелкие отопительные котельные, коммунальные, общественные и прочие потребители).

Проектирование газовых сетей с учетом всех ответвлений к отдельным мелким потребителям часто представляет собой очень сложную задачу. Поэтому возникает необходимость в разработке такой схемы, которая не только наиболее точно отражала бы действительную картину, но и была бы приемлемой в инженерной практике с точки зрения трудоемкости.

При расчете таких сетей допускается упрощение, считая отдачу газа по длине газопровода равномерной, тогда путевой расход для каждого участка будет пропорционален его длине.

Расчетный расход газа для участка с путевой нагрузкой V_n , м³/ч, определяется как эквивалентный, дающий одинаковые гидравлические потери с фактическим. Его удобно принимать как долю путевого расхода

$$V_p = \alpha \cdot V_n, \quad (1)$$

где α – коэффициент, зависящий от соотношения между путевым и транзитным расходами и числа мелких потребителей, составляющих путевую нагрузку.

В случае, когда участок имеет и путевой и транзитный расход V_t , м³/ч, для него расчетный расход равен

$$V_p = V_t + \alpha \cdot V_n. \quad (2)$$

Рассмотрим возможные численные значения коэффициента α . Используя методику расчета газопроводов низкого давления с путевым отбором газа [1] можно получить выражение для определения α для газопроводов среднего давления. В зависимости от числа потребителей, составляющих путевую нагрузку, и доли путевого расхода от общего, α изменяется от 0,5 до 0,6. В среднем его можно принять равным 0,55.

Определены потери давления для нескольких участков газопровода среднего давления с использованием выражения (2) и при реальной нагрузке. Расхождение в результатах составляет 3–5%.

І. Іонін, А.А. Газоснабжение / А.А.Іонін. – М.: Стройиздат, 1998.

Моделирование воздушного режима высотных зданий

Борухова Л.В., Герасёва М.А.

Белорусский национальный технический университет

В зарубежной классификации методик математического расчета воздушного режима зданий выделяют: эмпирические, однозональные и мультизональные модели.

Эмпирические методики – первый этап развития численных методов расчета воздушного режима зданий. Они были первой попыткой обобщения результатов натурных исследований без формирования сложного математического аппарата. Эмпирические модели формировались для каждого типа зданий в зависимости от конфигурации и соотношения геометрических размеров.

Однозональные методики расчета разрабатывались для численной оценки инфильтрационных расходов воздуха и анализа эффективности вытяжных систем, применимой к зданиям любой конфигурации. При постановке задачи температуру внутреннего воздуха во всех помещениях принимают одинаковой, а, следовательно, гравитационные составляющие внутреннего и наружного давления на какой-либо высоте от земли зависят только от высоты столбов холодного наружного и теплого внутреннего воздуха. Данные методы предполагают вычитание избыточного гравитационного давления внутреннего воздуха из избыточного давления наружного воздуха на каждом горизонтальном уровне. Эта разность считается наружным граничным условием для расчета воздушного режима здания. За счет выноса за пределы здания гравитационной составляющей давления во внутреннем воздухе достигается постоянство давления воздуха в каждом помещении по его высоте.

Мультизональные модели являются современным этапом развития методик расчета воздушного режима зданий. Основным отличием является определение собственных избыточных давлений в каждом расчетном объеме здания, что позволяет производить расчет воздушного режима без уреднения температуры внутреннего воздуха.

Вопросы математического описания воздушного режима сводятся к задачам потокораспределения и имеют общность физико-математических положений с электротехническими и гидравлическими системами. Для создания модели пути перемещения воздушных потоков представляются в виде структурной схемы, содержащей все элементы, оказывающие сопротивление движению воздуха и источники энергии, вызывающие это движение.

Разработка методических рекомендаций по расчету характеристик термического метода очистки выбросов в атмосферу

Сизов В.Д., Короткий В.Н., Бракович И.С.
Белорусский национальный технический университет

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение» для студентов специальности «Теплогасоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» предусмотрено выполнение расчетно-графической работы. Она состоит из трех частей: расчет циклона, разработка систем термической и каталитической очистки газовых выбросов от горючих компонентов.

В качестве исходных данных для выполнения раздела по термической очистке студенты используют формулы для расчета: объемов выбросов, температуры отходящих газов, начальной концентрации загрязняющих веществ и др. В эти формулы включены данные из номера зачетной книжки либо номера студента в списке группы, что дает возможность каждому студенту самостоятельно произвести необходимые расчеты и преподавателю более четко контролировать процесс выполнения работы.

Вторым необходимым компонентом исходных данных является использование табличных сведений о необходимых свойствах загрязняющих веществ: температуры самовоспламенения, стехиометрического объема, теплотворной способности и др. Традиционно загрязняющие вещества выбирались из числа распространенных углеводородов: бензол, толуол, ксилол, циклогексан и гептан.

В настоящее время настала необходимость значительно расширить перечень веществ, которые можно включать в исходные данные для выполнения расчетно-графической работы. К ним следует отнести другие углеводороды: пропан, бутан, гексан, стирол и др. В то же время в настоящее время в промышленном производстве все более широко применяются сложные смеси углеводородов: бензины, керосины, различные растворители красок. Они также представляют серьезную опасность для окружающей среды и состояния здоровья населения. Поскольку эти вещества также обладают потенциальной теплотой сгорания, то их можно сжигать в специальных устройствах, преследуя при этом две цели – обеззараживание газовых выбросов промышленных предприятий и получение дополнительной тепловой энергии.

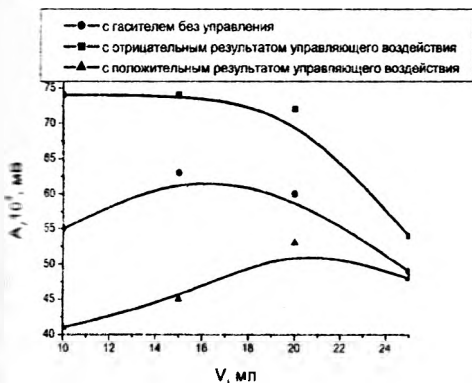
Использование физических характеристик новых компонентов газовых выбросов позволит студентам более полно освоить методику расчета характеристик термического метода очистки газовых выбросов и обоснованно применять ее на практике.

Энергоэффективные технологии

Импульсное магнитожидкостное демпфирующее устройство

Баштовой В.Г., Рекс А.Г., Климович С.В., Моцар А.А.
Белорусский национальный технический университет

В работе рассмотрена модель магнитожидкостного динамического гасителя колебаний, предназначенного для гашения свободных и вынужденных вибраций в условиях невесомости, в частности для стабилизации протяженных элементов конструкций космических аппаратов, например, солнечных панелей, спутниковых антенн. Гаситель колебаний представляет собой корпус, внутри которого располагается инерционная масса, являющаяся одновременно и диссипативным элементом. В качестве инерционной массы используется источник магнитного поля, покрытый магнитной жидкостью, которая удерживается на нем за счет сил магнитного притяжения. Источник магнитного поля представляет собой постоянный кольцевой магнит, в отверстие которого вставлен электромагнит с сердечником. Инерционная масса имеет



возможность свободного перемещения в корпусе. При изменении величины тока, подаваемого на электромагнит, происходит изменение суммарной индуктивности поля магнитной системы, что в свою очередь приводит к перераспределению жидкости на ее поверхности и как следствие к изменению упруго-демпфирующих характеристик устройства. В результате проведенных

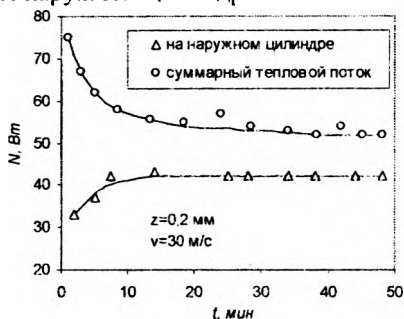
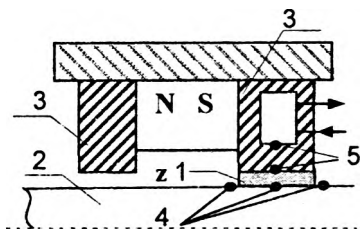
исследований установлено влияние формы поверхности инерционной массы на демпфирующие характеристики устройства. Определен возможный диапазон регулирования жесткости гасителя колебаний для различных объемов заполнения корпуса магнитной жидкостью. Исследования показывают, что диапазон регулирования упруго-демпфирующих характеристик устройства снижается при увеличении объема магнитной жидкости в его корпусе. Наилучшей управляемостью обладает гаситель колебаний с объемом магнитной жидкости 10 миллилитров.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

Определение тепловыделений при диссипативном разогреве магнитной жидкости в зазоре между цилиндрами

Чернобай В.А., Погирицкая С.Г., Лабкович О.Н.
Белорусский национальный технический университет

Применение магнитных жидкостей в качестве смазки для подшипников скольжения и в магнитожидкостных уплотнениях обычно ограничивается окружными скоростями вала до 10 м/с. Целью данной работы является экспериментальное измерение температуры и определение тепловыделений при диссипативном разогреве магнитной жидкости в зазоре между цилиндрами при больших скоростях. В эксперименте использовалась магнитная жидкость на основе трансформаторного масла и магнетита с однородностью частиц магнетита размером 9,2-12 нм, намагнитенностью насыщения магнитной жидкости $M_s=70$ кА/м. Магнитная жидкость 1 контактировала с валом 2 (внутренним цилиндром), магнитопроводом 3 (наружным цилиндром) и воздухом. Экспериментально было установлено, что теплопередачей в воздух можно пренебречь. Основной отвод тепла осуществлялся через цилиндры. Мощность тепловыделений определялась из показаний термопар 4 на внутреннем цилиндре и охлаждаемом наружном цилиндре 5.



Мощность тепловыделений при постоянной окружной скорости внутреннего цилиндра сначала уменьшалась во времени, что объясняется сильной зависимостью вязкости магнитной жидкости от температуры, а затем не менялась при выходе на стационарный тепловой режим. Время выхода на стационарный тепловой режим сокращалось с увеличением скорости вращения. При дальнейшем вращении цилиндра наступала ситуация, когда термопары показывали одинаковую температуру цилиндра в осевом направлении, то есть тепловой поток через внутренний цилиндр не передавался.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

Плавление немагнитного тела в магнитной жидкости под воздействием
неоднородного магнитного поля *

Климович С.В.¹, Балабанова О.В.²

Белорусский национальный технический университет¹,
УЗ «10-я Минская городская больница»²

В работе исследовались процессы магнитофореза и броуновской диффузии в неоднородном магнитном поле приводящие к перераспределению концентрации частиц в магнитной жидкости (МЖ). Исследования выполнены на установке, приведенной, на рисунке 1. Кювета (1), с магнитной жидкостью на основе керосина МК-28 (2), расположена на основании из немагнитного материала (5), установленного на концентраторах (6) неоднородного магнитного поля, источник поля U-образный постоянный магнит (7). С напряженностью магнитного поля в рабочей зоне $H_{\max}=144$ кА/м, и градиентом поля $grad H=1247$ кА/м². В кювету погружено немагнитное тело (3) в виде диска, МЖ является непрозрачной средой, для регистрации положения тела на него установлен маяк из немагнитного материала (4). Регистрация положения тела в различных объемах МЖ ($V=25$ и 8 мл) осуществлялось измерением положения координаты вершины маяка катетометром КМ-8 (8), прибор обеспечивает измерение с точностью до 0,01 мм. В качестве немагнитного тела использован диск из оргстекла (высотой 7 мм и диаметром 23 мм). Во времени в неоднородном магнитном поле происходит перекоцентрация магнитных частиц, в сторону дна сосуда с МЖ, где поле больше которая зависит от объема МЖ. В области расположения немагнитного диска концентрация частиц уменьшается, уменьшается и намагниченность МЖ. Выталкивающая магнитная сила в данной области уменьшается, немагнитное тело погружается вниз, до наступления условия равновесия. Экспериментальные зависимости абсолютного перемещения диска во времени, приведены на рисунке 2.

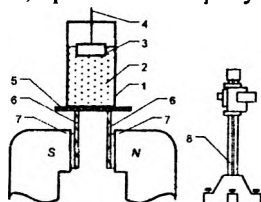


Рисунок 1

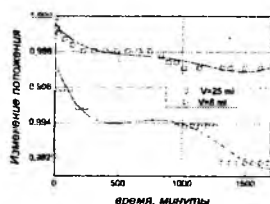


Рисунок 2

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

* Работа выполнена под руководством Баштового В.Г., Рекса А.Г.

Разработка метода эмульгирования для синтеза магнитных жидкостейБаштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Сулоева Л.В.¹, Кужир П.П.², Моцар А.А.¹¹Белорусский национальный технический университет,²Университет Ниццы-София Антиполис (Франция)

Магнитные жидкости (МЖ) находят широкое применение в промышленности. МЖ представляют собой устойчивые коллоидные растворы состоящие 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). На свойства МЖ большое влияние оказывает выбор не только дисперсной феррофазы, ПАВ но и жидкости-носителя, а также способ получения магнитных жидкостей.

Для ускорения процесса синтеза МЖ на основе магнетита предлагается осуществлять осаждение магнетита и его пептизацию одновременно методом эмульгирования. Эмульсии представляют собой дисперсные системы, состоящие из мелких капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде).

Методы получения эмульсий, как и любой другой дисперсной системы, можно разделить на конденсационные и диспергационные. При синтезе МЖ, эмульсии получали диспергированием смеси ПАВ и жидкости – носителя, в растворе солей 2- и 3- валентного железа методом взбалтывания. Диспергирование взбалтыванием производилось путем возвратно-поступательного движения сосуда, в котором находится смесь жидкостей.

Методика получения МЖ методом эмульгирования заключается в следующем. Приготавливают смесь водных растворов солей двух- и трехвалентного железа (сульфатов, хлоридов) и смесь раствора олеиновой кислоты в жидкости-носителе. Полученные смеси подвергают эмульгированию методом взбалтывания. Добавляют к полученной эмульгированной смеси при перемешивании 25% водный раствор аммиака. При этом образуется концентрат МЖ, который промывают водой и диспергируют в необходимом количестве жидкости-носителя. Длительность процесса получения МЖ составляет 1-1,2 часа. Объединение процессов осаждения магнетита и его пептизации в один процесс позволяет значительно ускорить процесс получения магнитных жидкостей. МЖ, полученные методом эмульгирования, устойчивы к действию центробежных магнитных и гравитационных сил.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

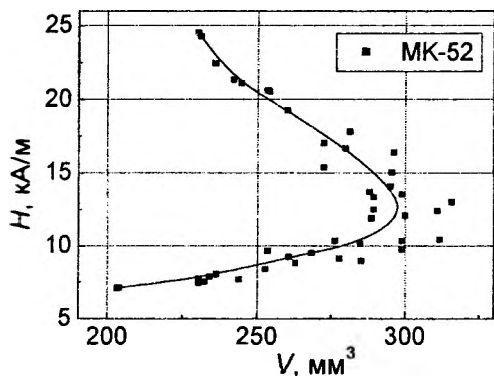
Исследование топологической неустойчивости капли магнитной жидкости на пластине

Баштовой В.Г., Аль-Джаиш Таха
Белорусский национальный технический университет

Одним из интересных явлений, наблюдаемых в объемах магнитной жидкости, ограниченных частично свободной и твердыми поверхностями, является их распад на части при определенных критических значениях однородного магнитного поля, так называемая топологическая неустойчивость.

Проведенные в настоящей работе экспериментальные исследования в широком диапазоне напряженности магнитного поля H и намагниченности насыщения магнитной жидкости показали, что изначально сформированная капля магнитной жидкости расположенная на горизонтальной плоской поверхности в перпендикулярном к ней однородном магнитном поле, проявляет топологическую неустойчивость как при последующем увеличении напряженности магнитного поля, так и при ее уменьшении.

Таким образом, топологическая неустойчивость капли характеризуется двумя критическими значениями напряженности – верхним и нижним, которые зависят от намагниченности жидкости и начального объема капли.



Характерной особенностью в этом процессе является изменение формы боковой поверхности капли с выпуклой на вогнутую.

Типичные зависимости критических значений напряженности магнитного поля H от объема капли V и соответствующие формы капли магнитной жидкости на основе керосина МК-52 с намагниченностью насы-

щения 52,1 кА/м представлены ниже на рисунке.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Исследование приповерхностного слоя магнитной жидкости при барботаже воздухом

Рекс А.Г., Трусевич Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Данная работа посвящена моделированию гидродинамических процессов вблизи теплоотдающей поверхности, происходящих при кипении магнитной жидкости в однородном магнитном поле.

Установленное влияние величины и направления поля на теплоотдачу при кипении магнитной жидкости побудило выполнить исследования механизма воздействия поля на этот процесс.

Формирование потока пузырей у плоской поверхности осуществлено продуванием воздуха через горизонтальную пористую пластину. Газонасыщенность приповерхностного слоя магнитной жидкости определена методом измерения емкости конденсатора, обкладками которого являются пористая пластина и натянутая вдоль пластины тонкая проволока (рисунок 1). Установлена зависимость газонасыщенности от направления и величины поля. В поперечном к пластине магнитном поле пузыри воздуха вытягиваются вдоль поля (рисунок 1), их поперечный размер уменьшается. Из-за этого газонасыщенность приповерхностного слоя жидкости уменьшается, что ведет к увеличению емкости и тем большему, чем больше напряженность магнитного поля (рисунок 2). В продольном же поле характер зависимости обратный - емкость падает с увеличением поля, что связано с оттеснением жидкости из приповерхностной зоны вытянутыми пузырями вдоль пластины.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.



Рисунок 1

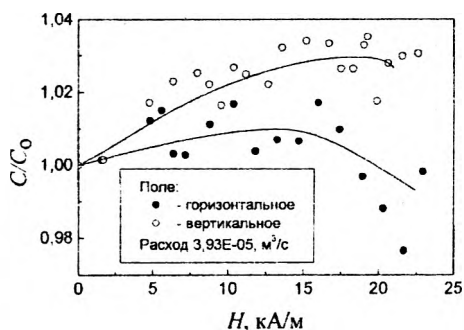


Рисунок 2

Повышение энергоэффективности зданий путем применения солнечного воздушного отопления

Червинский В.Л.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на отопление зданий и сооружений в Республике Беларусь расходуется около 38% вырабатываемой тепловой энергии. Потенциал энергосбережения в отоплении по самым скромным подсчетам составляет около 30%.

Значительную долю при этом составляет экономия за счет применения систем солнечного отопления и горячего водоснабжения. Системы солнечного отопления различаются по применяемому энергоносителю и могут быть жидкостными и воздушными.

Для выяснения эффективности солнечного воздушного отопления была создана солнечная воздушная отопительная система на базе дачного домика, состоящего из двух комнат общей площадью 16 кв.м. Основу ее составляет железная жестяная крыша площадью 36 кв. м, окрашенная суриком в темный цвет.

Для анализа возможности солнечного отопления и его теплового потенциала было проведено исследование температурных диапазонов в подкрышном чердачном пространстве и в комнатах в течение 6 дней.

Была проведена запись температуры внутренней стороны крыши с южной и с северной сторон крыши, а также в одной из комнат.

Результаты одной записи показаны на рис.1, из которого видно, что диапазон колебаний температуры воздуха в чердачном пространстве составляет от +5 до +50 град.С. Эти исследования составят основу для создания устройства солнечного воздушного отопления.

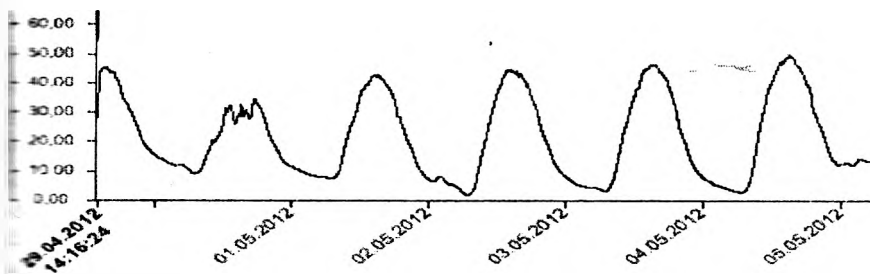


Рис.1. График изменения температуры воздуха в чердачном пространстве в течение 6 суток

Экспериментальное исследование параметров гидродинамической кавитации в проточных каналах смесителейКухарчук И.Г.¹, Чорный А.Д.²Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси¹
Белорусский национальный технический университет²

Экспериментальное изучение процессов в турбулентном потоке жидкости при гидродинамической кавитации проводилось на разработанной лабораторной установке для изучения гидродинамической кавитации в потоках вязких жидкостей (вязкость близка вязкости воды).

Отличительной особенностью установки является ее модульное конструктивное исполнение кавитационного блока для исследования каналов различной геометрической конфигурации. Расчеты по методике определения величины сопротивления канала с учетом наличия гидродинамической кавитации показали, что в исследуемом диапазоне расходов (вплоть до $Q = 31$ л/мин) корректирующий коэффициент между экспериментальным и расчетным давлениями составил $0,17-0,2$. Из проведенных экспериментов следует, что определение числа кавитации согласно традиционной теории обтекания профилей не отражает влияния интенсивности кавитации при движении жидкости в каналах, т. к. не учитывается статическое давление в области схлопывания пузырьков.

Из экспериментальных данных по влиянию эжекции воздуха и воды, а также изменения общего расхода на интенсивность кавитации и величину скорости звука в потоке следует, что рост давления в активной зоне (области схлопывания пузырьков) положительно сказывается на величине амплитуды звукового давления. При давлении на входе в кавитационный модуль 58 атм и избыточном давлении в активной зоне 0,3 атм максимальное зарегистрированное давление ударной волны составляло 500 атм. Увеличение скорости потока приводило к увеличению растягивающих напряжений в жидкости, что приводило к увеличению числа пузырьков (либо увеличению их размеров).

Частотный анализ при кавитационном режиме движения жидкости продемонстрировал, что возможными направлениями решения задачи создания новых кавитационных установок являются расчет и конструирование каналов с реализацией резонансных частот, совпадающих с наиболее энергонесущими частотами конкретного сигнала либо создание каналов с множеством резонансных частот (канал сложной формы) и экспериментальный подбор расхода жидкости и давления в зоне схлопывания пузырьков для установления резонансных режимов.

Моделирование аэродинамики крылового профиля в виртуальной аэродинамической трубе

Дударева И.Г.¹, Кухарчук И.Г.², Чорный А.Д.³

Белорусский государственный университет¹

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси²

Белорусский национальный технический университет³

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция сочетания традиционных инженерных подходов, лабораторных и стендовых испытаний с возможностями компьютерного моделирования при изучении аэродинамики объектов сложной конфигурации (автотранспортные средства, летательные аппараты, здания и различные архитектурные сооружения, лопасти турбин и т. д.).

Оценка сил и их моментов, действующих со стороны набегающего потока на поверхность изучаемого объекта, проводится с помощью экспериментальных опытов на масштабных моделях в аэродинамических трубах, что на стадии разработки и оптимизации первичной конструкции объекта является достаточно затратным как по времени, так и по привлекаемым ресурсам.

Поэтому в таком анализе возрастает роль пакетов прикладных программ (виртуальных аэродинамических труб), позволяющих инженерам не только рассчитывать, но и обрабатывать и интерпретировать результаты.

В задачах моделирования обтекания элементов конструкций летательных аппаратов, турбин, ветровых установок (крыловых профилей, лопаток турбин и т.д.) интенсивно применяется метод конечных объемов (МКО), основанный на дискретизации традиционных уравнений Навье-Стокса.

Его преимущество состоит в возможности моделирования с учетом влияния сжимаемости, вязкости среды, турбулентного переноса и т. д. МКО дает информацию об изменении структуры потока как у обтекаемой поверхности, так и в окружающем ее пространстве.

В настоящей работе рассмотрен расчет методом конечных объемов основных аэродинамических характеристик крылового профиля с помощью программных пакетов Virtual Wind Tunnel (CHAM) и SolidWorks Flow Simulation и проводится сравнительный анализ их эффективности.

Анализ проводился по коэффициенту лобового сопротивления, коэффициенту подъемной силы, аэродинамическим силам и моментам при различных углах атаки.

Аэродинамика и теплообмен при течении теплоносителя в круглой трубе с продольным внутренним оребрением

Жукова Ю.В.¹, Киреенко А.В.²

Белорусский национальный технический университет¹

Белорусский государственный университет²

Газовые котлы предназначены для нагрева воды в системах отопления и горячего водоснабжения. Тепловая энергия для подогрева воды производится за счет сжигания природного газа или пропана с воздухом, а сжигание происходит в закрытой камере сгорания, интегрированной в теплообменник, при этом в теплообменнике осуществляется нагрев воды и охлаждение продуктов сгорания.

Технико-экономический анализ показал, что сокращение осевой длины теплообменника и перепада давления на газовом тракте являются перспективными задачами с точки зрения повышения коммерческой эффективности котлов. В связи с этим, было проведено исследование по оптимизации оребрения. Задача оптимизации профиля оребренной поверхности осуществлялась за счет нахождения оптимальной высоты ребер и удовлетворительного межреберного расстояния. Оценка эффективности предложенных мероприятий по интенсификации теплообмена проводилась по степени охлаждения газа и по подогреву воды.

Участок теплообменника, выбранный для исследования, расположен ниже камеры сгорания и соответствует участку минимальных температур продуктов сгорания. Основным элементом теплообменника является оребренная труба.

Ребра трубы являются продольными, направленными радиально внутрь. Оребренная поверхность трубы совместно с вытеснителем формируют проточный тракт продуктов сгорания в виде равномерно расположенных по окружности межреберных каналов и кольцевой щели между ребрами и вытеснителем.

Выбранный метод исследования – численное моделирование – дает возможность исследовать поставленную задачу в более широком диапазоне граничных условий с меньшими экономическими затратами. Для этого решались 3D уравнения Навье–Стокса, осредненные по Рейнольдсу, уравнение неразрывности и уравнение энергии.

Для замыкания была использована $k-\omega$ модель сдвиговых напряжений Ментера, адаптированная для случая переходного режима в канале. Задавались массовый расход и температура дымовых газов и охлаждающей воды на входе, на выходе – мягкие граничные условия.

Методика расчета расходов природного газа на вытеснение сжиженных углеводородов

Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Расход природного газа при вытеснении сжиженных углеводородов (СУГ) состоит из двух частей: расход на заполнение объема вытесненной жидкости и расход на растворение метана в вытесняемом СУГ. Первая часть этого расхода зависит только от объема резервуара и давления вытеснения, вторая – ещё и от времени вытеснения. В конце вытеснения СУГ весь опорожняемый резервуар заполнен паровой фазой, в которой парциальное давление метана равно p_M и полная масса метана в резервуаре определяется из уравнения Клапейрона-Менделеева. Так как при подавливании природным газом наблюдается проникновение метана в СУГ, а не наоборот, то эта масса должна быть доставлена из источников наддува. Вторая составляющая расхода природного газа определяется исходя из того, что количество молей метана N , продиффундировавшего в СУГ за время t через площадь поверхности жидкой фазы S определяется следующим образом

$$N = 2(C_{MS} - C_0)S \sqrt{\frac{Dt}{\pi}}$$

Здесь C_{MS} – объёмная концентрация метана на поверхности жидкой фазы.

Переходя от количества молей к массе, пренебрегая начальной концентрацией метана по сравнению с концентрацией насыщения C_{MS} , суммируя обе составляющие расхода природного газа, получим полный его расход

$$M = p_M \mu_M \left(\frac{V}{RT} + \frac{2S}{F_M(p, T) v_M} \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \right),$$

Чтобы рассчитать расход метана, необходимо задать объем резервуара V , максимальную площадь поверхности жидкой фазы S (площадь проекции резервуара на горизонтальную плоскость), парциальное давление метана при вытеснении p_M , температуру СУГ T , время вытеснения t . Коэффициент диффузии D можно определить по известной температуре и составу СУГ или взять среднее значение $D = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$. Средний молекулярный объем СУГ v_M легко рассчитать. Функция фугитивности метана $F_M(p, T)$ рассчитывается по известной температуре и давлению в паровой фазе p .

Одоризирующие устройства

Кривошеев Ю.К., Зверок А.С.

Белорусский национальный технический университет

По способу введения одоранта в природный газ существующие одоризирующие устройства можно подразделить на два больших класса: одоризаторы гидравлического типа и одоризаторы испарительного типа. Действие первых основано на принудительной подаче жидкого одоранта в газопровод каким-либо гидравлическим устройством обычно с использованием различных способов автоматического управления количеством подаваемого одоранта в зависимости от расхода газа: подразделяются на капельные, инжекционные, дозаторные. Действие вторых основано на ответвлении небольшой доли газового потока и насыщении его парами одоранта. Одоризаторы этого типа подразделяются на барботажные и конвективные. Всем приведенным технологическим схемам присущи те или иные недостатки и преимущества. Одоризаторы гидравлического типа для достижения хороших показателей по точности одоризации нуждаются в сложных исполнительных механизмах, схемах обратной связи, содержат большое число механических подвижных элементов, что не всегда оправдано для ГРС малых и средних расходов.

Наиболее качественная одоризация газа с постоянной концентрацией одоранта в газе может быть получена при испарительно-конвективной схеме подачи одоранта, обеспечивающей равномерность одоризации при оптимальном расходе одоранта. Эта схема сочетает в себе также преимущества, как простота и надежность, сравнительно невысокая стоимость, высокую точность одоризации, обусловленную естественно возникающей в такой схеме пропорциональностью расходов газа и одоранта при условии термостабилизации испарительной камеры. При этом требуется простое оборудование без каких-либо двигателей и механизмов, что увеличивает его надежность в эксплуатации. Однако при больших расходах газа (более 200000 куб.м/час) приходится отказываться от испарительной схемы подачи одоранта, так как резко возрастают габариты одоризатора.

Общим недостатком всех применяемых одоризаторов является то, что количество подаваемого одоранта регулируется вручную или автоматически в зависимости от расхода газа, в то как время контролируемым параметром должен быть уровень одоризации у потребителя газа, т.е. необходимо обратная связь (сигнал) на одоризатор от датчика концентрации одоранта у потребителя, что повысит точность и качество одоризации.

Снижение норм расхода ТЭР – путь к эффективности производств

Мататов В.И.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь нормирование потребления ТЭР осуществляется на всех уровнях планирования хозяйственной деятельности организаций в соответствии с законодательством, постановлениями республиканских органов государственного управления, контроля и надзора за эффективным использованием энергетических ресурсов. Основная задача нормирования топливно-энергетических ресурсов (далее ТЭР) - обеспечение применения при планировании организациями по выпуску продукции (выполнению работ, услуг) технически обоснованных норм расхода топлива, тепловой и электрической энергии с учётом существующих в рассматриваемый период технических и экономических условий, в которых находятся рассматриваемые производства. Общепроизводственные (общезаводские) нормы расхода ТЭР отражаются в государственной форме статистической отчётности 4-нормы ТЭР, где они увязаны за соответствующий отчётный период с рядом других экономических показателей хозяйственной деятельности организации:

- выпуск продукции (выполнение работ, услуг); расходы энергии на всю произведенную продукцию (выполненные работы, услуги); фактические, текущие (планируемые) нормы расхода ТЭР в сравнении за соответствующие отчётные периоды.

Технико-экономические показатели (расчёты) организаций включают в себя:

- анализ условий функционирования организации, системы её энергоснабжения; выбор оптимального варианта функционирования и анализ условий сохранения оптимальности данного (базового) варианта в перспективном периоде; обоснование, расчёт и анализ эффективности производства, фактические расходы ТЭР организацией на выпуск продукции (выполнение работ, услуг) с учётом технически разработанных норм.

Определение технически и экономически обоснованных расходов ТЭР позволяет выполнить анализ структуры затрат на энергоресурсы в общей структуре финансовых затрат организации в текущем и в перспективном периодах. Следовательно, технически и экономически обоснованные нормы расхода ТЭР выполняют функцию экономической категории при оценке хозяйственной деятельности организаций по выпуску продукции (выполнению работ, услуг).

Исследование температурного поля подземных теплопроводов

Хотин Е.Ю., Янцевич И.В.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе составлена программа, позволяющая построить и проанализировать температурное поле (рис. 1), возникающее вследствие тепловых потерь вокруг подземных теплопроводов.

Для расчета и дальнейшего построения температурного поля использовалась эмпирическая зависимость температуры в любой точке грунта t_{xy} от следующих параметров:

$$t_{xy} = f(t_o, t, R_{xy}^{TP}, R_{1,2}, R_l),$$

где t_o и t – соответственно температура окружающей среды и теплоносителя, °С;

R_{xy}^{TP} – термическое сопротивление внешнего слоя грунта за точкой с координатами x и y ; м·К/Вт;

$R_{1,2}$ – дополнительное термическое сопротивление взаимного влияния теплопроводов, м·К/Вт;

R_l – полное термическое сопротивление, м·К/Вт.

Исследуется возможность использования температурного поля теплопровода в целях утилизации теплоты, неизбежно теряемой теплоносителем.

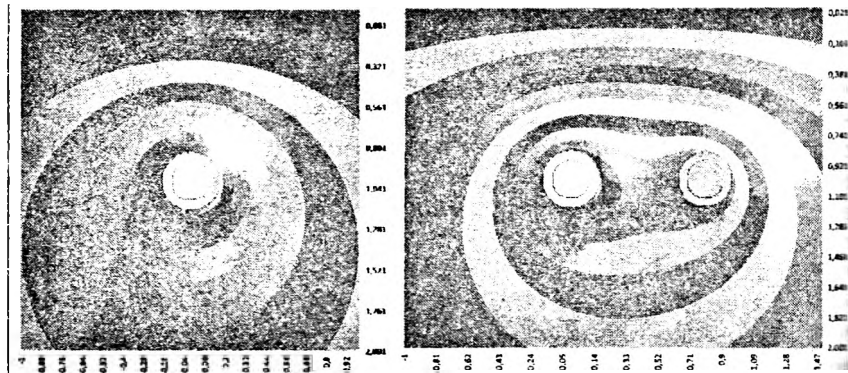


Рис. 1. Температурное поле вокруг однотрубного и двухтрубного теплопровода

Палудикультура как перспективный источник местных видов топлива

Лейченко Н.С., Хутская Н.Г.

Белорусский национальный технический университет

Одним из перспективных источников местных видов топлива на территории Республики Беларусь является палудикультура (от лат. «palus»= болото) – выращивание биомассы на влажных и заболоченных торфяниках. Она является инновационной альтернативой обычным, основанным на осушении торфяников, сельскому хозяйству и лесоводству. Богатые питательными веществами болотные луга после повторного заболачивания могут быть преобразованы в высокопродуктивные насаждения тростника обыкновенного *Phragmites Australis*, канареечника *Phalaris arundinacea*, рогоза *Typha latifolia*, *T. angustifolia* или черной ольхи *Alnus glutinosa*. Низкое содержание питательных веществ делает растения малопригодными для использования в качестве кормов.

Уборка биомассы осуществляется специально разработанным комбайном и прицепом на гусеничном ходу, адаптированными к условиям высокого уровня воды и проходит в осенне-зимний период, т.к влажность её достаточно низкая для хранения и последующей переработки в твердое обогороженное биотопливо [1]. Основные характеристики биомассы приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики биомассы [1], [2]

Виды биомассы	Продуктивность, т га ⁻¹ – год ⁻¹	Теплотворная способность, МДж/кг	Влажность, %	Зольность, %	Температура плавления золы, °С
Овсяница тростниковая (<i>Festuca arundinacea</i>)	н/д	16,4	н/д	н/д	н/д
Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	3,6 – 43,5	17,5 – 17,7	29,0	3,2 – 5,12	1350
Канареечник (<i>Phalaris arundinacea</i>)	3,5 – 22,5	16,9	30,3	4,3 - 8	1070 - 1400

Литература

1. Таннебергер, Ф., Вихтман, В. (2011): Углеродные кредиты и заболачивание деградированных торфяников. Schweizerbart, Stuttgart , с. 107 - 128
2. Таннебергер, Ф., Вихтман, В. (2009): Использование растительной биомассы на повторно заболоченных торфяниках как вклад в сохранение климата и биологического разнообразия в Беларуси. с. 87 – 108.

Методика расчета комплексной термодинамической эффективности процессов термохимической конверсии биомассы

Пальченко Г.И., Хутская Н.Г.

Белорусский национальный технический университет

Удельная эксергия биомассы, как и других твердых биотоплив, приведенных на диаграмме ван Кревелена, рассчитывается по эмпирической формуле

$e_{\text{хол,био}} = \beta Q_u^p$, где коррелирующий множитель

$$\beta = \frac{1.044 + 0.016(H/C) - 0.3493(O/C)[1 + 0.0531(H/C)] + 0.0493(N/C)}{1 - 0.4124(O/C)}$$

H, C, O, N – мольные доли компонентов в биомассе.

Показатели термодинамической эффективности рассчитываются как для собственно процесса конверсии биомассы, так и для системы производства вторичного топлива и (или) энергии на его основе, включающей все вспомогательные процессы и устройства. Наиболее распространенным в инженерной практике методом оценки эффективности является *КПД конверсии*, основанный на отношении потоков химических энергий (теплот сгорания) продуктов и исходной биомассы

$$\eta = \frac{H_{\text{шт}}}{H_{\text{топл}}}, \text{ где } H_{\text{шт}} \text{ и } H_{\text{топл}} - \text{ потоки энтальпии целевого продукта}$$

конверсии (генераторный газ или биоуголь) и исходного топлива.

Этот показатель имеет ряд недостатков: нет однозначного мнения о том, на высшей или низшей теплоте сгорания он должен быть основан, он учитывает только энергию холодного топлива, хотя при использовании вторичного топлива на месте производства его физическая энергия сопоставима с химической.

Более обоснованными показателями энергетической эффективности процесса конверсии являются *термический КПД*

$$\eta = \frac{H_{\text{шт}} + H_{\text{п}} + H_{\text{мп}}}{H_{\text{топл}} + H_{\text{пр}}} \text{ и энергетический КПД}$$

$$\eta = \frac{H_{\text{шт}} + H_{\text{п}} + H_{\text{мп}}}{H_{\text{топл}} + H_{\text{пр}} + H_{\text{эз}} + H_{\text{в}} + H_{\text{к(в)}}} \text{ где } H_{\text{мп}} - \text{ поток энтальпии побочных}$$

продуктов конверсии (например, биоугля при газификации), $H_{\text{эз}}$, $H_{\text{в}}$, $H_{\text{к(в)}}$ – тепловые эквиваленты израсходованных электроэнергии, воды и кислорода (воздуха).

Расчет равновесного состава продуктов термохимической конверсии растительной биомассы

Хутская Н.Г., Пальченко Г.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящей работе термодинамически равновесный состав продуктов конверсии рассчитывался с помощью пакета СЕА, разработанного Льюисовским исследовательским центром НАСА (США) для численного исследования сложных равновесных составов. В пакете используется метод минимизации термодинамических потенциалов – свободной энтальпии Гиббса и свободной энергии Гельмгольца для равновесной смеси газовых и конденсированных компонентов.

Функция Гиббса для смеси компонентов имеет вид

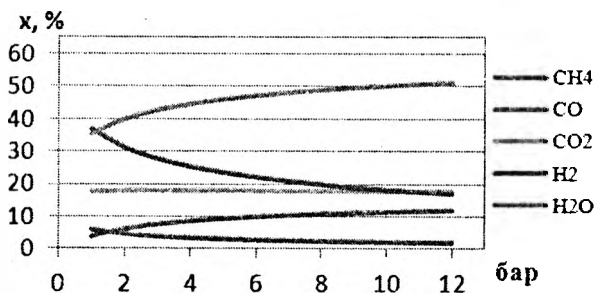
$$G = \sum_{k=1}^K \bar{g}_k N_k \quad (1)$$

Для смесей идеальных газов и идеальных растворов функция Гиббса k -го компонента задается выражением

$$\bar{g}_k = g_k(T, P) + RT \ln X_k \quad (2)$$

Равновесный состав системы при заданных температуре и давлении определяется путем минимизации выражения (3.1) при ограничениях, накладываемых исходным атомарным составом реагентов.

Расчеты равновесного состава проводились для газификации древесных гранул влажностью 8 % (состав рабочей массы: $C^P = 47,5\%$, $H^P = 5,8\%$, $O^P = 38,5\%$, $N^P = 0,1\%$, соответствующий приближенной формуле $CH_{1,4}O_{0,7}$) в потоке перегретого водяного пара ($p = 1-12$ бар, $T = 850$ К, массовое отношение влаги, включая собственную влагу древесины, к горючей массе топлива $W/B = 1.7-4.7$).



Рост давления отрицательно сказывается на качестве газа, приводя к снижению концентраций основных горючих компонентов – H_2 и CO , что компенсируется ростом CH_4 , H_2O .

Использование растительной биомассы для производства твердого обогороженного топлива

Лейченко Н.С., Пальченко Г.И.

Белорусский национальный технический университет

Использование растительной биомассы было положено в основу реализации проекта «Восстановление торфяников Беларуси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия». Это косвенно приведет к сохранению среды обитания вертлявой камышевки (категория охраны: II категория).

Для проведения работ по кошению биомассы на территории ГПУ «Республиканский биологический заказник Споровский» доступно 2000 га, из них 600 га расположены на расстоянии 0 – 15 км от производства со средней производительностью 7т/га СВ, 1400 га расположены на расстоянии 15 - 25 км со средней производительностью 9,6 т/га СВ. Предполагается, что продолжительность опытного кошения составит около 0,5 месяца, а производительность (средняя урожайность) на этапе наладки и освоения средств труда – 71-72% от номинальной ожидаемой (5 тн СВ биомассы с 1 га). Предполагается за это время будет обработано 60 га на близлежащем участке (расстояние – 0-15 км) в результате чего будет получено 455 тн биомассы ВВ (или 303 тн биомассы СВ). Это позволит произвести в течение 4х месяцев 303 тн топочных брикетов (при производительности на этапе освоения на уровне 78-79% от нормативной). Ниже приведены значения себестоимости заготавливаемой биомассы и готовой продукции (табл.1),

Таблица 1. Себестоимость заготавливаемой биомассы и готовой продукции [2]

Наименование показателей	Стоимость в Евро
Себестоимость 1т биомассы (в пересчете на СВ)	24,5
Себестоимость 1 т готовой продукции	88

Производство брикетов из биомассы собранной на повторно заболоченных торфяниках имеют ряд преимуществ, наиболее очевидным из которых является меньшее содержание золы (для торфа: 6% - 20% ; для биомассы: 5% - 8%). Теплота сгорания сухого торфа составляет 17,2 - 20 МДж/кг, а для биомассы собранной на повторно заболоченных торфяниках в среднем около 17,5 МДж/кг в пересчете на сухое вещество.

Перспективные направления производства и использования осветительных приборов

Калининченко М.Л., Калининченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время к вопросам энергосбережения уделяется основное внимание на всех уровнях потребления, начиная от постановлений правительства заканчивая выбором самих потребителей. С развитием технологий всё новые образцы энергосберегающей светотехники приходят на рынок. Современный автомобиль буквально «нашпигован» электроникой, для снижения затрат по энергопотреблению ряд фирм ведёт работы по созданию экономичных осветительных приборов. Недавно на серийных моделях появились светодиодные фары, а в научно-исследовательского центра в городе Гархинг (Garching), уже предлагают новый источник света для головной светотехники – лазер [1]. Для их работы потребуется меньшая мощность и, как следствие, снизится расход энергии и расход топлива. Преимуществ лазерных фар – компактность источников света. По размерам: светодиоды длина около миллиметра, лазерные диоды - 10 мкм. На первый взгляд, в абсолютных единицах разница ничтожная, но не исключено, что она окажется существенной при проектировании новых конструкций. В более глобальных аспектах, а именно применение новых типов светотехники и светоуправляющих технологий можно рассмотреть новые тенденции освещения городских коммуникаций на разработках в области твердотельных светоизлучающих диодов (СИД). Непрерывный, рост световой отдачи СИД, увеличение единичной мощности и освоение выпуска блоков из нескольких светодиодов могут в самое ближайшее время изменить ситуацию с энергосбережением в светотехнике, в том числе и в осветительных установках [2]. Бурное развитие производства СИД и их широкое внедрение обусловлены их несомненными достоинствами: исключительно высокая надёжность; большой срок службы; малые габариты; высокая устойчивость к механическим нагрузкам; способность работать в широком диапазоне температур; экологичность, связанная с отсутствием ртути и других вредных веществ; электрическая безопасность; отсутствие пульсации светового потока. В заключение необходимо отметить, что появление светоизлучающих диодов открывает новые возможности при конструировании световых приборов нового поколения.

Литература

1. www.auto.mail.ru, «Светлое будущее». Просмотр 26.02.2012 года.
2. Майоров, А., Локтин, Ю., Пятигорский, В. Свет в большом городе. «Наука и жизнь» № 2, 2011.

Экологические характеристики и сферы применения озоноразрушающих веществ

Жук Н.П.

Белорусский национальный технический университет

Сфера применения озоноразрушающих веществ — холодильная промышленность, производство вспененных материалов, растворителей, аэрозолей и средств пожаротушения. По степени озоноразрушающей активности их можно разделить на 3 группы:

Хлорфторуглероды (ХФУ) или CFC. Хладагенты типа R11, R12, R13, R113, R500, R502 и R503. Обладают высоким показателем разрушения озонового слоя (ODP) относительно фтортрихлорметана (для R11 принят за «1») и потенциалом глобального потепления (ПГП) относительно двуокиси углерода на расчетный период 100 лет (GWP_{100}) — для CO_2 принят за «1».

Гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) или HCFC. Хладагенты этого типа включают R21, R22, R141b, R142b, R123, R124 и др. Композиции этого типа содержат атомы водорода, оказывают гораздо меньшее влияние на истощение озонового слоя.

Гидрофторуглероды (ГФУ) или HFC. Хладагенты R134a или R404A. ГФУ не содержат хлора, а содержат только водород и фтор, не разрушают озоновый слой и имеют короткий период жизни в атмосфере. ГФУ считаются долгосрочными альтернативными заменителями ХФУ и ГХФУ. Поэтому Монреальский протокол не регулирует их оборот, но они включены в «корзину парниковых газов» Киотского протокола.

Монреальский протокол наложил жесткие экономические ограничения не только на производство и применение ХФУ, но и на торговлю, экспорт и импорт любой холодильной техники, содержащей ХФУ.

В соответствии с решением Монреальского протокола Беларусь наряду с другими странами обязалась ускорить процесс прекращения производства и потребления озоноразрушающих веществ. Прежде всего планируется вывести из обращения ХФУ, используемые в значительной части холодильного оборудования и кондиционеров, которые стоят на белорусских предприятиях. Много устаревшей техники, в частности молокоохладители, используются в сельском хозяйстве. Необходимо заменить оборудование на вагоноремонтных заводах. В Беларуси ремонтируют не только свои, но и российские вагоны, а срок их службы очень велик. Целесообразно заменять их на более безопасные в экологическом плане варианты.

Перспективные изоляционные материалы на основе местных ресурсов

Калиниченко М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Задача изоляционных материалов - обеспечение надежной экономии тепла, непрерывности технологического процесса, безаварийной и безопасной эксплуатации оборудования. К тому же остро стоит вопрос их экологической безопасности и - импортозамещающего сырья. В основном, изоляционные материалы можно разделить на две группы: органические и неорганические. Первые состоят из соединений углерода, которые получают из растений (возобновляемый источник) или из нефтяных продуктов. Неорганическая изоляция состоит из минеральных материалов. Исходя из современных литературных данных, основные виды изоляционных материалов составляют различные типы минеральных и органических ват, пенобетонов, вспененного стекла, а так же ряда органических изоляций [1]. По заданию Минстройархитектуры ГП «Институт НИИСМ» разработано технологию изготовления утеплителя на основе короткого льноволокна [2]. В результате были получены лабораторные образцы изделий плотностью 70-90 кг/м³ и повышенной прочностью из короткого льняного волокна, прошедшего предварительную обработку. В качестве другого альтернативного материала можно представить разработку Гомельских учёных – пеностекло. Этот материал имеет не сложную, хотя и очень энергозатратную технологию производства. В классе ячеистых материалов одно из первых мест занимает ячеистый бетон. В настоящее время он очень популярен на рынке - в Беларуси его производят более десяти крупных заводов. Следующий тип материала – это эковата. Она представляет собой рыхлый и легкий теплоизоляционный материал, который на 80 % состоит из вторичной целлюлозы. Также в ее состав входят антипирен и антисептик. Редко фибролит (материал, который изготавливается из древесной стружки и неорганического вяжущего вещества) и камышит (утеплитель, применяемый в виде плит толщиной до 50 мм, спрессованных из стеблей камыша и скрепленных стальной оцинкованной проволокой). Однако есть примеры использования камыша в качестве утеплителя. Например, применялся при строительстве поселков для переселенцев в Лепельском и Мядельском районах.

Литература

1. Васильев, Н. И. Сравнительные характеристики теплоизоляционных материалов. Энергосбережение. Практикум № 2 март - апрель • 2011.
2. Шайтар, В. Теплоизоляция: нетрадиционная ориентация.

К вопросу применения в Республике Беларусь петротермальной энергии

Милаш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Ресурсы внутрискладного геотермального тепла можно разделить на два направления: локализованные гидротермальные и повсеместно распространенные петротермальные. Первые представлены теплоносителями-флюидами – подземными водами, паром и пароводяной смесью. Вторые представляют собой петротермальную энергию, содержащуюся в «сухих» горячих горных породах, нагреваемых за счет глубинного кондуктивного теплового потока.

В земной коре на глубинах, превышающих 3 – 4 километра, температура твердых пород превышает 100 – 150°C, увеличиваясь до 300 – 400°C при глубинах свыше 6 километров, использование такого теплоэнергетического потенциала представляется весьма перспективным. Российской организацией «Фонд поддержки освоения и развития петротермальной энергетики» «ТЕРМОЛИТЭНЕРГО» разработана технология утилизации тепла глубинной скальной породы земной коры, известной как «усиленная (инженерная) геотермальная система».

Для развития в Республике Беларусь использования петротермальной энергии необходимо провести несколько этапов работ.

Первый этап - изучение возможности и экономической целесообразности использования петротермальной энергии применительно к условиям Республики Беларусь с подключением специалистов Минприроды в том числе и Департамента по геологии, а также Национальной академии наук Беларуси для проведения исследований по определению мест и глубин залегания, температур пористых пластов и зон естественной трещиноватости, проницаемость которых позволяет организовать принудительную фильтрацию теплоносителя с эффективным извлечением энергии горных пород.

Второй этап - развитие данного направления необходимо обсуждение предложений по созданию энергетических установок, доведенных до промышленного освоения.

Извлечение и использование теплоты, аккумулированной в «сухих» горячих горных породах земной коры, с целью выработки на ее основе электроэнергии и тепла целесообразно рассматривать для локальных (децентрализованных) потребителей, расположенных в отдаленных и энергодефицитных районах.

К вопросу использования биогазовых установок в Республике Беларусь

Милаш Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Среди нетрадиционных технологий получения энергии наибольший интерес для Беларуси представляет ее производство на основе биомассы.

В республике начата работа по строительству биогазовых установок согласно Программе строительства энергоисточников, работающих на биогазе, на 2010 – 2012 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 9 июня 2010 г. № 885. Будут введены в эксплуатацию 39 биогазовых установок суммарной электрической мощностью 40,4 МВт, что позволит ежегодно вырабатывать около 340 млн. кВт·ч электрической энергии и замещать импортируемый природный газ в объеме более 145 тыс. тонн условного топлива.

Отходы животноводства и птицеводства являются ценным энергетическим сырьем, на базе которого может быть произведен биогаз с теплотой сгорания 5500 ккал/кг (23045 кДж/кг). Энергетический потенциал этого энергоресурса в Республике оценивается на уровне около 1 млн. т.у.т. По химическому составу биогаз близок к природному газу, 1 м³ биогаза по теплотворной способности соответствует 0.62 м³ природного газа и 0,72 л дизельного топлива.

Как известно, полученный из отходов животноводства биогаз содержит несколько процентов сероводорода, который оказывает вредное воздействие на окружающую среду при сжигании биогаза. Расчеты показывают экономическую выгоду извлечения сероводорода и переработки его в полезную продукцию. То же можно сказать и относительно углекислого газа, удельный вес которого составляет до 25%. Извлекая его, можно наладить получение углекислоты, имеющей высокую ценность и используемой в пищевой промышленности, в первую очередь, для приготовления льда.

Экологический эффект производства энергии на базе данной биомассы не ограничивается только наличием экологически чистого удобрения. Полученная энергия замещает энергию, производимую на тепловых электростанциях и котельных, работающих на природном газе, угле и мазуте. Использование указанных традиционных энергоресурсов приводит к существенным выбросам вредных веществ.

Биогаз, замещая традиционные виды топлива, сокращает объем их использования на существующих электростанциях и котельных и тем самым улучшает экологическую обстановку.

Повышение эффективности системы теплоснабжения

Шумская Е.Е.², Иващенко Е.Ю.¹¹Белорусский национальный технический университет²ГНУ ИТМО НАН Беларуси

В настоящее время в связи с возросшими ценами на энергоносители большое внимания уделяется системам утилизации теплоты различных систем. При работе холодильного оборудования значительное количество теплоты выбрасывается в атмосферу. Это тепло может быть эффективно использовано для нагрева воды или воздуха. Для эффективного применения систем утилизации необходимо, чтобы графики работы холодильной установки и потребления тепловой энергии совпадали, поэтому наиболее целесообразно внедрять теплоутилизационные установки в системах с постоянной выработкой холода. Наиболее перспективно внедрение таких систем на предприятиях пищевой промышленности, торговых объектах, ледовых катках и аренах. Анализ термодинамического цикла холодильной машины показывает, что тепло сжатого в компрессоре пара может быть использовано по двум направлениям: утилизация теплоты перегретого пара после компрессора; утилизация теплоты конденсации хладагента. Для холодильной машины, работающую на хладагенте R404A холодопроизводительностью Q_0 50 кВт, с температурой кипения хладагента -10°C и температурой конденсации 35°C . Схема системы утилизации представлена на рисунке 1, а термодинамический цикл холодильной машины, работающей на хладагенте R404A на рисунке 2.

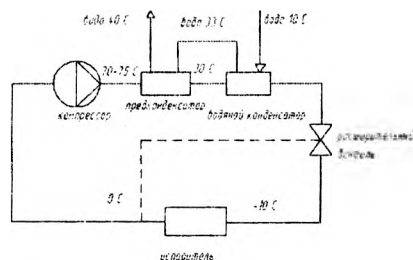


Рисунок 1. Схема системы утилизации

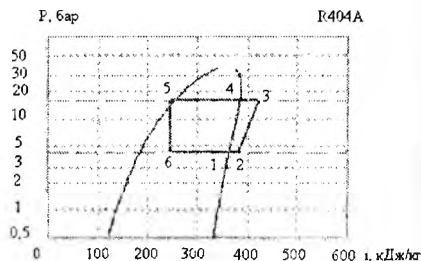


Рисунок 2. Термодинамический цикл холодильной машины, работающей на хладагенте R404A

Предложенная система утилизации тепла конденсации для нагрева воды позволяет получить температуру воды на выходе выше температуры конденсации за счет применения двух ступеней утилизации: водяного конденсатора и предконденсатора.

Получения цементного нанокompозита путем пиролиза углеродсодержащих газов

Василевич С.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса выращивания углеродных нанотрубок в частицах цемента и производства наноцементного композита. Частицы цемента были использованы без какой-либо дополнительной предварительной обработки. Синтез углеродных нанотрубок проводили следующим образом: керамическую емкость с частицами цемента помещали в предварительно разогретый реактор, представляющий собой кварцевую трубку (внутренний диаметр 20 мм), и выдерживали при температуре синтеза углеродных нанотрубок. В состав цемента входят Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO и Al_2O_3 , которые являются носителями катализатора для роста углеродных нанотрубок. Масса исходного цемента – 3 г. При этом через кварцевую трубку пропускали смесь углеродсодержащего газа и азота. В качестве углеродсодержащего газа применялся пропан-бутан. Расход газа составлял: азот – 50 мл/мин; пропан-бутан – 50 мл/мин. После этого реактор охлаждали до комнатной температуры в атмосфере азота. Время продувки газом – 15 минут. Температура в кварцевой трубке была равна 750 и 850 °С. После продувки на поверхности частиц цемента нарастали углеродные нанотрубки. Анализ результатов исследований показал, что в атмосфере пропан-бутана углеродные нанотрубки начинают расти при температуре 700 °С. На рис. 1 показан график зависимости массовой концентрации углеродных нанотрубок в цементном нанокompозите от температуры в реакторе.

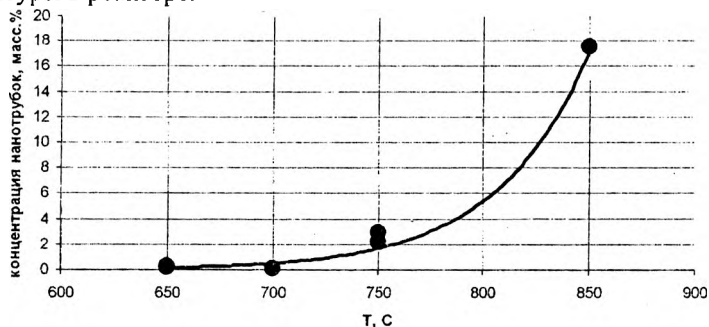


Рис. 1. Экспериментальная зависимость массовой концентрации углеродных нанотрубок в наноцементном композите от температуры в реакторе

Методика формирования общих двухставочных тарифов на тепловую энергию

Савчук Е.Л.
РУП «БелТЭИ»

В настоящей работе представлен прогноз структуры себестоимости тепловой энергии на 2015 год, в основу которого положен анализ существующей системы тарифообразования и технико-экономические показатели функционирования энергосистемы за период с 2009 по 2011 гг. При условиях отсутствия перекрестного субсидирования между тепловой и электрической энергией, а также отмены льготного тарифообразования, выделены условно-постоянное и условно-переменные затраты.

Формирование двухставочных тарифов на тепловую энергию предполагает собой разделение платы за него на две основные ставки: плата за тепловую мощность (основная) и плата за тепловую энергию (дополнительная). Расчет основной ставки можно произвести из учета в ней условно-постоянных затрат энергосистемы на обеспечение потребителей необходимой тепловой мощностью по формуле

$$\Pi_M^{\text{год}} = \frac{З_{\text{пост}} + \Pi_p}{Q_{\text{max}}^{\text{год}}} = \frac{(З_{\text{пост}} + \Pi_p) \cdot (T_{\text{год}} \cdot k_u)}{Q_{\text{отп}}^{\text{общ}}} \quad (1)$$

Дополнительная ставка формируется из учета в ней условно-переменных затрат энергосистемы на отпуск тепловой энергии потребителю. Величина дополнительной ставки определяется по формуле

$$\Pi_{TЭ} = \frac{З_{\text{пер}}}{Q_{\text{отп}}^{\text{общ}}} \quad (2)$$

Окончательное значение общего двухставочного тарифа на тепловую энергию при расчете его на текущий месяц включает в себя сумму двух компонентов и может быть записано в следующем виде

$$T_{TЭ} = \frac{\Pi_M^{\text{год}}}{12} \cdot Q_{\text{норм}}^{\text{январь}} + \Pi_{TЭ} \cdot Q_{TЭ}' \quad (3)$$

Важным моментом при формировании тарифа являлся вопрос о распределении прибыли. В данном случае использован подход, по которому рентабельность от продаж тепловой энергии относится к условно-постоянной ставке, тем самым достигается максимальный эффект выравнивания годового графика поступления денежных средств в энергосистему.

Методика формирования дифференцированных двухставочных тарифов на тепловую энергию

Савчук Е.Л.
РУП «БелТЭИ»

Данная методика разработана на основе общей методики двухставочных тарифов с целью объективного отражения в тарифах затрат энергосистемы на производство, транспорт и распределение тепловой энергии различного вида. Дифференциация в зависимости от удаленности потребителя от источника теплоснабжения учитывается в основной ставке и определяется выражением

$$P_M^{\text{дифф}(год)} = \frac{(Z_{\text{пост}} + Pp - Z_{\text{тр}}^{\text{общ}}) \cdot (T_{\text{год}} \cdot < k_u >)}{Q_{\text{отп}}^{\text{общ}}} + \frac{Z_{\text{тр}}^{\text{общ}}}{L} \cdot L', (1)$$

Дифференциация дополнительной ставки в зависимости от вида теплоносителя определяется энергетической ценностью тепла согласно средневзвешенным повышающим экономическим коэффициентам. Величины платы за тепловую энергию в виде горячей воды и пара определяются по следующим формулам

$$P_{ТЭ}^{\text{г.в.}} = \frac{S_{\text{пер}} \cdot Q_{\text{отп}}^{\text{общ}}}{Q_{\text{отп}}^{\text{г.в.}} + (Q_{\text{отп}}^{\text{пар}} \cdot k_u)}, \quad P_{ТЭ}^{\text{пар}} = \frac{S_{\text{пер}} \cdot Q_{\text{отп}}^{\text{общ}}}{(Q_{\text{отп}}^{\text{г.в.}} / k_u) + Q_{\text{отп}}^{\text{пар}}}. (2)$$

Окончательный расчет месячных двухставочных тарифов на тепловую энергию, дифференцированных в зависимости от удаленности потребителя от источника теплоснабжения и вида отпускаемого теплоносителя для ГПО «Белэнерго» может быть представлен в следующем виде для горячей воды и пара соответственно

$$T_{ТЭ}^{\text{г.в.}} = \frac{P_M^{\text{дифф}(год)}}{12} \cdot Q_{\text{потр}}^{\text{заявл}} + 947,91 \cdot L' + P_{ТЭ}^{\text{г.в.}} \cdot Q_{ТЭ}. (3)$$

$$T_{ТЭ}^{\text{пар}} = \frac{P_M^{\text{дифф}(год)}}{12} \cdot Q_{\text{потр}}^{\text{заявл}} + 947,91 \cdot L' + P_{ТЭ}^{\text{пар}} \cdot Q_{ТЭ}. (4)$$

По сравнению с существующей одноставочной системой тарифообразования на тепловую энергию, предлагаемая методика на уровне ГПО «Белэнерго» способствует перетоку денежных средств из отопительного в неотопительный период в размерах порядка 166,1 млн. \$. Это исключает убыточность теплоснабжающих компаний в летний период и упраздняет необходимость кредитных займов для обслуживания и ремонтов тепловых сетей.

Ресурсы дров топливных в Республике Беларусь для использования на нужды энергетики

Тишкевич Е.О.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее доступным, технически и технологически относительно просто утилизируемым является древесное топливо в виде дров топливных.

За последние годы дрова начали широко использоваться как энергоноситель для местных котельных, сушильных установок, небольших производств, расположенных в основном в сельской местности, поселках и небольших городах.

Общий объем заготовки дров топливных в линейных лесхозах Республики Беларусь составляет свыше 6,2 млн. м³. Дрова топливные составляют 40% от общего объема лесозаготовок.

Если принять общий объем заготовки дров в Беларуси по всем видам рубок за 100 %, то доля главного пользования (1,5 млн. м³) достигает здесь 26 %, промежуточного пользования (2,5 млн. м³) – 42,7 %, прочих рубок (1,8 млн. м³) – 31,2 %.

Анализ территориального распределения объемов вырубаемой дровяной древесины показывает, что наибольшая перспектива заготовки топливного сырья есть в Витебской, Гомельской и Минской областях.

Особо следует выделить Витебскую область, где сравнительно небольшая доля прочих рубок, т.е. объем лесозаготовок более стабилен, чем в других областях.

Весь объем заготавливаемых дров направить на получение энергии на ТЭЦ невозможно, т.к. часть их подлежит использованию в качестве технологического сырья для получения бумаги и плитовых материалов, а еще часть должна быть реализована населению и местным котельным.

Запасы древесного топлива не ограничиваются только дровами и учтенным хворостом - неликвидом. В настоящее время не учитываются и не вывозятся лесосечные отходы. Лишь частично вырубается древесный отпад. Эта древесина наряду с отходами лесопиления и деревообработки является значительным резервом местного топлива для ТЭЦ.

Значительная доля дровяной древесины, заготавливаемой при проведении прочих рубок (34%), представляет собой в основном вырубку усыхающих ельников.

При составлении прогноза лесопользования на перспективу требуется повторный анализ после прекращения усыхания.

Энергоэффективные стеклопакеты с многофункциональных стекол

Шахновская А.А., Соболевский Д.Ю., Ткачева А.Д.
СП «Завод стеклопакетов и архитектурного стекла»

В настоящее время одним из основных требований, предъявляемых к конструкциям зданий и сооружений в новом строительстве и при реконструкции, является рациональное использование энергетических ресурсов. Наиболее эффективным и, что самое главное, малозатратным, энергосберегающим мероприятием является замена обычных стеклопакетов на энергоэффективные стеклопакеты с применением стекла с магнетронным покрытием. Стекло с таким покрытием наносится по технологии *off-line* – методом плазменного распыления в вакууме в специальных магнетронных установках, т.е. наносится на готовое стекло. С помощью данной технологии можно получить стекло с многофункциональным покрытием. Структура покрытия следующая: слой, улучшающий оптические свойства, сокращает отражение видимого света; обеспечивает высокое светопропускание и придаёт нейтральный тон покрытию. Защитный слой защищает чувствительный функциональный слой от механических и химических повреждений. Функциональные слои минимизируют потери тепла путем отражения внутрь помещения инфракрасного (длинноволнового) излучения, исходящего от нагретых предметов (отопительные приборы и другие источники тепла). Также обладают солнцезащитными свойствами при сохранении высокого значения светопропускания, т.е. высокой селективностью (отношение пропускания солнечного света и тепловой энергии). Таким образом, применение в составе стеклопакета многофункциональных стекол позволяет не только снизить затраты на отопление в зимний период, но и уменьшить расход электроэнергии на освещение и кондиционирование в летний период. Использование многофункциональных стекол позволяет снизить потери тепла в стеклопакете, обусловленные инфракрасным (тепловым) излучением, на долю которого приходится до 70% потерь тепла. Величина потерь зависит от излучательной способности ϵ (коэффициент эмиссии) поверхности стекла, а также от разности температур. Особенностью многофункционального стекла является низкий, по сравнению с обычным стеклом, коэффициент эмиссии. Остальные 30 % потерь тепла приходится на потери, обусловленные теплопроводностью стекла, дистанционной рамки и газов. С целью снижения указанных потерь, применяется заполнение межстекольного пространства инертными газами (Ar, Kr, SF₆); применение многокамерных стеклопакетов; применение «теплых» дистанционных рамок из пластика.

УДК 621.313.333.2

Расчет дифференциального рассеяния обмоток статора торцевого электроμηχανического преобразователя

Ерошин С.С., Бова А.Р.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
(г. Луганск, Украина)

Возрастающие потребности промышленности приводят к необходимости увеличения мощностей электрических машин, созданию новых типов машин, а также повышению электроμηχανических параметров машин традиционного исполнения. При проектировании и изготовлении электрических машин малой мощности особенно важно решение следующих задач: повышение качества и надежности, снижение себестоимости и материалоемкости, а также энергопотребления и трудоемкости. Для обеспечения надежности работы электрических машин все большее значение приобретают вопросы, связанные с оптимальным проектированием. Одним из важнейших элементов проектирования является определение электромагнитных параметров, распределение местных потерь и сил, вызванных электромагнитным полем. Объектами для проведения исследования являлись различные варианты исполнения обмоток, а также их взаимное расположение в пазах статора. Для адекватного сравнения обмоток было учтено условие постоянного количества ампер-витков в пазе статора. На основе проведенных исследований влияния расположения и различных вариантов исполнения обмоток электроμηχανического преобразователя получены зависимости распределения электромагнитного поля в области шлицевой зоны статора.

В результате определены типы исполнения обмоток, которые обеспечивают максимальные энергетические показатели асинхронной машины, такие как КПД, вращающий момент при минимальном потреблении электроэнергии. Моделирование электромагнитных полей трехмерных моделей в программном комплексе Maxwell методом конечных элементов подтвердило результаты исследования.

УДК 621.313.17

Методика оптимального проектирования параметров разомкнутого магнитопровода торцевых электромагнитных преобразователей

Ерошин С.С., Бубличенко С.В.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля

Совершенствование и дальнейшее развитие торцевых электромагнитных преобразователей (ЭП) энергии с ротором без

механических опор в настоящее время связано с широким использованием средств вычислительной техники на этапах разработки математических моделей функционирования, их проектирования и эксплуатации. Сложность задач аналитического описания функционирования (ЭП) обусловлена в основном трехмерностью электромагнитных и тепловых полей, их взаимосвязью, нелинейностью и анизотропией свойств ряда электротехнических материалов, неоднородностью тел обмоток возбуждения.

Общий недостаток методов расчета электромагнитного поля в ЭП - это часто принимаемое существенное упрощение топологии электромагнитных и тепловых полей, что и определяет их относительно низкую точность. Точность расчета электромагнитных характеристик в значительной мере определяется точностью расчета кривых намагничивания ЭП (КНЭП), которая в свою очередь в основном зависит от адекватного отображения топологии поля и точности расчетных формул проводимостей воздушных промежутков.

Поэтому разработка методов расчета электромагнитного поля в ЭП, обеспечивающих согласование требований по точности определения их функциональных характеристик и затрат времени является одной из актуальных задач.

Предложена методика оптимального проектирования торцевых электромагнитных преобразователей на базе обобщенных в критериальном виде экспериментальных и теоретических исследований путем разработки математических моделей их функционирования, адаптированных для решения задач проектирования; алгоритмов, программ расчета и синтеза, а также схем питания обмоток.

Это призвано обеспечить в совокупности повышение технико-экономического уровня широкого круга торцевых ЭП с рабочим органом без механических опор.

Информационные технологии и автоматизация

Описание основных функций дистанционного управления локальными объектами энергоблока на программном уровне

Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет

Управление представляет собой совокупность функций, которые выполняются в определенной последовательности и реализуют требуемый алгоритм управления в зависимости от типа объекта. Можно выделить следующие функции.

1. Формирование импульсных команд управления выполняется при появлении команды оператора или команды от подсистемы ФГУ.

2. Контроль питания схемы управления выполняется путем анализа входных сигналов. При нулевом состоянии этих сигналов формируется логический признак ошибки, соответствующий сообщению на панели управления объекта, который автоматически сбрасывается при появлении питания схемы.

3. Контроль состояния каналов ввода-вывода выполняется путем анализа текущего состояния всех модулей, к которым подключаются входные и выходные дискретные сигналы управляемого объекта. При наличии хотя бы одного неработоспособного канала формируется логический признак ошибки, который соответствует сообщению на панели управления объекта. При устранении неисправности, сообщение автоматически сбрасывается.

4. Контроль реализации команд управления выполняется путем анализа всех условий, определяющих возможность выдачи сформированной команды при данных условиях.

5. Формирование признака команды управления выполняется для возможности сохранения способа управления объектом на архивной станции. Признак формируется в виде четырехзначного кода в слове состояния объекта управления при появлении команды пользователя или входного сигнала от ключа. Сформированный признак сохраняется до появления новой команды управления. Сброс признака выполняется только при потере питания или при перезагрузке контроллера.

6. Формирование слова состояния объекта управления выполняется для всех без исключения объектов. Информация, содержащаяся в слове, используется инженерной и операторскими станциями для мнемонического отображения текущего состояния объекта управления в паспортах и на мнемосхемах и выдачи сообщений о возможных нестандартных или ненормальных ситуациях.

Анализ уровня автоматизации процессов страхования

Гутич И.И., Немец Т. Ю.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизация процессов страхования — это последнее слово в разработке комплексных решений для крупных и средних страховых компаний. Подсистема предоставляет высокоэффективные инструменты, позволяющие быстро и качественно решать весь спектр задач страхового бизнеса. Полная интеграция управленческого, финансового, налогового и бухгалтерского учета обеспечивает эффективную поддержку развивающегося бизнеса, позволяет поднять качество управленческих решений и увеличить конкурентоспособность организации.

Автоматизация процессов страхования представляет собой распределённый программный комплекс. Типовыми аппаратно-программными узлами подсистемы являются:

1. База данных – совокупность серверных компьютеров с повышенными аппаратными требованиями. Она предназначена для хранения и консолидации информации подсистемы при помощи механизма репликации.

2. Сервер приложений – серверный компьютер с повышенными аппаратными требованиями. Предназначен для обеспечения обмена информацией между терминалом и базой данных.

3. Терминал – персональный компьютер с определёнными минимальными аппаратными требованиями. Предназначен для ввода оперативной информации.

В основе подсистемы автоматизации находится центральная унифицированная база данных, доступ к которой осуществляется на базе трехуровневой архитектуры, что обеспечивает возможность одновременного доступа к подсистеме большого числа пользователей. При этом подсистема позволяет сократить объемы передаваемых статических данных, что позволяет качественно работать удаленным пользователям в режиме реального времени.

Функционал подсистемы базируется на принципе модульности. Подсистема состоит из набора компонентов, которые тесно взаимодействуют друг с другом. Каждый компонент является функционально-самостоятельным, может работать независимо от других и предназначен для автоматизации определенного бизнес-процесса. Это обеспечивает возможность доработки подсистемы и наращиваемости в будущем.

Обзор управляющих и информационных систем на ТЭС

Бранкевич Э.С., Лобовкин М.И., Самойленко А.В., Гутич И.И.
Белорусский национальный технический университет

Производство электроэнергии является сложным технологическим процессом, но вместе с тем он является и одним из самых подготовленных для автоматизации, потому что:

- управление производится с одного места;
- весь процесс можно разделить на циклы и проводить поэтапную автоматизацию;
- четко прописан порядок управления (наличие алгоритмов);
- наличие дистанционного управления и средств измерений.

На современных ТЭС как правило реализованы следующие технологические системы управления.

1. АСУ ТП:

- АСУ ТП котлоагрегатов,
- АСУ ТП турбоагрегата,
- АСУ ТП электрической части энергоблока,
- систему расчета технико-экономических показателей энергоблока,
- систему регистрации и архивации событий.

2. Общестанционные системы:

- АСУ ТП электротехническим оборудованием (АСКУ ЭТО) реализующие управляющие и информационные функции, реализующие управляющие и информационные функции;

- система автоматического регулирования напряжения ТЭС (САРН) реализует функции задания и поддержания заданной величины напряжения на шинах ТЭС, распределяет реактивную энергию между энергоблоками, распределяет реактивную энергию между энергоблоками, рассчитывает запас статической устойчивости генераторов;

- локальная подсистема (сеть) релейной защиты и автоматики (РЗА) позволяет получать информацию непосредственно от микропроцессорных терминалов защит нормальных и аварийных режимах, обеспечивает изменение установок РЗА с удаленного АРМ, а также архивацию информации;

- локальная подсистема (сеть) цифровых регистраторов предназначена для регистрации сигналов электрических присоединений, формирование массивов аварийной информации, указание места короткого замыкания;

- АСКУЭ реализует коммерческий и технический учет электроэнергии.

Использование эффекта радиоизлучения для мониторинга газотурбинных установок

Здор Г.Н., Тимошевич В.Б.

Белорусский национальный технический университет

На основании предварительных исследований радиоизлучения работающих газотурбинных установок (ГТУ) был разработан и изготовлен специальный радио-датчик, предназначенный для конкретно - направленных исследований. Радио-датчик устанавливался в непосредственной близости работающей ГТУ в месте, где отмечался максимум радиоизлучения, либо возле интересующего узла или агрегата. Сигнал с высокочастотного выхода радио-датчика поступал на измеритель напряжения высокой частоты, а с низкочастотного выхода - на вольтметр и магнитофон, последний записывал детектированный сигнал с целью долговременного хранения. Затем в лабораторных условиях исследуемый сигнал, воспроизводимый магнитофоном, подавался на анализатор спектра последовательного типа, и результат фиксировался самопишущим потенциометром.

Полученные спектрограммы анализировались: определялись частоты, амплитуды и добротности полученных резонансных пиков, находились соответствующие этим пикам частоты колебаний и вращений различных агрегатов ГТУ. Значения этих величин и ряда дополнительных параметров позволяли судить о техническом состоянии работающих агрегатов. Исследования проводились на нескольких ГТУ в процессе их эксплуатации. Радио-датчик располагался непосредственно у кольцевого газового коллектора у камеры сгорания, где наблюдался максимум радиоизлучения. Была обнаружена ещё одна область максимального сигнала, находящаяся возле точки замера температуры газа перед свободной турбиной у дизлектрической вставки с выводами термопар, где также проводились измерения.

В результате проведённых измерений можно сделать определенные выводы. ГТУ в процессе эксплуатации создают широкополосное радиоизлучение. Это излучение модулировано механическими колебаниями агрегатов ГТУ. Максимумы радиоизлучения наблюдаются в непосредственной близости от кольцевого газового коллектора и вблизи дизлектрической вставки, на которой установлены выводы термопар для измерения температуры перед свободной турбиной. Спектрограммы радиоизлучения содержат резонансные пики, амплитуды и частоты которых различны как для разных ГТУ, так и для разных мест установки радио-датчика на одной ГТУ.

Экспресс-метод экспериментального определения динамики пароперегревателя

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Салей А.А.

Белорусский национальный технический университет

Оптимизация параметров динамической настройки регуляторов впрысков, реализованных на базе типовых двухконтурных систем автоматического регулирования с дифференцированием промежуточного сигнала, требует знание динамики опережающего и инерционного участков пароперегревателя, которые определяют чаще всего экспериментальным путем.

Для сокращения затрат на проведение эксперимента и повышения точности определения математических моделей пароперегревателя в виде передаточных функций предложено использовать импульсные характеристики разомкнуто-замкнутой системы автоматического регулирования замкнутой по промежуточной и разомкнутой по основной регулируемой величине.

На пропорциональном регуляторе устанавливают произвольное значение коэффициента передачи, наносят скачкообразное изменение задания, которое убирается до прежнего значения в момент времени, равный ширине импульса. Динамику опережающего участка описывают инерционным звеном первого порядка. Коэффициент передачи и постоянную времени модели опережающего участка определяют по величинам площадей входного импульса, выходной импульсной временной характеристики и максимальному отклонению последней.

Для определения динамики инерционного участка используют пропорционально-интегральный регулятор со временем интегрирования, равным постоянной времени опережающего участка и большим коэффициентом передачи для создания высоких частот в замкнутом контуре системы при обработке импульса задания. Кроме площадей входа и выхода определяют время запаздывания по времени появления вертикали, отсекающей на импульсной выходной характеристике равные площади.

По отношению запаздывания ко времени разгона находят параметры передаточной функции инерционного участка в виде инерционного звена второго порядка с запаздыванием.

Литература

1. Кулаков, Г.Т. и др. Экспресс-метод определения коэффициентов передаточных функций пароперегревательных участков котлов при различных нагрузках // Энергетика. – 2012. - №4.

Автоматизированная система управления микроГЭС

Лившиц Ю.Е., Литвиненко Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается автоматизированная система управления (АСУ) для микроГЭС с возможностью удаленного доступа.

Учитывая доступные водные ресурсы нашей страны, одним из возможных вариантов получения электроэнергии из возобновляемых источников являются микроГЭС (обеспечивающие единичную мощность от 3 до 100 кВт). Для микроГЭС очень важна автономность т.к. для столь малого объекта иметь на каждом объекте высококвалифицированный обслуживающий персонал недопустимая роскошь. Если микроГЭС обладает автоматизированной системой управления с возможностью удаленного доступа, то такую микроГЭС можно строить не возле городов и сел, как это обычно бывает, а в местах более удобных с точки зрения получения наибольшего количества электроэнергии. При этом оператор сможет наблюдать за станцией со своего рабочего места в городе, получая информацию по GSM-каналам от контроллера. Более того рабочий персонал сможет следить за несколькими станциями одновременно и при необходимости выезжать для обслуживания той или иной микроГЭС.

Разработанная АСУ позволяет:

- контролировать уровень воды в верхнем бассейне и останавливать агрегаты в случае достижения минимального уровня;
- контролировать режим работы генераторов с использованием измерительных приборов щита управления и, соответственно, корректировать мощность турбин;
- контролировать параметры механической части ГЭС (подшипники генераторов, турбин, передач и тому подобное), останавливать агрегаты в случае достижения предельных значений по вибрации и температуре;
- регистрировать аварийные и предаварийные ситуации.

Все это достигнуто благодаря установке датчиков и контроллера считывающего информацию с них. В зависимости от показаний датчиков контроллер выполняет ту или иную записанную в него программу. Оператор напрямую получает сведения от контроллера на свой пульт.

Данный проект позволяет наглядно и удобно для оператора следить за состоянием микроГЭС. Сокращается время на реагирование при возникновении аварийных ситуаций, увеличивается надежность и стабильность системы за счет сокращения до минимума участия человека в управлении.

Устройство для контроля расстояний между центрами последовательности сигналов

Москаленко А. А., Кононенко З. И., Мороз В. С., Харитоновна А. В.
Белорусский национальный технический университет

Принцип работы устройства состоит в выделении центра каждого i -го импульса $T_{ци} = T_i/2$ и заполнении интервала $T_{ци}$ импульсами стабильной частоты с последующим сравнением следующего кода $T_{ци(i-1)}$ с заданной генератором точностью. Структурная схема устройства приведена на рисунке 1.

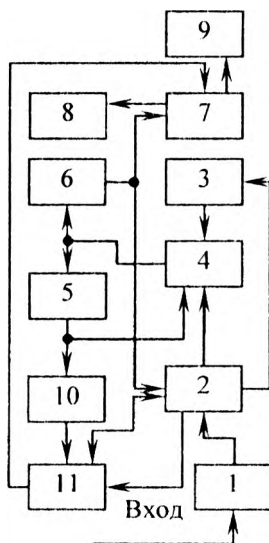


Рисунок 1 –
Структурная схема

Входная последовательность поступает на вход порогового элемента 1, который формирует прямоугольные сигналы «Начало» и «Конец» каждого импульса. Начало каждого сигнала открывает выход посылки импульсов стабильной частоты управляющего генератора 2, которые проходят через делитель частоты 3 и подаются на вход реверсивного счётчика 4. Сигнал «Конец» фиксирует в реверсивном счётчике код $T_{ци}$, который передаётся в регистр 5 хранения контрольного кода. Сигнал «Начало» следующего сигнала включает реверсивный счётчик 4 в режим вычитания. При этом на счётный вход блока 11 поступают стабильные импульсы с генератора 2. Импульсы подсчитываются за период $T_{ци(i+1)}$ и сравниваются с кодом $T_{ци}$. Сравнение осуществляется с приходом в управляющий генератор 2 сигнала с детектора 6 нуля, который определяет нулевое состояние реверсивного счётчика. В

блоке 11 формируется «Разрешение» или «Запрет» в зависимости от результата сравнения с кодом задатчика 10 точности, от которого зависит также достоверность измерения, так как с выхода блока 11 сигналы «Запрет» подаются в управляющий генератор 2, а «Разрешение» - в схему 7 анализа, на которую подаётся сигнал нулевого состояния с детектора 6 нуля. Сигнал «Разрешение» и «Ноль» разрешает прохождение импульсов с генератора 2 через схему 7 анализа сигналов в счётчик 8.

Проверка адекватности аналитических моделей производственных систем

Новичихина Е.Р., Новичихин Р.В., Якимович А.М.
Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования являются модели производственных систем (ПС), типа участок или линия в машино- и приборостроении.

Математические модели ПС могут быть аналитическими или имитационными. Имитационные модели более детальны, точны и информативны, но чрезвычайно трудоемки в разработке и принципиально не универсальны. Для многих задач анализа ПС достаточно точности аналитических методов. При этом появляется возможность создать одну универсальную модель для ПС с различной структурой и алгоритмами функционирования.

Проблема заключается в том, что аналитические метод чаще всего исходят из допущения о пуассоновском (простейшем) характере потоков событий в системе, т.е. предполагается, что время наступления всех событий и их длительность распределены по экспоненциальному закону, причем без смещения, начиная с нуля. В реальных же ПС, особенно автоматизированных, это условие почти всегда отсутствует.

Встает вопрос о проверке адекватности аналитических моделей. Такую проверку можно осуществить, сравнивая их результаты с результатами других моделей, лишенных ограничений по характеру распределения случайных величин. Эти модели специально разрабатываются для характерных частных случаев ПС и допускают возможность варьирования законов распределения. Для обеспечения максимальной точности тестовые модели должны быть имитационными.

Для разработки таких тестовых моделей был использован специализированный язык имитационного моделирования GPSS Word, библиотека PLUS которого предлагает более 40 различных законов распределения случайных величин. Для сравнения были выбраны самые распространенные из них: детерминированный, равномерный, нормальный, экспоненциальный и гамма-распределение, как наиболее общее.

Предлагаемый комплект имитационных моделей позволяет проверять на адекватность реальным условиям результаты моделей, построенных по методу прямого счета (традиционные проектные детерминированные расчеты), динамики средних (уравнения Колмогорова), теории массового обслуживания, теории сетей массового обслуживания.

Визуальное программирование промышленного робота в трехмерной графической среде

Курьян Д.Н., Новичихин Р.В., Новичихина Е.Р., Якимович А.М.
Белорусский национальный технический университет

Разработана система программирования ПР, основанная на графическом обучении. Система значительно упрощает и ускоряет программирование, а также позволяет производить визуальную отладку.

Базовой графической средой системы является продукт 3ds Max. Из базовой среды вызывается разработанная система, посредством загрузки специального скрипта. В диалоговом режиме выбирается модель требуемого промышленного робота. Робот представляется упрощенной структурной моделью (рисунок 1).

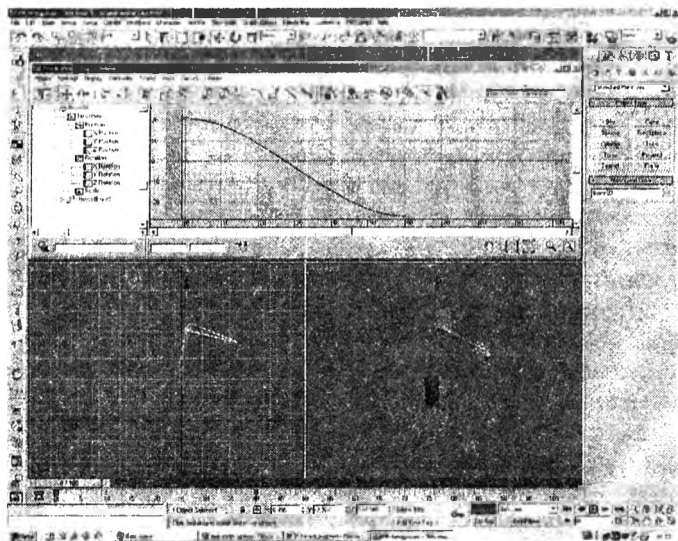


Рисунок 1 – Экранная форма

Трехмерные графические модели основных кинематическо-структурных схем роботов разрабатываются в среде 3ds MAX предварительно. Настройка на размеры и ограничения конкретных моделей роботов осуществляется параметрически. Оболочка, расчеты и генерация управляющей программы реализованы в среде maxscript.

Особенности создания датчиков-измерителей тока и его составляющих в дискретных системах

Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет

Используемые в системах автоматического управления (САУ) электроприводами, содержащими статический преобразователь, датчики мгновенного значения тока отличаются невысокой помехозащищенностью и вносят ошибку в канал регулирования тока из-за его пульсирующего характера, а применение датчиков с фильтром приводит к возникновению запаздывания в цепи обратной связи.

В системах, содержащих дискретный элемент, каким является статический преобразователь, улучшение динамических свойств и повышение помехозащищенности могут быть достигнуты при управлении по среднему значению тока. При этом запаздывание в канале обратной связи отсутствует, если среднее значение тока формируется в виде сигнала, пропорционального интегралу тока за период дискретности преобразователя.

При построении цифровых САУ, в частности систем с микропроцессорным управлением, целесообразно интегрирование тока и аналого-цифровое преобразование осуществлять одновременно.

Разработаны несколько вариантов аналого-цифровых датчиков-измерителей тока, построенные по принципу интегрирующего уравнивания, который заключается в том, что из последовательности тактовых импульсов формируют эталонные импульсы заданной амплитуды и определенной полярности, которые вычитают из аналогового сигнала тока, а полученную разность интегрируют, сравнивая результат с нулевым значением.

В зависимости от результата сравнения формируют последующие эталонные импульсы той или иной полярности, одновременно суммируя их на счетчике с учетом полярности, получая к концу интервала дискретности код интеграла тока.

Полученные схемные решения аналоговых и аналого-цифровых датчиков-измерителей средних за интервал дискретности значений тока отличаются от существующих простотой технической реализации, высокой точностью измерения тока и низким уровнем помех, вносимых в систему регулирования.

Использование принципа интегрирующего уравнивания позволило также реализовать измерение составляющих тока при управлении по интервалам дискретности.

Формирование требований к информационной системе «Кафедра-сотрудники»

Околов А.Р., Саболевская Е.К., Каштанова М.С.
Белорусский национальный технический университет

Основной целью данной работы является разработка автоматизированной информационной системы кафедры РТС БНТУ. Для лучшего понимания и облегчения задачи проектирования, уже на начальной стадии предпроектного обследования, предлагается разделить основную систему на две взаимосвязанные подсистемы: «Кафедра – студенты» и «Кафедра – сотрудники». Учитывая то, что первую подсистему целесообразно разрабатывать одновременно с системой «Факультет– студенты», первоочередной проблемой, требующей решения, была выбрана подсистема «Кафедра – сотрудники».

Разработка любой автоматизированной системы начинается с обследования объекта автоматизации и, главное, выяснения, часто противоречивых, требований Заказчика к результату проектирования. Однозначная расшифровка этих требований и четкое определение массивов входной и выходной информации проектируемой системы составляет порой не менее 50% от объема работ проектирования информационной системы и заканчивается корректной постановкой задачи в виде технического задания. Подготовка технического задания – это обязательный этап работы.

Этапы формирования требований и разработки технического задания:

1. Сбор информации о входных и выходных потоках данных.

Входные данные – данные о сотрудниках (личные данные, профессиональные данные, данные о научной деятельности).

Выходные данные – выборки данных виде отчетов и документов.

2. Анализ и обработка полученной информации, выбор форм представления данных.

3. Разработка концептуальной модели данных. Определение основных объектов и связей между ними.

Результатом данной работы является техническое задание на создание базы данных с возможностями:

- хранения информации о сотрудниках;
- ввода новых данных;
- изменения существующих данных;
- получения отчетов по выборкам данных;
- выгрузки данных в другие форматы представления.

Применение CASE-средств при создании расписания занятий студентов кафедры РТС

Рыжко Т.Е., Шилкин А.П., Буйкевич К.В., Трухан Д.С.,
Бань Е.М., Жалевич Е.П.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время составление расписание занятий студентов во многих высших учебных заведениях ведётся вручную. Это довольно трудоёмкий и долговременный процесс. На примере кафедры РТС было решено попробовать исправить эту проблему.

Поскольку все факторы, влияющие на расписание, практически невозможно учесть, задача составления расписания является многокритериальной. Решение таких задач, как правило, осуществляется в два этапа: получение оптимального варианта и его последующая доработка диспетчером с целью максимального учета неформализованных факторов. В настоящей работе предложено решение первого этапа проблемы – разработка алгоритма получения оптимального расписания. Для разработки алгоритма в первую очередь были выделены требования к расписанию занятий.

При составлении расписания возникает проблема оптимального управления ресурсами: преподавательским составом и аудиторным фондом. В процессе решения задачи необходимо учитывать обязательные ограничения, а также дополнительные требования. К обязательным ограничениям относятся:

- вместительность аудиторий должна быть достаточной для групп, которые в ней занимаются, при этом возможен вариант, когда в одной аудитории проводятся занятия одновременно для нескольких групп студентов по одной дисциплине;

- должны выполняться требования занятий к оборудованию аудиторий, в которых они проводятся;

К дополнительным требованиям относятся:

- нагрузка каждой группы должна быть равномерной, во избежание переутомления студентов;

- в занятиях студентов не должно появляться окон, в то же время возможно наличие окна в расписании преподавателя;

Применение современных case-средств, таких как BPwin и Rational Rose, позволяет формализовать данную задачу и применить системный подход при проектировании автоматизированной информационной системы «Расписании занятий для студентов кафедры РТС».

Мини-стенд для освоения программирования микроконтроллеров

Сиротин Ф.Л., Голубчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Достоинства микроконтроллеров (МК) общеизвестны: минимальные габариты, простота изменения программы в существующих устройствах, невысокая стоимость, низкое потребление энергии. Однако, если сравнивать МК, например, с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК), разработка программ для первого требует более глубоких знаний. В связи с этим разработан стенд для освоения программирования МК.

В качестве базовой микросхемы в стенде используется Atmega8 популярной микропроцессорной серии AVR фирмы Atmel. МК AVR получили широкое распространение благодаря своей простоте и дешевизне в соотношении с широкими функциональными возможностями. Atmega8 кроме того имеет малые габариты и низкое энергопотребление.

Стенд предполагает наличие компьютера с установленными программами: кросс-компилятор Code Vision AVR, программа для записи программы в МК и симулятор Proteus. Аппаратная часть стенда состоит из программатора и самого МК в совокупности со средствами управления и визуализации.

Наличие двух кнопок позволяет создать необходимое количество управляющих входных сигналов от простого выбора режима работы при нажатии соответствующих кнопок, до реализации сложных кодовых комбинаций с выдержками по времени.

Для визуализации процесса выполнения программы применены четыре светодиода и микродвигатель. Светодиоды обеспечивают индикацию 16 комбинаций статических и гораздо большее количество динамических (режим «включено-выключено»). Для питания микродвигателя используется микросхема-драйвер. Управление микродвигателем (направления вращения, время вращения, скорость вращения) осуществляет МК, по заданной программе. К примеру, управление скоростью вращения двигателя осуществляется с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Для записи программы в МК используется программатор, который преобразует интерфейс USB компьютера в интерфейс SPI микроконтроллера.

Указанные средства создают условия для знакомства со структурой и принципом работы МК, для освоения программирования на языке СИ.

**Разработка web-сайта
для учреждения образования «РЦТТУ»**

Шардыко П.П., Климова А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Система Интернет-сайта УО Республиканский центр технического творчества учащихся «РЦТТУ» должна строиться на следующих общих принципах:

- доступности, достоверности и полноты информации;
- своевременности обновления информации;
- согласованности информационно-технологических решений с общей стратегией развития сетевой информационно-коммуникационной инфраструктуры государства.

Проанализировав, сайты конкуренты, на уникальность дизайна, юзабилити, графического наполнения, удобство навигации, необходимо обратиться к задачам выполнения сайта и принять решение к построению структуры сайта, выборе технологии его реализации, для сравнения дизайнерских находок и цветовых вариантов оформления web-страниц.

Производить анализ будем по следующим критериям:

- 1) Эффективность компоновки.
- 2) Использование правил юзабилити в представлении текстовой информации.
- 3) Графические изображения и цвет.
- 4) Навигация.
- 5) Интерактивность.

В качестве конкурентов рассмотрим Республиканские учреждения дополнительного образования детей и молодежи г. Минска:

- Учреждение образования "Национальный центр художественного творчества детей и молодежи" (www.nchtdm.com)
- Учреждение образования "Республиканский экологический центр детей и юношества" (www.eco.unibel.by)
- Учреждение образования "Республиканский центр туризма и краеведения учащейся молодежи" (www.rctkum.by)
- Учреждение образования "Национальный детский образовательно-оздоровительный центр "Зубренок"" (www.zubronok.unibel.by)

Исходя из основных задач анализа сайтов конкурентов, стало возможным определить, какие функциональные элементы должны присутствовать на сайте. При этом образовалась будущая структура сайта.

С точки зрения юзабилити, протестированы функциональность сайта, проверена корректность работы кода в различных браузерах.

Разработка баз данных с помощью PHP и MySQL

Шардыко П. П., Горская Н. В.

Белорусский национальный технический университет

PHP – это широко используемый язык сценариев общего назначения с открытым исходным кодом. Он специально разработан для написания web-приложений (сценариев), исполняющихся на Web-сервере. Аббревиатура PHP означает “Hypertext Preprocessor (Препроцессор Гипертекста)”. Синтаксис языка берет начало из C, Java и Perl.

Преимуществом PHP является предоставление web-разработчикам возможности быстрого создания динамически генерируемых web-страниц. Важным преимуществом языка PHP перед такими языками, как языки Perl и C заключается в возможности создания HTML документов с внедренными командами PHP. Значительным отличием PHP от какого-либо кода, выполняющегося на стороне клиента, например, JavaScript, является то, что PHP-скрипты выполняются на стороне сервера.

Область применения PHP сфокусирована на написание скриптов, работающих на стороне сервера; таким образом, PHP способен обрабатывать данные форм, генерировать динамические страницы или отсылать. Но PHP способен выполнять и множество других задач.

Существует три основных области, где используется PHP:

- Создание скриптов для выполнения на стороне сервера.
- Создание скриптов для выполнения в командной строке.
- Создание оконных приложений, выполняющих на стороне клиента.

PHP доступен для большинства операционных систем, включая Linux, многие модификации Unix (такие, как HP-UX, Solaris и OpenBSD), Microsoft Windows, Mac OS X, RISC OS, и многих других.

PHP поддерживает взаимодействие с большим количеством различных систем управления базами данных (СУБД). Традиционно PHP используют совместно с MySQL.

MySQL – очень быстрая, надежная система управления реляционными базами данных (СУРБД). База данных позволяет эффективно хранить, искать, сортировать и получать данные.

Сервер MySQL управляет доступом к данным, позволяя работать с ними одновременно нескольким пользователям, обеспечивает быстрый доступ к данным и гарантирует предоставление доступа только имеющим на это право пользователям. Следовательно, MySQL является многопользовательским, многопоточковым сервером. MySQL является наиболее приспособленной СУРБД для применения в среде web.

Исследование влияния состава покрытий на плавность хода подвижных узлов роботов

¹Самойленко А.В., ²Леванцевич М.А., ²Максимченко Н.Н., ³Леванцевич В.А.

¹Белорусский национальный технический университет

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В направляющих скольжения точных механизмов отрицательное влияние фрикционных автоколебаний (ФА), традиционно снижают путем увеличения жесткости привода, разгрузки направляющих и повышения демфирующих свойств основных элементов станка. Кроме того, широко используют различные антискачковые конструкционные и смазочные материалы. Большинство из этих методов имеют ограниченные технологические возможности и не обеспечивают достижение требуемых точностных характеристик выпускаемых металлорежущих станков, соответствующих уровню мировых аналогов. Цель работы заключалась в экспериментальной оценке антискачковых и триботехнических свойств покрытий, сформированных из порошковых композиционных материалов на основе баббита Б83, с легирующими добавками компонентов твердой смазки, графита и дисульфида молибдена.

Испытания проводили на лабораторной машине трения одностороннего вращения, осуществляющей трение торцовых поверхностей трех цилиндрических контробразцов, расположенных друг относительно друга под углом 120° и изготовленных из незакаленного серого чугуна СЧ-20, по плоской поверхности вращающегося диска-образца, из аналогичного материала, но подвергнутого обработке ТВЧ до твердости HRCэ 45...46, с нанесенным покрытием. Формирование покрытий толщиной 8...10 мкм на поверхности дисков осуществляли по способу, описанному в работе [9].

В результате триботехнических испытаний покрытий, сформированных из баббита Б83 легированного твердосмазочными материалами С и MoS_2 установлено, что в условиях одностороннего вращения, при скоростях скольжения 0,06 м/с, по сравнению с образцом без покрытия, имеет место их положительное влияние на снижение динамического коэффициента трения f_0 и критерия антискачковых свойств Δf . Однако влияние концентрации легирующих добавок из С и MoS_2 на это снижение неоднозначно. Из исследованных покрытий, наилучшие результаты обеспечило покрытие, сформированное из донора, содержащего не более 1,2 мас.% С и MoS_2 . К концу цикла испытаний указанное покрытие способствовало снижению f_0 и Δf на 50 и 76 % соответственно.

Особенности моделирования активных систем поддрессоривания мобильных машин

Гурский Н.Н., Иванченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Чтобы повысить такие эксплуатационные свойства мобильных машин, как устойчивость, управляемость и комфортность, необходимы новые исследования и разработка более эффективных конструктивных узлов и элементов. При этом основные акценты должны быть направлены на создание интеллектуальных узлов, способных адаптироваться к различным условиям функционирования мобильной машины. Для решения таких задач требуются новые методы, алгоритмы, модели, методики, направленные на использование современных информационных технологий по обработке данных, управлению процессами, связанными с возможными режимами мобильных машин.

В настоящей работе рассматриваются математические модели, алгоритмы и программные средства компьютерного моделирования, поддерживающие проведение исследовательских работ по усовершенствованию систем поддрессоривания мобильных машин за счет использования активных схем управления колебаниями подвески. Такие научно-технические решения в данной области, несомненно, являются актуальными и заслуживают внимания.

Авторы приводят пространственную расчетную схему, в общем случае, многоосной колесной машины, ее математическую модель, отличающуюся от известных тем, что она включает локальные опоры с элементами автоматического управления колебаниями по обратной связи.

С помощью разработанного авторами программного обеспечения проведен вычислительный эксперимент прямолинейного движения двухосной колесной машины при различных видах воздействий со стороны дорожно-покрытия.

Рассмотрен сравнительный анализ колебательных процессов наблюдаемых фазовых переменных с учетом пассивного и активного поддрессоривания как шасси, так и узлов вторичного поддрессоривания (кабины, сиденья водителя).

Проведенные имитационные исследования колебательных процессов мобильной машины показали, что при установке управляемых опор представляется возможным значительно снизить вибронагруженность как отдельных узлов, так и всего исследуемого объекта.

Созданное программное обеспечение может быть использовано на этапах проектирования и доводки изделий многоопорных машин.

Поддержка визуализации динамических процессов мобильных машин

Гурский Н.Н., Рюмко Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Создание перспективных конструкций ходовых частей современных мобильных машин предполагает разработку методик и программных средств виртуального проектирования таких объектов. При изучении динамических свойств, связанных с плавностью хода, устойчивостью, управляемостью проектируемых транспортных средств, полезными являются возможности визуализации динамики их курсового движения.

Как правило, для отображения колебательных процессов, характеризующих поведение различных частей транспортного средства в заданных условиях эксплуатации, необходима ее дискретная модель в виде набора узловых точек, число которых зависит от сложности расчетной схемы моделируемого объекта.

Поскольку спектр расчетных схем мобильных машин достаточно разнообразен и не ограничивается одной конкретной моделью, актуальным является поиск возможности описания большого множества расчетных схем моделей, состоящих из различного набора деталей и узлов.

В настоящей работе рассматриваются программные средства, позволяющие пользователю приложению загружать с диска в оперативную память объекты заданных типов, и управлять этими объектами. Разработки в данной области позволяют задавать и изменять структуру моделируемых систем без перекомпиляции приложения.

Для описания расчетных схем мобильных машин используется древовидная структура данных на основе языка XML. Приводятся примеры использования формата XML для данной задачи.

Разработанное программное обеспечение позволяет во время выполнения приложения загрузить и визуализировать динамику мобильной машины на компьютерной модели с достаточно высокой степенью приближения к реальному объекту.

Библиотека функций, реализованная на алгоритмическом языке C++, предоставляет возможность подключить к программному обеспечению имеющиеся информационные модели транспортных средств и визуализировать результаты имитационного моделирования.

Имитационное моделирование динамических процессов, сопровождающих движение мобильных машин может быть выполнено с помощью соответствующих пакетов программ, например, ADMOS.

Обобщение разложения Шеннона для частично определенных булевых функций

Прихожий А.А.

Белорусский национальный технический университет

Пусть $f(x)$ - полностью определенная булева функция от векторного аргумента $x=(x_1, \dots, x_n)$, которая является отображением $f: B^n \rightarrow B$, где $B=\{0, 1\}$. Для функции $f(x)$ имеет место разложение Шеннона по переменной x_i :

$$f(x) = x_i \wedge f_{x_i=1} \vee \neg x_i \wedge f_{x_i=0} \quad (1)$$

где \neg - операция отрицания; \wedge - операция конъюнкция; \vee - операция дизъюнкция; $f_{x_i=1}$ и $f_{x_i=0}$ - положительный и отрицательный кофакторы (остаточные подфункции) функции $f(x)$ по аргументу x_i .

Частично определенная булева функция $h(x)$ принимает значения из множества $M=\{0, 1, dc\}$, где dc - безразличное значение (сокращение от *don't care*). Функция $h(x)$ есть отображение $h: B^n \rightarrow M$. Представление «значение / область определенности» (VDR) есть кодирование частично определенной функции $h(x)$ парой булевых функций $v(x)$ и $d(x)$, записываемое в виде: $h(x)=(v(x)|d(x))$. Функция $v(x)$ называется функцией значения, функция $d(x)$ - функцией области определенности. Более точное определение функции $h(x)$, представленной в форме VDR, имеет следующий вид:

$$h = \begin{cases} 0, & \text{если } v=0 \text{ и } d=1, \\ 1, & \text{если } v=1 \text{ и } d=1, \\ dc, & \text{если } v \in \{0, 1\} \text{ и } d=0. \end{cases}$$

Обобщение разложения Шеннона частично определенной функции $h(x)=(v(x)|d(x))$ по булевой функции $c(x)$ имеет вид.

$$(v|d) = (c|d) \& (v|d \wedge c) + \sim(c|d) \& (v|d \wedge \sim c), \quad (2)$$

где \sim , $\&$, $+$ - обобщения булевых операций отрицания, конъюнкции, дизъюнкции до одноименных частичных операций.

При введении операции минимизации $\min(v(x)|d(x))$ булевой функции $v(x)$ по функции $d(x)$, разложение (2) конкретизируется до

$$f(x) = c(x) \wedge \min(f(x)|c(x)) \vee \neg c(x) \wedge \min(f(x)|\neg c(x)).$$

Результатом минимизации является некоторая другая функция $v'(x)$, такая что $(v'(x)|d(x))=(v(x)|d(x))$. Критерием минимизации может быть минимальный размер представления или реализации булевой функции, минимум временной задержки или рассеиваемой мощности и др.

Метод сокращения трафика в каналах передачи данных и увеличения загрузки узлов распределенной системы

Прихожий А.А., Труханович Т.Л.

Белорусский национальный технический университет

Сокращение трафика в каналах передачи данных и сокращение загрузки узлов достигается оптимизацией назначения объектов и их репликаций на узлы по критерию минимума среднего времени обработки одного запроса к объекту.

Пусть $N = \{1, \dots, n\}$ – множество узлов, $M = \{1, \dots, m\}$ – множество объектов. Время обработки запроса к объекту j , поступившего с узла i и обрабатываемого узлом k , можно оценить с достаточной степенью точности выражением $f_{ij} * (r_{kj} + c_{ik} * send(l_j)) * x_{kj}$, где f_{ij} – число запросов к объекту j с узла i в течение времени наблюдения $Time$, r_{kj} – время обработки на узле k запроса к объекту j , c_{ik} – временная задержка передачи единицы данных в канале (i, k) , l_j – длина объекта j , $send(l_j)$ – часть длины объекта, пересылаемая в ответ на запрос, x_{kj} – переменная, принимающая значение 1, если объект j размещается на узле k , и принимающая значение 0 в противном случае. Среднее время обработки запроса по всем узлам, всем объектам и всем запросам зависит в первую очередь от матрицы назначения X и может быть оценено выражением

$$T_{request}(D) = \frac{1}{\Sigma(F)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ij} * (r_{d(i,j),j} + c_{i,d(i,j)} * send(l_j)),$$

где $d(i,j) \in N$ – узел, на котором обрабатывается запрос к объекту j , поступивший с узла i .

В задаче оптимизации целевая функция $\min_{D \in \Lambda} \{T_{request}(D)\}$ минимизирует время запроса по всем возможным размещениям объектов на узлах, где Λ – множество всех возможных корректных матриц D . Ограничениями являются ограничение на объем памяти, занимаемой объектами на одном узле, а также условие размещения каждого объекта хотя бы на одном узле.

Для решения задачи предложен алгоритм оптимизации, базирующийся на методе ветвей и границ. Разработана программа, минимизирующая среднее время запроса при варьировании всех основных входных параметров задачи оптимизации. Проведенные исследования показывают, что алгоритм сокращает трафик в каналах передачи данных и увеличивает загрузку узлов, обрабатывающих запросы к объектам. Он может быть использован при оптимальном проектировании распределенной системы.

Соккрытие либо прозрачность?

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Прозрачный и прозрачность - слова, прямой смысл которых известен каждому. Прямой смысл вкладывают в них и во многих областях знаний, Примеры:

1) прозрачность (оптика) – характеристика среды (оптическая, акустическая или иная);

2) прозрачность (система) – свойство объекта, когда внутренние связи и некоторая информация доступны внешним по отношению к объекту субъектам;

3) прозрачность (гидрогеология) – величина, косвенно обозначающая количество взвешенных частиц и других загрязнителей в воде.

4) прозрачность (минералогия) – свойство минерала пропускать через себя свет;

Но "... как кружится голова" от лёгкого недоразумения (шока), пока не привыкнешь к использованию в переносном смысле понятия прозрачность в распределённых системах, в которых прозрачность :

– доступа, означает одинаковость интерфейсов для локальной и удалённой связи;

– местонахождения, означает, что запрашивающему обслуживанию объекту не требуется знать о физическом расположении компонента;

– миграции, означает, что компонент можно перемешать незаметно для пользователей или клиентов;

– репликации, означает, что пользователям и программистам не требуется знать, кто поддерживает услуги реплика (копия) или основной компонент;

– одновременного выполнения, означает, что пользователи и программисты не знают о том, что компоненты запрашивают одновременно;

– масштабируемости, означает, что пользователям не требуется знать, как достигается масштабируемость распределённой системы;

– производительности, означает, что пользователям и программистам не требуется знать, как поддерживается хорошая производительность системы;

– отказов, означает, что пользователям и программистам не требуется знать, как распределённая система справляется с отказами.

На наш взгляд, не снизит уровень изложения учебного материала замена понятия "прозрачность" возможно несколько устаревшим понятием "соккрытие" либо термином "особенности соккрытия".

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Не единичны случаи, когда одна и та же тема попадает в две, а то и более дисциплины учебных программ определённой специальности. Такие "накладки" в основном характерны в случае с программами по учебным курсам динамично изменяющихся специальностей, в частности, в информационной сфере. Это приводит к нерациональному использованию учебного времени и нарушению преемственности в процессе обучения специалистов.

На наш взгляд, ситуацию можно улучшить, прибегнув к моделированию учебного процесса. При таком подходе статическую модель набора дисциплин, их тематику, а также группирование предметов в гуманитарные, общеобразовательные и т.п. удобно представить в виде иерархии классов с отношениями агрегации (композиции) между ними. В качестве имён классов, предлагается использовать блоки дисциплин, дисциплины и темы, включаемые в последние. Базой для построения иерархической модели должен стать паспорт специалиста и пожелания работодателей. Требования к знаниям будущего специалиста можно указать в секции атрибутов, а к умению - в секции операций. При необходимости, для внесения всякого рода примечаний можно воспользоваться 4-й секцией значка класса. До разработки учебного плана желательно построить и временную диаграмму, отражающую последовательность освоения учебного материала как в разрезе семестров, так и на весь период обучения. Она может быть также использована для уточнения отношений между классами. Для этой цели можно прибегнуть к IDEF3- диаграмме либо другим диаграммным техникам. При разработке учебных программ, приходится учитывать родственные дисциплины, изучение которых должно предшествовать дисциплине, по которой разрабатывается учебная программа. Во избежание дублирования изучаемого материала желательно тщательно промоделировать взаимосвязь таких дисциплин. Не лишне в таком случае воспользоваться не только отношениями агрегации, но и отношениями обобщения (наследования) между классами.

Подобный подход может быть полезен, не только при разработке учебных планов и программ с нуля, но и при уточнении существующих. Последнее в основном касается разработки рабочих учебных программ по дисциплинам. Уменьшение избыточности в учебных программах за счёт исключения дублирования тем весьма актуально с учётом наметившейся тенденции на сокращение сроков обучения в ВУЗах.

Системы учета и представления отчетности для целей таможенного контроля

Разорёнова Т.Р.

Белорусский национальный технический университет

Применяемые субъектами ВЭД программные продукты и системы управления базами данных должны обеспечивать информационную совместимость и бесконфликтное взаимодействие с программным обеспечением таможенных органов Республики Беларусь с соблюдением мер по защите информации. При этом формируются электронные формы отчетности, основанные на передаче данных в формате типизованных XML-документов в соответствии с разработанной XML-схемой.

SQL Server 2005 и выше поддерживает использование XML-схем с типом данных XML. SQL Server применяет схему к XML-данным, хранимым в таблице. При применении схемы принудительно применяются типы данных и ограничения посредством выполнения синтаксического анализа на основе схемы, которая загружается в столбец с типом данных XML. Можно гарантировать форматирование XML-данных, используя типизированные столбцы XML.

При разработке баз данных для ведения учета деятельности субъектов ВЭД применяется тип данных в XML-формате. Он позволяет структурировать информацию, которая создает отчетные документы в соответствии с разработанной в ГТК схемой. На практике это дает возможность подготовить для отправки электронный документ в формате, который на стороне приемника собирает отчетные данные в единую автоматизированную таможенную систему для целей проведения таможенного контроля.

На стороне клиента необходимо провести контроль достоверности вводимой информации и проведенных расчетов, подготовить к отсылке корректные данные, провести контроль сведений на соответствие нормативно-справочной информации, контроль взаимосвязанных полей отчета и контроль сроков предоставления отчетности с выдачей информационных сообщений пользователю как по запросу, так и в автоматическом режиме.

Программное обеспечение субъектов ВЭД при работе в ЛВС пункта таможенного оформления (ПТО) должно обеспечивать автоматизацию и протоколирование операций информационного обмена, фиксацию результатов выполнения таких операций и информирование пользователя о результатах операций.

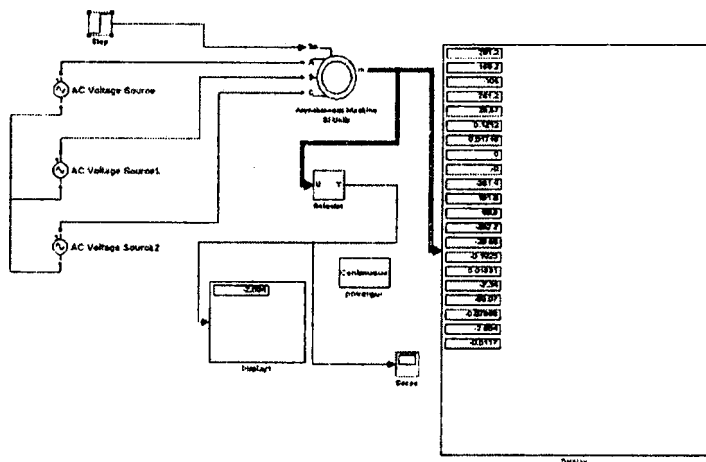
Решение подобных задач в рамках курсовых работ по дисциплине «Системы управления базами данных» позволяет моделировать реальную среду и предлагать адекватные решения по управлению данными.

Прибыльская Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Главной задачей при проектировании и эксплуатации частотно-регулируемого электропривода является рациональный подбор параметров элементов. Эта задача эффективно решается с помощью компьютерного моделирования, которое позволяет изучить свойства оригинала путем исследования модели. Для построения компьютерной математической модели асинхронного двигателя мы использовали пакет MatLab. Особенно хочется отметить такое приложение, как Simulink, позволяющее из готовых блоков составлять определенные схемы для решения любых инженерных задач.

Для исследования электротехнических установок наиболее важным является раздел библиотеки Power System Blockset. Используя блоки Asynchronous Machine и AC Voltage Source, мы создали компьютерную математическую модель асинхронного двигателя, которая представлена на рисунке.



Порты модели А, В и С являются выводами статорной обмотки машины, а порты а, b и с – обмотки ротора машины. Порт Tm предназначен для подачи момента сопротивления движению. На выходном порту m формируется векторный сигнал, состоящий из 21 элемента: токов, потоков и напряжений ротора и статора, электромагнитного момента, скорости вращения вала, а также его углового положения.

Программное обеспечение для моделирования интерактивных объектов и их поведения при взаимодействии с пользователем

Карасик О.Н., Разоренов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Количество задач, для которых требуется знание, и навыки программирования постоянно увеличивается. Как показывает практика зачастую большинство задач не требует глубокого знания алгоритмизации, а так же все мощи классических языков программирования. В таких случаях необходимо использовать скриптовые языки программирования, которые уже имеют огромный набор готовых функций и упрощенную модель синтаксиса, что в свою очередь не требует от пользователя глубоко знания в программировании.

Сам скриптовый язык должен иметь простую и понятную для пользователя структуру для описания внутренних функций и вызовов, а так же систему проверки синтаксиса и входных данных (компиляции) для исключения различных ошибок до непосредственного этапа исполнения.

Как язык описания скрипта можно использовать язык разметки XML, который отлично подходит для описания структуры и поведения скрипта и упрощает его понимание пользователем т.к. XML документ обладает строгой иерархической структурой.

Компиляция скрипта же позволяет не только исключить множество ошибок, как структурного плана, так и человеческого (опечатки, пропущенные символы и т.д.). Но так же и преобразовать сам скрипт в промежуточный формат данных, либо в исполняемый файл которые позже может быть исполнен пользователем.

Для поддержания такой структуры система для обработки исполнения скриптов должна состоять из двух подсистем – компиляции и исполнения. Которые будет заниматься непосредственно преобразование скрипта в промежуточный формат (компиляция) и исполнение команд промежуточного формата (исполнение).

Платформа Microsoft .NET предоставляет все необходимые средства для реализации такого рода программ с использованием все преимуществ самой платформы (управляемый код, сборка мусора и т.д.).

Решение подобной задачи в рамках магистерской диссертации позволяет создать инструмент, который будет широко востребован в области автоматизации различных производственных процессов, а так же для выполнения определенных задач в программировании не требующих высоких знания и навыков в программировании.

Методика настройки коэффициентов оптимального регулятора полученного модифицированным принципом максимума

Новиков С.О., Пащенко А.В.

Белорусский национальный технический университет

В качестве прикладной задачи рассматривается задача позиционного управления электроприводом постоянного тока по критерию минимума электрических потерь с учетом локальных ограничений.

Методика применения модифицированного принципа максимума описана в [1]. Уравнение для оптимального тока представлено в виде

$$i^* = \hat{\mu}_n(\alpha, v) \pm \sqrt{\hat{\mu}_n(\alpha, v) + \psi_1 + \psi_2 v}. \quad (1)$$

Для моделирования работы системы управления с регулятором (1), необходимо выбрать начальные значения для «коэффициентов» ψ_1 и ψ_2 . Поскольку в начальный момент времени $v=0$, то начальное значение ψ_2 может быть практически любым, и (1) принимает следующий вид:

$$i^* = \mu_n \pm \sqrt{\mu_n + \psi_1}. \quad (2)$$

Отсюда, принимая во внимание ограничения, которые накладываются на ЭПТ можно произвести выбор начального значения для ψ_1 . Необходимо отметить, что значение для ψ_1 выбирается только один раз, т.е. в начальный момент времени, а значение ψ_2 затем рассчитывается автоматически на каждом шаге итерационного вычислительного процесса.

Переключение на торможение происходит при скорости $v = v_n$, определяемой из условия $\hat{\mu}_n(\alpha, v) + \psi_1 + \psi_2 v = 0$. Начальными значения констант ψ_1 и ψ_2 задаются так, чтобы выполнялись граничные условия.

Литература:

1. Новиков, С.О. Проектирование оптимального по потерям регулятора для управления ЭПТ с переменным моментом инерции в системе программирования CoDeSys / С.О. Новиков, А.В. Пащенко // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ.

Энергетика. – Минск : БНТУ, 2009. – № 3. – С. 28–34.

Протоколы и возможности реализации групповой рассылки информации в Интернет

Белова С.В., Стальбовская Н.И.

Белорусский национальный технический университет

С точки зрения сети групповая рассылка (multicast) представляет собой одну операцию передачи, в результате которой копии пакетов доставляются всем членам группы абонентов. Групповая рассылка может быть реализована несколькими способами. При групповой рассылке пропускная способность сети используется наиболее эффективно, так как по каждой линии пересылается всего одна копия дейтаграммы.

В архитектуре Интернета групповая дейтаграмма адресуется косвенно. То есть для группы получателей используется один идентификатор, представляющий собой групповой адрес класса D. Пакеты с таким адресом назначения получает вся multicast-группа. Рассылка информации производится по правилу «один-ко-многим». Один и тот же узел может входить в несколько групп. Члены какой-либо группы могут принадлежать разным физическим сетям.

Сложность заключается в том, что у каждого хоста имеется уникальный IP-адрес, полностью независимый от адреса группы рассылки, членом которой он является. Маршрутизаторы сети для осуществления групповой рассылки должны поддерживать один из групповых протоколов маршрутизации (DVMRP, MOSPF – Multicast OSPF, PIM). Согласно этим протоколам маршрутизатор построит дерево доставки и правильно передаст групповой трафик. Кроме того, каждый маршрутизатор должен поддерживать протокол управления группами IGMP, который предназначен для регистрации на маршрутизаторе членов групп, находящихся в непосредственно присоединенных к нему сетях. В разных автономных системах могут работать разные протоколы групповой маршрутизации. Хотя для основных протоколов групповой маршрутизации Интернет были разработаны правила взаимодействия, однако до сих пор отсутствует протокол внешней групповой маршрутизации, который позволял бы определять маршруты групповых дейтаграмм между автономными системами.

Примером реализации групповой рассылки является разработанное приложение интерактивного форума, позволяющее вести интерактивную переписку с несколькими системами в Интернет, либо корпоративной сети организации. Приложение основано на одноранговой модели, когда каждая из взаимодействующих систем выступает в роли как отправителя, так и получателя. Программное обеспечение разработано в среде MS Visual Studio на языке C# и основано на использовании классов .NET Framework.

Средства повышения производительности при разработке ТСП сервера

Белова С.В., Корогода А.И.

Белорусский национальный технический университет

Транспортный протокол ТСП ориентирован на логические соединения и предоставляет надежный коммуникационный путь между двумя конечными точками. Важное преимущество ТСП в том, что он гарантирует доставку сообщений и правильный порядок пакетов.

Один из возможных подходов при разработке ТСП сервера – реализация многопоточного сервера путем создания отдельных потоков для приема клиентских соединений и управления ими. Многопоточный сервер является довольно быстрым, но такая модель плохо масштабируется. Главный недостаток – большое число создаваемых и уничтожаемых потоков, которые требуют большого объема ресурсов.

Избежать возникающих проблем можно, используя ввод-вывод в одном потоке путем применения метода Select. Этот подход позволяет подключить одновременно гораздо больше клиентов. Однако сервер значительно медленнее при этом реагирует на запросы, чем предыдущий вариант. Сделать сервер более масштабируемым можно, используя асинхронную модель ввода-вывода. Асинхронная модель устраняет необходимость в создании потоков и управлении ими, что позволяет значительно упростить код и повышает эффективность ввода-вывода.

При асинхронном программировании для обработки входящих данных используются методы обратного вызова. С каждым .NET приложением сопоставлен пул потоков. Когда у функции асинхронного ввода-вывода имеются готовые к обработке данные, поток из пула потоков .NET выполняет функцию обратного вызова. После завершения обратного вызова поток возвращается в пул. Это отличается от подхода, при котором поток из пула использовался для обработки конкретного запроса; сейчас речь идет о том, что поток из пула служит для выполнения только одной операции ввода-вывода.

Таким образом, при использовании асинхронной модели для разработки ТСП сервера, с одной стороны, повышается его производительность, с другой стороны, он может быть более масштабируемым.

Чтобы уменьшить нагрузку на сеть и увеличить производительность приложения необходимо перенести по возможности обработку данных на сервер, минимизировать количество обращений к серверу для доступа к данным и ограничить объем данных, загружаемых с сервера.

Проектирование баз данных средствами языка Visual Prolog

Ковальков А.Т., Ковалькова И.А.

Белорусский национальный технический университет

В Visual Prolog (VP) имеются специальные средства для организации баз данных (БД). Эти средства рассчитаны на работу с реляционными БД. Внутренние унификационные процедуры языка осуществляют автоматическую выборку фактов с нужными значениями известных параметров и присваивают значения еще не определенным параметрам. К тому же механизм возврата позволяет находить все имеющиеся ответы на сделанный запрос.

VP дает возможность создавать БД двух типов: внутренние и внешние. Внутренние или динамические базы данных (ДБД) располагаются и обрабатываются исключительно в оперативной памяти компьютера, в отличие от внешних БД, которые могут обрабатываться на диске или в памяти.

Внутренняя БД состоит из фактов (истинных утверждений), которые можно динамически, в процессе выполнения программы, добавлять в БД и удалять из неё, сохранять в файле, загружать факты из файла в БД. Предикаты, принадлежащие ДБД, доступны точно так же, как и другие предикаты. Единственное различие состоит в том, что объявления таких предикатов осуществляется в разделе facts вместо раздела predicates (раздела описания пользовательских предикатов). Все утверждения с предикатами, описанными в разделе facts, составляют ДБД, которая, в отличие от неизменяемой статической БД, являющейся частью кода программы, в процессе работы программы может меняться. Имеется ряд стандартных предикатов для работы с ДБД, позволяющих добавлять новые факты в начало или в конец ДБД, удалять один или все факты из ДБД, сохранять содержимое ДБД в файле, добавлять ранее сохраненный текстовый файл к ДБД. Система внутренних БД Visual Prolog является простой и удобной, но ограничена объемом оперативной памяти.

Внешняя БД обычно создается в случае, если объем данных больше свободной части ОЗУ или предполагается значительное расширение БД. В отличие от внутренней БД во внешней БД термы могут храниться не только в виде структуры, похожей на факт, но и в виде списков, сложных структур, чисел и т.д. Внешняя БД состоит из цепочек (chain), в которых хранятся термы. Количество термов в цепочке не ограничено, в БД может быть любое число цепочек. Каждая цепочка имеет свое имя и может быть обработана как отдельная группа данных. Вся внешняя БД в целом также легко управляема как отдельный модуль. Для работы с внешней БД VP имеет примерно два десятка стандартных предикатов.

Новиков С.О., Новикова Л.И.

Белорусский национальный технический университет

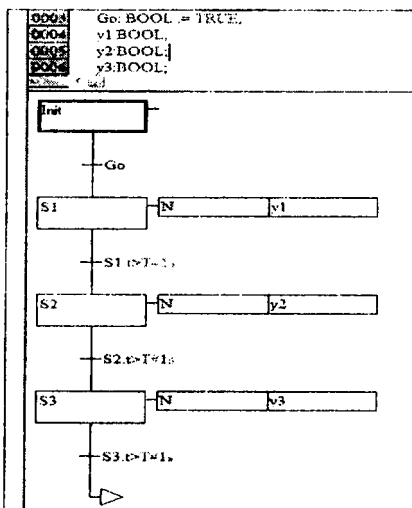
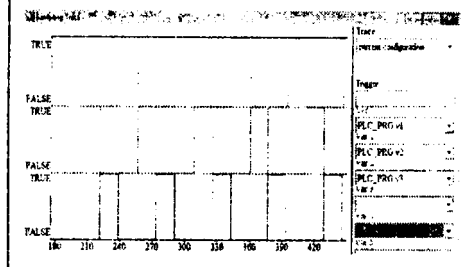


Рисунок 1 – Последовательное управление по времени в SFC

Такая схема работает циклически, как «бегущие огни». Процесс работы схемы наглядно отражает экран трассировки CoDeSys (рисунок 2).



Используя SFC-программу несложно организовать последовательное переключение выходов с фазами заданной продолжительности и произвольным фазовым сдвигом. Программа, формирующая три последовательных интервала по 1 секунде реализованная на языке SFC, показана на рисунке 1.

По фронту входа Go последовательно запускаются шаги S1 – S3. Каждый шаг отмеряет момент окончания соответствующей фазы. Никаких вспомогательных переменных не требуется. Алгоритм реализуется дословно. После окончания работы шага S1 запускается шаг S2, за ним S3. Каждый шаг работает заданное время. Шаг Init – пустой, он ожидает разрешения работы – Go. Действия y1, y2, y3 связаны с логическими переменными. Выходы Y1 – Y3 соответствуют фазам управления. Все переменные программы должны быть объявлены как BOOL. В разделе объявлений нужно объявить всего три логических переменных.

y1, y2, y3: BOOL;
 Go: BOOL := TRUE;

**Модернизация программы тестирования знаний студентов
по дисциплине «Функциональное и логическое программирование»**

Ковальков А.Т., Ковалькова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Практическое использование программы тестирования знаний студентов по дисциплине «Функциональное и логическое программирование» [1] выявило недостатки этой программы.

Сущность недостатков программы тестирования заключается в следующем: во время тестирования студент имел возможность путем прокрутки экрана просматривать варианты ответов на тестовые вопросы других студентов, проходивших тестирование ранее и получивших высокие оценки; результаты тестирования сохраняются в текстовом файле, который после его открытия можно отредактировать, изменив оценки тестирования; студент, получивший низкую оценку, мог из меню удалить файл результатов тестирования и повторять тестирование, пока не получит приемлемую оценку.

Для устранения указанных недостатков и с целью получения более объективной оценки по тестированию в новой версии программы предусмотрены следующие приемы: исходный текст программы студенту недоступен, а тестовая программа запускается через exe-файл; файлы базы тестовых вопросов и результатов тестирования получают атрибуты “скрытый” и “только для чтения”; при каждом запуске программы из базы тестовых вопросов выбираются случайным образом и в произвольном порядке только половина вопросов из всех, например, для теста №1 20 из 40, для теста №2 23 из 46 и т.д.; варианты возможных ответов на вопрос также при каждом запуске программы выводятся случайным образом; текстовый файл с результатами тестирования зашифровывается; по окончании сеанса тестирования происходит выход из программы и, таким образом, пропадает информация об истории тестирования; для удаления файла результатов тестирования и просмотра результатов тестирования требуется ввести пароль; студент не знает, на какие вопросы он ответил неверно.

Практическое использование разработанной тестовой системы в учебном процессе заставляет студентов работать с конспектом лекций, повышает продуктивность лабораторных занятий, способствует накоплению знаний к предстоящему экзамену по дисциплине.

1. Ковальков, А.Т. Тестирование знаний студентов по языку логического программирования Пролог / А.Т.Ковальков, И.А. Ковалькова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Девятой международной науч.-технич. конф. : в 4 т. / БНТУ – Минск, 2011. – Т. 1. - С. 178.

Производительность процессорного ядра Cortex-M4F в вычислениях с плавающей запятой

Щербаков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Первые микроконтроллеры, основанные на новом процессорном ядре Cortex-M4F фирмы ARM, появились в 2010 году. Ключевой особенностью данного ядра в сравнении с имеющимися на рынке микроконтроллерами на процессорном ядре Cortex-M3 является добавление инструкций, построенных по SIMD парадигме и добавление сопроцессора для работы с данными в формате с плавающей запятой. Такие изменения позволяют позиционировать микроконтроллеры на Cortex-M4F для задач обработки сигналов DSP.

Особенностями математического сопроцессора VFP является поддержка вещественных данных одинарной точности и отсутствие команд вычисления трансцендентных функций, что приводит к необходимости задействования дополнительных программных алгоритмов.

К типичным задачам относится вычисление тригонометрических функций, алгоритм которых основан на разложении в ряд. При отсутствии математического сопроцессора для работы с данными в формате плавающей запятой требуется дополнительно затратить целочисленные инструкции.

Проведено сравнение производительности микроконтроллера фирмы STMicroelectronics серии STM32F4, обладающего процессорным ядром Cortex-M4F с микроконтроллером серии STM32F3 с ядром Cortex-M3 того же производителя. Работа тестовых программ показала, что при использовании одинаковой тактовой частоты, производительность ядра Cortex-M4F в задачах вычисления тригонометрических функций выше производительности Cortex-M3 в 7 раз. Т.к. максимальная тактовая частота микроконтроллеров серии STM32F4 может быть выше в 3-5 раза, чем серии STM32F1 и в 1.2-1.5 раза чем серии STM32F2, то преимущество в производительности в задачах с плавающей запятой контроллеров с ядром Cortex-M4F по сравнению с контроллерами на ядре Cortex-M3 становится еще больше.

Относительное ускорение выполнения задач численных методов при использовании вещественных типов данных одинарной точности (float) составило в среднем в 6 раз. При использовании вещественных типов данных двойной точности наличие сопроцессора не сказывается на производительности микроконтроллера.

Программное обеспечение для проектирования объектов и программирования их поведения в задачах компьютерной графики

Разоренов Н.А., Фролов О.М.

Белорусский национальный технический университет

Современное программное обеспечение неразрывно связано с графическими интерфейсами. Так же существует отдельная категория программ, которая работает только с графикой (например, игры). Для разработки существуют разнообразные наборы библиотек, которые снимают с разработчика необходимость разрабатывать все с нуля. Эти наборы библиотек называются графическими движками.

Целями любого графического движка являются: 1) уменьшить время создания приложения; 2) легкая расширяемость базового функционала на основе существующей платформы.

Целью работы была разработка части функционала графического движка, для уменьшения дублирования кода. Так же легкого создания и расширения функциональной части объектов, которые используются для представления базовых примитивов. Для добавления расширяемости объектов и компоновки их в реальном времени, в зависимости от различных условий, были использованы возможности .net для создания динамических объектов. Для контролирования динамического поведения, объект должен реализовывать интерфейс IDynamic Meta Object Provider и возвращать реализацию объекта, унаследованного от Dynamic Meta Object. Это позволяет расширять функциональную составляющую объектов в реальном времени.

Для создания возможности динамически расширять функционал объектов были использованы Expressions, которые позволяют удобным образом создавать динамические методы и компилировать их в реальном времени.

Объединяя эти возможности, можно спрятать от пользователя внутреннюю реализацию системы, и упростить работу. Одной из главных идей, которые преследовались во время написания проекта, была реализация функциональной части подписываний на вызов метода. Следует заметить, что функционал подписки позволяет так же удобно распараллелить процесс работы приложения в целом. Для этого использовалась библиотека TPL(taskparallel library). Вызов подписанных методов осуществляется после завершения работы основного метода. Для реализации этого функционала использовался AOP(aspectoriented programming) подход. В частности был создан постобработчик на библиотеке Microsoft.Ccil для изменения созданных сборок, после из компиляции.

Автоматизация учебно-методической работы кафедры

Попова Ю.Б., Бухвалова И.А., Лаврентиков В.А., Васильева А.Н.
Белорусский национальный технический университет

Рассматриваемое в данной работе приложение предназначено для автоматизации организационно-методической работы кафедры практически любого высшего учебного заведения.

В рамках данного программного обеспечения формируется база данных специальностей, факультетов, кафедр, а также изучаемых предметов в рамках университета. Далее, на основании введенной информации, предоставляется возможность создания наборов и прикрепленных к ним учебных планов специальностей, как для дневной, так и для заочной форм обучения. Затем, опираясь на составленные учебные планы, приложение позволяет создавать учебные программы для любой из дисциплин плана.

Результатом работы приложения являются следующие документы в форматах Microsoft Word и Excel:

- учебный план;
- выписка к диплому по учебному плану;
- список дисциплин по годам обучения и кафедрам;
- учебная программа дисциплины;
- календарный план дисциплины;
- методическая карта дисциплины.

Разработанное приложение имеет удобный веб-интерфейс и является многопользовательским. В системе предусмотрены роли администратора и преподавателя. Администратор имеет полный доступ к системе, осуществляет редактирование базы данных приложения, а также составляет учебные планы и создает учебные программы. Преподаватель, в свою очередь, имеет доступ для просмотра всех учебных планов с возможностью расширенного поиска дисциплин, а также редактирования закрепленных за ним учебных программ.

На данном этапе возможности приложения ограничены двумя вышеперечисленными функциями по созданию учебных планов и учебных программ, однако они не являются пределом для его дальнейшего развития.

В настоящее время представленное приложение находится на этапе апробирования на кафедре «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета и планируется к внедрению в учебный процесс к началу нового учебного года.

Контроль знаний студентов методом тестирования

Попова Ю.Б., Гончарик М.С.

Белорусский национальный технический университет

Тест является средством контроля знаний, умений, навыков и уровня развития обучаемых. Тесты представляют собой серию вопросов и заданий по проверяемой теме. Сегодня тесты широко используются в учебном процессе. Их можно разделить на 2 группы – традиционные и нетрадиционные тесты.

Традиционный тест обладает составом, целостностью и структурой. Он состоит из заданий, правил их применения, оценок за выполнение каждого задания и рекомендаций по интерпретации тестовых результатов. Результат традиционного теста зависит от количества вопросов, на которые был дан правильный ответ.

К нетрадиционным тестам можно отнести интегративные (состоят из системы заданий, нацеленных на обобщенную итоговую диагностику подготовленности тестируемого) и адаптивные (представляют собой вариант автоматизированной системы тестирования, в которой заранее известны параметры трудности и дифференцирующей способности каждого задания).

Каждый тест включает в себя задания. В рамках основной классификации тестовые задания могут быть двух типов:

1. **Закрытого типа** (каждый вопрос сопровождается готовыми вариантами ответов: множественный выбор - необходимо выбрать один или несколько правильных ответов из приведенного списка; альтернативный выбор – необходимо ответить «да» или «нет»; установление соответствия - предлагается установить соответствие элементов двух списков; последовательности - испытуемый должен расположить элементы списка в определенной последовательности).

2. **Открытого типа** (на каждый вопрос испытуемый должен предложить свой ответ: свободное изложение - испытуемый должен самостоятельно сформулировать ответ, и никакие ограничения на них в задании не накладываются; дополнение - испытуемый должен сформулировать ответы с учетом предусмотренных в задании ограничений, например, дополнить предложение).

Выбор типа и вида тестового задания определяется, прежде всего, целями, в соответствии с которыми проводится тестирование, характером материала, усвоение которого необходимо выявить, возрастными особенностями испытуемых, а также возможностями автоматизированных систем, с помощью которых оно проводится.

Системный анализ и методы принятия решений – две ветви научного познания

Михалевич А.П.

Белорусский национальный технический университет

“Системный анализ” и “Методы принятия решений”- две дисциплины, которые изучаются в ведущих вузах республики Беларусь, ближнем и дальнем зарубежье.

Для подготовки системных аналитиков Министерство образования Российской Федерации в 2000 году утвердило государственный образовательный стандарт профессионального образования по направлению 553000 “Системный анализ и управление” с присвоением степени (квалификации)-бакалавр(магистр) техники и технологии и открыло специальность “Системный анализ, управление и обработка информации”. В область исследования последней включены теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации. В приведенном перечне методы принятия решений включены в системный анализ.

Вместе с тем дисциплину “Методы и принятия решений” изучают как самостоятельный предмет. В Академии управления при Президенте Республики Беларусь изучают информационные технологии оптимальных решений, которые включают основные понятия теории принятия решений, оптимизационные модели принятия решений, модели сетевого планирования в управлении, методы теории игр в управлении, многокритериальные задачи принятия решений и векторную оптимизацию, экспертные оценки в управлении.

В учебнике Черноруцкого И.Г. “Методы принятия решений” дополнительно рассматривается принятие решений в условиях неопределенности и многостадийные задачи принятия решений, в учебном пособии Черноморова Г.А. “Теория принятия решений” достаточно подробно изучаются системы массового обслуживания и модели управления запасами, в учебнике Москвина Б.В. “Теория принятия решений” рассматриваются задачи оптимального управления в военно-технических системах.

При наличии в учебном плане дисциплин “Системный анализ” и “Методы принятия решений” возникает вопрос очередности изучения этих дисциплин, вызванный предстоящим переходом на двухступенчатую систему высшего образования. Так, первая дисциплина часто изучается на пятом курсе, а вторая – на третьем. Логично было бы производить на начальной стадии анализ, а затем принимать оптимальное решение, то есть возникает необходимость в корректировке учебных планов.

Математическое моделирование демографических процессов в Беларуси

Михалевич А.П.

Белорусский национальный технический университет

В Википедии дано определение демографии как науки о закономерностях воспроизводства населения, зависимости его от социально-экономических, природных условий, миграции, изучающая численность, территориальное размещение и состав населения, причины их изменения и дающая рекомендации по их улучшению. Приводится перечень наук, связь с которыми обеспечивает дальнейшее развитие демографических исследований, таких как экономика (трудовые ресурсы), экономика народонаселения, политология, антропология, генетика, экология, этнография, биология, география народонаселения, социология, миграциология, геронтология, социальная философия, право.

В России изучением проблем, связанных с демографией занимаются ученые института социально-экономических проблем РАН, института демографии ГУ-ВППЭ, института демографии, миграции и регионального развития, института демографических исследований. Столь пристальное внимание, уделяемое вопросам, связанным с демографией, неслучайно. Общеизвестными факторами являются, с одной стороны, снижение рождаемости в экономически развитых и относительно малонаселенных странах и мерах, принимаемых в этих странах по стимулированию рождаемости, и высокой рождаемости в экономически отсталых в прошлом странах и густонаселенных и мерах принимаемых в этих странах по сдерживанию рождаемости. Лишь недавно в Китае принято решение о разрешении иметь китайской семье двух не облагаемых высоким налогом детей. Существовавшая до этого времени тенденция иметь одного ребенка в семье привела к перекосу в структуре населения, 25 миллионов китайцев не могут найти себе спутницу жизни в своей стране

Чтобы избежать необратимых явлений, связанных с широким привлечением иностранцев к трудовой деятельности в Беларуси, необходимо провести самым тщательным образом системные исследования по предполагаемому росту численности небелорусского населения, соотношения трудоспособной их части и их семей, вероисповедания, образования диаспор и возможного роста преступности.

Подобный расчет поможет избежать диспропорций в национальном составе населения и улучшить в целом демографическую ситуацию.

Автоматизация тестирования web-приложений с использованием Selenium 2

Разоренова Т.Р., Врублевский Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Selenium HQ представляет собой набор инструментов для автоматизации тестирования веб-приложений независимо от платформы их разработки.

Selenium 2 поддерживает стационарные и мобильные браузеры. Selenium позволяет разрабатывать сценарии автоматизации практически на любом языке программирования. С помощью Selenium можно организовать распределённые стенды, состоящие из сотен машин с разными операционными системами и браузерами, и даже выполнять сценарии в облаках.

Разработка Selenium поддерживается производителями популярных браузеров. Они адаптируют браузеры для более тесной интеграции с Selenium, а иногда даже реализуют встроенную поддержку Selenium в браузере.

Для эффективной промышленной разработки автоматических тестов Selenium HQ предоставляет обширный набор API по взаимодействию с веб-браузером и доступа к элементам веб-страниц.

В состав системы Selenium HQ входят компоненты: Selenium IDE, Selenium RC, Selenium WebDriver, Selenium Grid.

Компонент Selenium IDE представляет собой расширение для браузера Mozilla Firefox и позволяет разрабатывать автоматизированные тесты по принципу Record and Playback. Программисту предоставляется возможность импортировать разработанные и записанные в специальном html-подобном формате тестовые скрипты на один из языков программирования высокого уровня, такие как C#, Java, Python.

Selenium используется для разработки тестов непосредственно на одном из языков программирования высокого уровня. Начиная с версии 2.0, в набор инструментов Selenium HQ добавлен Selenium WebDriver. Этот компонент предоставляет объектную реализацию Selenium API и рассматривается как замена Selenium RC.

Преимущества использования Selenium WebDriver: отсутствие ограничений, связанных с использованием JavaScript; для каждого браузера свой драйвер; высокая скорость выполнения тестов; простой интерфейс написания тестов в «чистом виде»; native интерфейс браузера; работа с браузером «напрямую»; возможность работы с объектами; совместимость с уже существующим Selenium API.

Некоторые особенности модулярных шифров

Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Определим алфавит $A: A=\{a_i\}, i=1, 2, \dots, m; I=\{i\}; i_p \notin, i_c \notin$, где m – объем алфавита (например, $m=26$), i – порядковый номер символа в алфавите, a_i – некоторый символ алфавита, i_p, i_c – порядковые номера символов исходного текста и шифротекста в алфавите соответственно.

Формула шифрования для модулярного шифра [1] имеет вид

$$E_k(a_i) = i_p * k \pmod{m} = i_c, \quad (1)$$

где k – ключ шифрования (натуральное число). Тогда

$$1 \leq i_p \leq m \rightarrow k \leq i_p k \leq mk. \quad (2)$$

Для обеспечения взаимно-однозначного соответствия символов исходного и шифрованного текстов, т.е. обратимости шифра, ставится следующее условие [1]:

$$\text{НОД}(k, m) = 1. \quad (3)$$

Рассмотрим более детально влияние условия (3) на корректность шифрования/дешифрования информации с использованием шифра (1).

Утверждение 1. Для обеспечения обратимости шифра в пределах (2) при шифровании по алгоритму (1) требуется, чтобы значения i_c пробегали полную систему классов вычетов по модулю $m: \overline{1}, \overline{2}, \dots, \overline{m}$ и не было бы ни одной пары значений, принадлежащих к одному классу, т.е. среди значений i_c не должно быть более одного нулевого вычета, $i_c=0$.

На этом основании сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 2. Если для шифра по алгоритму (1) справедливо соотношение

$$\text{НОК}[k, m] \geq km, \quad (4)$$

то условие обратимости шифра выполняется.

$\text{НОК}[k, m] = j_d^k m$ или $\text{НОК}[k, m] = j_d^m k$, где j_d^k – число делителей $\text{НОД}(k, m)$ в значении k , j_d^m – число $\text{НОД}(k, m)$ в значении m . Следовательно, при выполнении условия (3) $\text{НОК}[k, m] = km$, и шифр является обратимым.

Рис. 1 иллюстрирует справедливость приведенных выше утверждений.

i_p вычет i_c	i_p вычет i_c	i_p вычет i_c	i_p вычет i_c	i_p вычет i_c	i_p вычет i_c	i_p вычет i_c
$1 \rightarrow \underline{3}$	$4 \rightarrow \underline{2}$	$7 \rightarrow \underline{1}$	$1 \rightarrow \underline{2}$	$4 \rightarrow \underline{8}$	$7 \rightarrow \underline{4}$	$\underline{\quad}$
$2 \rightarrow \underline{6}$	$5 \rightarrow \underline{5}$	$8 \rightarrow \underline{4}$	$2 \rightarrow \underline{4}$	$5 \rightarrow \underline{0}$	$8 \rightarrow \underline{6}$	$\underline{\quad}$
$3 \rightarrow \underline{9}$	$6 \rightarrow \underline{8}$	$9 \rightarrow \underline{7}$	$3 \rightarrow \underline{6}$	$6 \rightarrow \underline{2}$	$9 \rightarrow \underline{8}$	$\underline{\quad}$
а)			б)			

Рис. 1. Значения i_p и i_c при шифровании по формуле (1): а) $m=10, k=3$; б) $m=10, k=2$

1. Романец, Ю.В., Тимофеев, П.А., Шаньгин, В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. – М.: Радио и связь, 2001.

**Программное графоаналитическое средство
исследования динамических систем с параметрической
неопределенностью**

Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим систему, описываемую семейством характеристических полиномов

$$P = \{p(s)\}, \quad (1)$$

где
$$p(s) = s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n, \quad (2)$$

a_i - некоторые коэффициенты (параметры) системы, $s = \sigma + i\omega$.

На основании (2) посредством выделения свободного параметра системы формируется уравнение корневого годографа Теодорчика-Эванса (КГТЭ) [1], которое определим через базовые полиномы: $E_n(\sigma, \omega)$, $P_m(\sigma, \omega)$, $F_n(\sigma, \omega)$, $R_m(\sigma, \omega)$ [1] следующим образом:

$$E_n(\sigma, \omega)P_m(\sigma, \omega) - F_n(\sigma, \omega)R_m(\sigma, \omega) = 0. \quad (3)$$

Выражения (1) – (3) положены в основу разработки приложения, реализующего графоаналитический метод исследования динамических систем с неопределенностью параметров. Приложение выполняет следующие функции: генерирование уравнений и построение графиков обычных годографов и годографов кругового образа (3), соответствующих полей корневых траекторий [2].

Программа реализована в среде MS Visual 2008 C++ Express Edition. В качестве входных данных используется характеристическое уравнение или передаточная функция динамической системы и пределы изменения параметров системы. Выходными данными являются графические и аналитические поля корневых траекторий, значения параметров системы, область качества системы. Показано движение корней вдоль ветвей годографов при изменении варьируемых параметров, что позволяет исследовать влияние нежелательных изменений варьируемых параметров на динамику системы, определять параметры, при которых система сохраняет устойчивость и заданное качество в широком диапазоне параметрических вариаций.

Литература

1. Римский, Г.В., Таборовец, В.В. Автоматизация исследований динамических систем. Минск: Наука и техника, 1978.
2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005.

Математические модели и структурные схемы, применяемые в системах векторного управления асинхронными двигателями

Фираго Б.И.

Белорусский национальный технический университет

В системах векторного управления асинхронными двигателями (АД) в каналах задания потокосцепления (ротора, взаимоиндукции, статора) и составляющих вектора тока статора используется синхронно вращающаяся система координат x - y , где все электрические и магнитные величины являются сигналами постоянного тока.

Из общей математической модели эквивалентного двухфазного АД в осях x - y выделены математические модели для частных случаев ориентирования оси x вдоль вектора потокосцепления: 1) ротора, 2) взаимоиндукции и 3) статора. На основании этих математических моделей с добавлением основного уравнения движения электропривода построены структурные схемы векторного управления АД с ориентированием одного из указанных векторов потокосцепления вдоль оси x синхронно вращающейся системы координат x - y . Структурная схема показывает взаимосвязь переменных и формирование электромагнитного момента двигателя для выбранного вектора потокосцепления. Математическая модель векторного управления АД для данного вектора потокосцепления позволяет после задания составляющих вектора тока статора вычислить амплитуду первой гармоники задаваемого напряжения при известной его угловой частоте.

Анализ математических моделей АД, используемых для векторного управления, показывает, что наиболее простые соотношения для задаваемых величин получаются при ориентировании оси x вдоль вектора потокосцепления ротора. Ориентирование оси x вдоль вектора потокосцепления взаимоиндукции заметно осложняет определение задаваемых составляющих вектора тока статора и вектора напряжения. То же можно сказать и про ориентирование оси x вдоль вектора потокосцепления статора. Поэтому в системах векторного управления АД (как прямых, так и косвенных) преобладает ориентирование оси x вдоль вектора потокосцепления ротора, хотя вычисление вектора потокосцепления статора или взаимоиндукции проще выполнить, чем вычисление потокосцепления ротора.

В системах прямого управления электромагнитным моментом АД, которые в широком смысле относятся к векторным, применяется вычисление вектора потокосцепления статора, как наиболее просто реализуемое.

Применение импульсных регуляторов напряжения с функцией квазичастотного управления в электроприводах механизмов передвижения кранов

Васильев Д.С.

Белорусский национальный технический университет

В электроприводах (ЭП) крановых механизмов передвижения, где не требуется технологического регулирования скорости, мягкий пуск и торможение, а также получение устойчивой пониженной скорости асинхронного двигателя (АД) для точной остановки кранового механизма вместо более дорогого и технологически сложного преобразователя частоты (ПЧ) целесообразно осуществить с помощью устройства плавного пуска и торможения (УПП) на основе импульсного регулятора напряжения (ИРН) на полностью управляемых полупроводниковых элементах, например, транзисторах. По сравнению с распространенными в настоящее время УПП на основе тиристорного регулятора напряжения с фазовым управлением ИРН позволяет уменьшить потери энергии в переходных процессах ЭП, улучшить гармонический состав кривых напряжения и тока АД, исключить дополнительный сдвиг первой гармоники тока относительно напряжения, а также повысить коэффициент мощности устройства.

В схеме ИРН используются основные ключи, участвующие в формировании импульсной кривой напряжения на нагрузке, и шунтирующие нагрузку силовые ключи, работающие при выключенных основных ключах. Такая последовательность работы силовых ключей способствует непрерывному протеканию тока в силовой цепи. В зависимости от количества основных и шунтирующих силовых ключей в схеме и их взаимного соединения возможны различные варианты структур силовой части ИРН. В качестве оптимальной структуры, состоящей из наименьшего числа транзисторов и имеющей наиболее простую систему управления по сравнению с другими возможными вариантами силовых схем, предлагается использовать схему ИРН с тремя основными ключами, каждый из которых выполнен в виде одного транзистора, включенного в диагональ однофазного диодного моста в фазе АД, и одним шунтирующим ключом в виде трехфазного диодного моста с однонаправленным транзистором. Эта схема также позволяет реализовать функцию квазичастотного управления АД на пониженной скорости, что особенно важно при использовании УПП на базе такого ИРН в ЭП кранового механизма передвижения для получения устойчивой пониженной скорости с целью обеспечения его точной остановки.

Синтез робастного дискретного регулятора

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Параметры электропривода в процессе функционирования изменяются в широких пределах. Пределы возможных изменений каждого из параметров можно оценить в зависимости от режимов работы электропривода. Регулятор должен быть синтезирован таким образом, чтобы во всем диапазоне изменений параметров показатели качества находились в заданных пределах. В системах управления электроприводами регуляторы реализуются программно на основе микроконтроллеров и являются дискретными. Линеаризованный объект с одним входом и одним выходом описывается уравнениями

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k, \quad y_{k+1} = Cx_{k+1}.$$

Сигнал управления формируется на основании измеряемой датчиком выходной величины $y_k = Cx_k$ в виде

$$u_k = c_0(y^* - y_k) - c_1y_{k-1} - \dots - c_{n-1}y_{k-n+1}.$$

Здесь y^* - задающий сигнал, $e_k = (y^* - y_k)$ - ошибка регулирования, x_k - переменные объекта. Параметры c_0, c_1, \dots, c_n регулятора рассчитываются так, чтобы корни характеристического полинома системы принадлежали заданной области на комплексной плоскости. Характеристический полином относительно переменной $q = (1 - z^{-1})/T$, где T - интервал дискретности, приводится к виду

$$q^n + (a_{n-1} + bC_{n-1})q^{n-1} + \dots + (a_1 + bC_1)q + (a_0 + bC_0).$$

Здесь a_0, a_1, \dots, a_{n-1} зависят от параметров объекта управления и могут изменяться в заданных пределах $a_i \in [a_i, \bar{a}_i] = [\underline{a}_i, \underline{a}_i + \delta_i]$. Значения C_i определяются параметрами регулятора, ($i = 0, 1, \dots, n-1$). Корни зависят от относительного изменения коэффициентов полинома. Поэтому параметры регулятора следует выбирать из условия малости относительных изменений коэффициентов полинома

$$\delta_i = \Delta_i / (a_i + bC_i) \leq \varepsilon.$$

Здесь ε - заданная малая величина. Последнее условие означает, что коэффициент усиления регулятора должен быть достаточно велик, и при его расчете используется свобода выбора корней в пределах заданной области. Метод не требует дифференцирования сигналов, что является преимуществом.

Применение и выбор полевых транзисторов в схемах преобразователей электрической энергии

Улащик Н.М.

Белорусский национальный технический университет

С появлением в 70-х годах полевого MOSFET-транзистора, ситуация в силовой электронике изменилась. Его характеристики отличаются от характеристик биполярных транзисторов: MOSFET управляется не током, а напряжением; он меньше реагирует на изменения температуры; имеет низкое сопротивление канала (до 0,003 Ом), широкий диапазон токов (от 0,5 до 100 А), высокую частоту переключения (до 500 кГц) и рабочее напряжение до 1000 В.

MOSFET легко управляется, что свойственно транзисторам с изолированным затвором и имеет встроенный диод утечки для ограничения случайных бросков тока. Врожденные недостатки, присущие MOSFET, это, в первую очередь, большое сопротивление открытого канала высоковольтных полевых транзисторов. Типичные применения MOSFET - импульсные источники питания с рабочими частотами выше 200 кГц и устройства заряда аккумуляторов. Механизмы потерь в IGBT и MOSFET различны. В MOSFET-транзисторах они состоят преимущественно, из потерь на проводимость и незначительных потерь на переключение. В IGBT потери на проводимость намного ниже, чем в MOSFET, но на высоких частотах становятся значительными потери на переключение. При повышении температуры потери проводимости в MOSFET растут быстрее, чем в IGBT. Потери в MOSFET при высоких температурах увеличиваются на 60%, а общие потери IGBT - всего на 20%. При мощности в 300 Вт потери почти равны, а при 500 Вт и более эффективными оказываются IGBT. MOSFET-транзисторы применяют при работе с невысокими напряжениями (обычно до 800В) и выходной мощностью до 2...3кВт.

Практика выбора MOSFET-транзисторов следующая: мощность статических потерь транзистора MOSFET: $P_D = I_d^2 \cdot R_{DS(on)} \cdot D$, где I_d - среднее значение тока стока за период проводимости; $R_{DS(on)}$ - сопротивление канала; D - скважность. Мощность динамических потерь транзистора MOSFET с учетом тока обратного восстановления оппозитного диода в режиме «тяжелого» переключения: $P_{SW} = U_s (I_1 \cdot t_a + 0,5Q_{rr}) \cdot F$, где U_s - напряжение питания; F - частота; I_1 - ток нагрузки; Q_{rr} - заряд обратного восстановления антипараллельного диода; t_a - составляющая времени обратного восстановления t_{tr} , пока напряжение на диоде остается близким к нулю (примерно равно времени включения).

Применение ВПЧ в автоматизированных электроприводах

Шишмарев Д.И., Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Опыт индустриально развитых стран показывает, что в большинстве случаев целесообразно направлять капиталовложения не на увеличение производства электроэнергии, а на ее сбережение. Например [1], в США в результате реконструкции 60 энергоблоков ТЭС в период с 1986 по 1995 годы было введено более 300 высоковольтных частотно-регулируемых асинхронных электроприводов мощностью от 630 до 4500 кВт, что обеспечило годовую экономию электроэнергии около 1 млрд. кВт·ч; в России за 10 лет (с 1995 г.) специалистами ОАО «ВНИИЭ» на ТЭЦ и насосно-перекачивающих станциях тепловых сетей было внедрено 28 частотно-регулируемых асинхронных электроприводов мощностью от 500 до 4000 кВт напряжением 3300 и 6000 В, что обеспечило годовую экономию электроэнергии около 1 млрд. кВт·ч. Эти данные свидетельствуют также о высокой эффективности применения мощных регулируемых электроприводов с *высоковольтными преобразователями частоты* (ВПЧ).

В докладе рассмотрены различные виды ВПЧ зарубежных и российских разработок, выполненных на тиристорах и полностью управляемых полупроводниковых приборах, а также приведены их формы кривых токов и напряжений при работе на асинхронный двигатель (АД). Их анализ показывает, что наилучшей электромагнитной совместимостью с АД и с питающей сетью обладают каскадные многоуровневые ВПЧ, у которых в каждой фазе нагрузки имеется несколько низковольтных преобразователей частоты (модулей), выходы которых соединены последовательно, образуя высоковольтный источник напряжения. Питаются низковольтные модули через многообмоточный трансформатор, подключаемый к сети 6 или 10 кВ. Каждый силовой модуль состоит из диодного выпрямителя и однофазного автономного инвертора напряжения (на транзисторах IGBT) с ШИМ.

В случае неисправности какого-либо модуля он автоматически шунтируется (выводится из работы), а управление оставшимися модулями автоматически корректируется. Это обуславливает весьма высокую живучесть таких ВПЧ.

Литература

1. Лазарев, Г.Б. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода // Г.Б. Лазарев. – Новости электротехники, 2005, № 2 (32).

Параметрическая идентификация асинхронного двигателя в частотно-регулируемом электроприводе

Однолько Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Современный частотно-регулируемый асинхронных электропривод представляет собой симбиоз достижений в области силовой электроники, электромеханики и микропроцессорной техники. Для повышения эксплуатационной надежности частотно-регулируемого электропривода при управлении его состоянием, контроле и функциональном диагностировании необходимо предусматривать алгоритмы текущей параметрической идентификации, которые призваны адаптировать систему управления к переменным параметрам схемы замещения фазы машины

В большинстве случаев, при решении задач идентификации параметров принимаются во внимание усредненные во времени значения наблюдаемых переменных тока и напряжения. вне зависимости от способа идентификации. Полученные значения, являясь исходными для вычисления параметров, обеспечивают управляемость в рамках линеаризованных моделей электропривода, несмотря на явную дискретность и нелинейность системы.

В работе предлагается алгоритм идентификации параметров АД на малых интервалах времени, в качестве которых взяты интервалы коммутации силовых ключей инвертора. Переход к идентификации с учетом мгновенных значений наблюдаемых переменных позволяет выявить на интервалах дискретного времени линейные участки изменения переменных, где система электропривода является линейной, а также дает возможность корректировать управляющее воздействие на каждом периоде ШИМ с учетом переменных состояний АД.

Для имитации «дрейфа» активных сопротивлений в зависимости от температурных режимов в машине была разработана пользовательская подсистема переменного сопротивления статора и ротора.

Таким образом, в работе предложен алгоритм параметрической идентификации асинхронного электродвигателя, основанный на измерении мгновенных значений токов фаз статора и вычислении непосредственно в рабочем режиме частотно-регулируемого электропривода изменяющихся в функции температуры активных сопротивлений обмоток двигателя. Проведен анализ функционирования алгоритма методом имитационного моделирования, и подтверждена его эффективность в качестве процедуры текущей идентификации.

Типовые источники бесперебойного питания фирм США

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

К источникам питания в автоматизированных системах управления ответственными объектами (автоматизированными электроприводами, сложными технологическими процессами, современными персональными компьютерами) предъявляются повышенные требования в отношении поддержания надежности работы таких объектов. Поэтому возникает необходимость использования источников бесперебойного питания (ИБП), которые по принципу действия классифицируют, в соответствии с международным стандартом МЭК IEC 60146-4, на три типовые группы:

- 1) OFF-Line;
- 2) Line-Interactive;
- 3) On-Line [1].

В докладе приведены некоторые конкретные примеры реализации ИБП фирмами США (схемы, принцип работы, особенности устройства) с приведением технических характеристик этих ИБП. Например, интересная реализация принципа действия ИБП линейно-интерактивного типа фирмы IMV (Invertomatic Victron Energy System) осуществлена в источниках модели MATCH. Электрическая энергия запасается в аккумуляторных батареях, размещённых в источнике. Основными элементами ИБП является трансформатор, выпрямитель и инвертор с микропроцессорным управлением.

Напряжение первичной сети через заградительный фильтр (для импульсных и радиопомех) поступает на трансформатор. Одновременно напряжение сети контролируется микропроцессором. При скачках напряжения сети в небольших пределах напряжения на нагрузке поддерживается в установленных пределах путём включения повышающей (понижающей) обмотке трансформатора с помощью микропроцессора. К дополнительной (вторичной) обмотке трансформатора подключён выпрямитель, обеспечивающий заряд батареи АКБ.

В случае мощных бросков (провалов) электрической энергии в сети ИБП отключается от входной сети; источник переходит в режим инвертора, питающегося от аккумуляторных батарей. Фильтры на входе и выходе ИБП обеспечивают защиту от помех различного происхождения, включая импульсные и радиопомехи.

Литература. 1. Кучеров, Д.П., Куприянов, А.А. Современные источники питания ПК и периферии. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 352 с.

Моделирование вентильно-индукторного привода с применением "мягкого" преобразователя

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

Вентильно-индукторный электропривод (ВИП) постепенно находит применение в различных областях, в частности в станкостроении, приводах стиральных машин и электроинструмента. Этому способствуют преимущества привода с вентильно-индукторным двигателем (ВИД), которые обусловлены простотой конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями.

При отсутствии постоянных магнитов в конструкции ротора питание фазных обмоток ВИД производится однополярными импульсами, что позволяет использовать более дешевые и надежные преобразователи, чем инверторы для машин переменного тока. В тоже самое время нелинейность характеристик ВИД приводит к перенапряжениям при коммутации фазных обмоток, что приводит к необходимости усложнять схемы преобразователей для ВИП. Одним из способов решения данной проблемы является применение так называемых "мягких" преобразователей, схема одного из таких преобразователей с резонансным LC контуром представлена на рисунке 1.

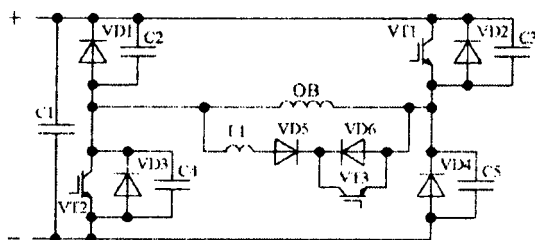


Рисунок 1. "Мягкий" преобразователь с резонансным LC контуром

Преобразователь на рисунке 1 представляет собой "классический" преобразователь ВИП, к которому добавлен резонансный LC контур. Работа данного контура управляется транзисторным ключом VT3.

В представленной работе проведена разработка имитационной модели вентильно-индукторного привода с представленным на рисунке 1 преобразователем, с целью исследования динамических свойств электропривода и условий коммутации фазных обмоток ВИД.

Санкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

Несмотря на все нарастающее загрязнение окружающей среды и удорожание ископаемых энергоносителей, нетрадиционная энергетика нашей страны развивается незначительными темпами. Развитию ветроэнергетики в РБ препятствует дешевизна электроэнергии от тепловых электростанций относительно стоимость ветроэлектрических установок (ВЭУ). Она находится в пределах от 700 до 1500 за 1 кВт установленной мощности. Снизить стоимость ВЭУ можно за счет совершенствования её конструкции, в первую очередь за счет упрощения ветроколеса (ВК).

В работе рассмотрены две структуры ВЭУ. Первая ВЭУ имеет в своем составе горизонтально-осевое ВК с регулированием угла атаки лопастей, вторая ВЭУ - с нерегулируемым горизонтально-осевым ВК. Полагаем, что обе установки имеют в своем составе синхронный генератор с постоянными магнитами, мультипликатор, управляемый выпрямитель и работают на R-L нагрузку.

Диапазон регулирования разбит на две зоны. Первая зона находится в пределах от начальной до номинальной скорости ветра, вторая зона – в пределах от номинальной до максимальной скорости ветра. Скорость ветра изменяется по нелинейному закону.

В первой зоне система управления ВЭУ, используя данные о скорости ветра и частоте вращения генератора, с помощью управляемого выпрямителя поддерживает оптимальную частоту вращения ВК. При этом ВК работает с наибольшим коэффициентом использования энергии ветра для одной конкретной мощностной характеристики ВК. Во второй зоне частота вращения генератора поддерживается на номинальном уровне. Для системы с регулированием угла атаки лопастей, это поддержание происходит за счет изменение мощностной характеристики ВК, для нерегулируемого ВК - за счет перегрузки генератора током.

В работе проведен анализ динамических характеристик ВЭУ во второй зоне регулирования для двух типов ВК. Результаты анализа показали что, при отказе от ВК с системой регулированием угла атаки лопастей, возникают проблемы с перегрузкой генератора при порывах ветра, и сложности связанные с остановом ВК при урагане.

Литература

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

Формирование открывающих импульсов в двухфазном повышающем преобразователе постоянного напряжения

Миронович А.В., Примшиц П.П.

Белорусский национальный технический университет

Бестрансформаторные повышающие преобразователи постоянного напряжения широко применяются в тех устройствах, в которых требуется получить постоянное напряжение достаточно большой величины (сотни вольт) при питании от аккумуляторной батареи и при довольно жёстких требованиях к массогабаритным показателям источника питания.

Структура классического повышающего преобразователя имеет в своём составе неминимально-фазовое звено, которое значительно усложняет синтез системы автоматического управления преобразователя. Для устранения этого недостатка был разработан метод гранично-непрерывного тока, при котором ток дросселя формируется пилообразной формы (в пределах от нуля до заданного значения). В результате, мы получаем практически безынерционный источник, инжектирующий ток в ёмкостный фильтр и нагрузку. В результате, ток, потребляемый из источника (аккумулятора), становится сильно пульсирующим, что крайне нежелательно как для самого аккумулятора, так и для других потребителей.

Решением данной проблемы является применение многофазного повышающего преобразователя, в котором для промежуточной накачки энергии применяется несколько параллельных ветвей с дросселями. Причём, для минимизации пульсаций потребляемого тока необходимо обеспечить фазовый сдвиг между токами дросселей, который зависит от числа фаз. В частности, для двухфазной схемы он должен составлять половину периода коммутации силового ключа фазы.

Главная сложность реализации фазового сдвига заключается в том, что при использовании метода гранично-непрерывного тока период коммутации ключей в фазах не остаётся постоянным, а изменяется пропорционально величине заданного максимального значения тока дросселя. Таким образом, организация фазового сдвига должна осуществляться автоматически в процессе работы преобразователя.

Авторами предлагается методика вычисления фазового сдвига путём измерения длительности периода коммутации в ведущей фазе с помощью вспомогательного интегратора, а затем формирования открывающего импульса сбросом интегратора до нулевого значения с постоянной времени в два раза меньшей, что и обеспечивает фазовый сдвиг в половину периода коммутации ведущей фазы.

Формирование статических характеристик замкнутых систем управления скоростью электропривода

Михеев Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Решалась задача формирования статических характеристик замкнутых систем управления скоростью обеспечить требуемую точность поддержания скорости на рабочих участках статических характеристик при заданном диапазоне регулирования скорости D и сформировать необходимый вид характеристик при нагрузках превышающих рабочие значения. Вид статических характеристик существенно влияет на динамику системы при задающих и возмущающих воздействиях.

Известны структуры и синтез линейных систем автоматической стабилизации скорости. При этом в основу положены идеализированные предельные диаграммы изменения отклонения скорости и тока в статической и астатической системах.

Максимальное динамическое отклонение скорости $\Delta\omega_{max}$ под действием возмущения ΔM_{cm} :

$$\Delta\omega_{max} = \frac{\Delta M_{cm}^2}{2J (dM/dt)_{дон}}$$

где M — электромагнитный момент двигателя. Если считать, что скорость изменения момента линейна и ограничена допустимым значением производной момента $(dM/dt)_{дон}$, то

$$M_{дон} = \sqrt{2J (dM/dt)_{дон} \Delta\omega}$$

Таким образом, регулятор скорости при этом должен быть нелинейным, т.е. с изменяющимся коэффициентом усиления в зависимости от отклонения скорости.

Однако, при полученных соотношениях, выполняется синтез линейной системы стабилизации скорости.

Предлагается обеспечивать постоянный требуемый коэффициент усиления в соответствии с заданным статизмом характеристики только при допустимых отклонениях скорости на рабочем участке статической характеристики и уменьшать коэффициент усиления в соответствии с предельно допустимой скоростью изменения момента двигателя на нерабочем участке характеристики.

В этом случае статическая характеристика будет иметь на нерабочем участке более мягкий характер.

Особенности многоуровневых инверторов напряжения

Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время наметилась тенденция к повышению требований к качеству энергии преобразовательных установок транспортных и промышленных механизмов. С другой стороны, верхний предел мощности электроприводов непрерывно растет. Это стимулирует разработку и исследование многоуровневых инверторов напряжения (МИН), которые позволяют снизить класс полупроводниковых приборов [1]. Различаясь по виду схемотехнических решений, общим свойством МИН является наличие ступенчатого напряжения на нагрузке, например $+U, 0, -U$, где U -напряжение источника. Наличие нулевой паузы позволяет улучшить гармонический состав напряжения по сравнению с напряжением, содержащим лишь два уровня. Считая, что число ступеней фазного напряжения инвертора по отношению к нулевой точке источника равно L , количество ступеней напряжения между фазами нагрузки равно $M=2L + 1$, а количество ступеней D фазного напряжения на нагрузке при соединении трехфазной системы в звезду будет $D=2M-1$.

Среди разнообразия топологий следует отметить МИН с отдельными источниками напряжения постоянного тока. Это позволяет существенно улучшить гармонический состав не только за счет фазового сдвига напряжений различного уровня, но и за счет изменения их амплитуды. В ряде случаев это оказывается весьма полезным. Например, при преобразовании энергии возобновляемых источников, таких как солнечные батареи, топливные элементы и биомасса исходное напряжение имеет низкий уровень, что позволяет формировать ступенчатое напряжение за счет их последовательно-параллельного соединения. В этом случае возрастает также сложность оптимизации соотношения уровней напряжения и их фазового сдвига за счет увеличения количества переменных. Подводя итоги, определим наиболее существенные преимущества МИН: 1) способность генерировать напряжения с низким уровнем коэффициента искажений; 2) потреблять ток из источника с низким уровнем гармоник; 3) возможность работы с более низкой частотой модуляции силовых ключей; 4) уменьшение токов эмиссии, которые приводят к разрушению подшипников электродвигателей.

Литература

I. Leopoldo G. Franquelo, Jose Rodriguez, Jose I. Leon, Samir Kouro, Ramon Portillo, Maria A.M. Prats. The Age of Multilevel Converters Arrives. IEEE Industrial Electronics Magazine, Sept. 2011, P.28-39.

Генерирующие устройства для мини-энергокомплексов

Константинова С.В.

Белорусский национальный технический университет

Структура мини-энергокомплекса во многом зависит от первичного двигателя установки. Современный этап развития мини-энергетики характеризуется поиском наиболее выгодных решений по преобразованию энергии ВИЭ в электрическую. В этом направлении широко проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Анализ мировой практики по выбору типа генерирующих устройств для МЭК показывает, что эта проблема находится в стадии решения.

Для нужд мини-энергетики исследуются все типы индукционных электрических машин с учетом всего диапазона их возможностей (наибольшим разнообразием отличаются генерирующие установки ветроэнергетики): 1. стандартные СГ, высокочастотные СГ, многополюсные безредукторные СГ; 2. асинхронные генераторы с одной синхронной частотой вращения; с переключением числа пар полюсов; многополюсные безредукторные; имеющих ротор с обмотками, питаемыми током частоты скольжения; коллекторные; 3. генераторы постоянного тока.

Кроме этого, СГ и ГПТ используются в генераторных преобразовательных устройствах совместно с выпрямительно-инверторными преобразователями в качестве первой ступени преобразования электрической энергии. При этом ветродвигатели могут быть оборудованными любым преобразовательным устройством. Гидротурбины, паровые турбины, газотурбинные установки оборудуются, как правило, СГ или АГ. Мощность генерирующих устройств колеблется в широком диапазоне от 0,5 до 3000 кВт

Многие рассматриваемые генерирующие устройства, являются экспериментальными образцами. Многие из них специально сконструированы для конкретных мини-энергоустановок и проходят эксплуатационные испытания. Все они являются продуктом непрерывно продолжающихся научно-исследовательских работ в области мини-энергетики. Как видно, в качестве генерирующих устройств, апробируются, анализируются возможности практически всех известных генераторов индукционного типа. Обобщающие, теоретические и экономически обоснованные выводы о наиболее перспективных генерирующих устройствах для мини-энергетики в настоящее время отсутствуют.

Проектирование инкорпорированного двигателя с постоянными магнитами

Руденя А.Л., Гульков Г.И.

Белорусский национальный технический университет

В системах электропривода используются различные виды СДПМ, отличающихся конструктивным использованием ротора. Все многообразие можно объединить двумя особенностями: с поверхностным расположением постоянных магнитов (ПМ) на поверхности ротора (рис.1); с внутренним расположением ПМ в роторе (инкорпорированные) (рис.2).

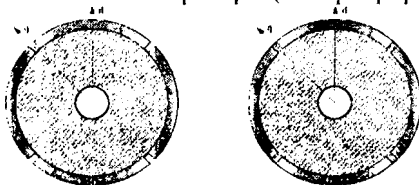


Рисунок.1 Поверхностное расположение ПМ

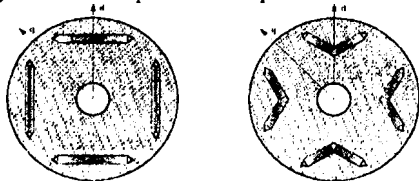


Рисунок.2 Внутренне расположение ПМ

Статорная обмотка в СДПМ с поверхностным расположением ПМ выполняется сосредоточенной с трапецеидальной ЭДС вращения или распределенной с синусоидальной ЭДС вращения якоря при прямоугольном распределении магнитной индукции в зазоре.

Статорная обмотка в СДПМ с инкорпорированными ПМ выполняется распределенной с синусоидальной ЭДС вращения.

СДП с поверхностным расположением ПМ можно отнести к неявнополюсным, у них $x_d = x_q$.

СДП с внутренним расположением ПМ относятся к явнополюсным, у них $x_d \neq x_q$.

При проектировании следует учитывать, что при управлении СДПМ с инкорпорированными магнитами необходимо регулировать не только ток якоря, но и угол нагрузки, что требует применения векторного управления электрическими переменными.

Улучшение энергетических показателей многофазного асинхронного электропривода

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Известны электроприводы "многовентильный НПЧ-АД" с двигателем, имеющим две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на угол θ . Обе обмотки питаются от НПЧ двумя трёхфазными системами напряжений, сдвинутыми во времени относительно друг друга на угол γ .

В таком электроприводе из-за дискретности ряда выходных частот возникает проблема обеспечения равенства модулей углов θ и γ . Так при сдвиге в расточке статора двух трёхфазных обмоток на угол в $\theta=30$ эл. градусов требуется обеспечить угол сдвига $\gamma=30$ эл. градусов в угловой мере выходной частоты НПЧ, то есть

$$|\theta| = |\gamma| = 30 \text{ эл. градусов.} \quad (1)$$

При соблюдении соотношения (1) в кривой результирующей намагничивающей силы статора отсутствуют пространственные гармоники, соответствующие следующим временным гармоникам в кривой выходного напряжения преобразователя:

- $K=12n+7$ - для гармоник, вращающихся в сторону 1-ой гармоники;
- $K=12n+5$ - для гармоник, вращающихся в обратную сторону по отношению к 1-ой гармонике, где $n=0,1,2,3...$

Компенсация 5,7,17,19 и других временных гармоник в воздушном зазоре АД означает устранение главного индуктивного сопротивления, соответствующего данным гармоникам. Наличие временных гармоник в кривой выходного напряжения преобразователя частоты и отсутствие главного индуктивного сопротивления, соответствующего порядку компенсируемых временных гармоник, приводит к резкому увеличению амплитуды 5,7,17,19 и других гармоник токов статора. Это увеличивает потери в меди статора и ухудшает тепловой режим работы АД. Поэтому, необходимо количественно оценить изменение величины потерь в АД, которое имеет место при компенсации в воздушном зазоре 5,7,17,19 и других временных гармоник.

Для анализа системы электропривода необходимо привести АД к обобщенной электрической машине. Условием возможности приведения многофазной машины к эквивалентной двухфазной является её симметрия. поэтому полные сопротивления фаз статора и ротора обобщенной машины равны. Напряжения питания обмоток статора многофазного АД могут быть несимметричными.

Моделирование асинхронного электропривода при векторном управлении с прямым управлением моментом

Мигдалёнок А. А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время основным типом регулируемого электропривода, применяемым в современном технологическом оборудовании, является частотно регулируемый электропривод переменного тока на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Для регулирования координат асинхронного двигателя наиболее часто применяется векторное управление, предложенное в 1972 году. Системы регулирования, построенные на этом принципе, являются системами подчинённого регулирования с внутренними контурами тока.

В середине 90-х годов фирмой АВВ был предложен, а впоследствии и реализован метод прямого управления моментом (DTC). Основная идея управления заключается в том, что на каждом шаге расчета определяется оптимальное состояние инвертора напряжения, которое вызывает изменение как момента, так и потокосцепления статора в необходимом направлении.

При проектировании электропривода производственных механизмов с использованием асинхронного двигателя с прямым управлением моментом возникает задача исследования динамических характеристик таких систем.

Для математического описания системы прямого управления моментом целесообразно использовать синхронно вращающуюся систему координат с ориентацией оси x вдоль вектора потокосцепления статора. На основании математического описания построена имитационная модель системы прямого управления моментом асинхронного двигателя в системе Matlab Simulink. Вычисление электромагнитного момента, модуля потокосцепления и текущего угла потокосцепления выполняется в наблюдателе на основании текущих значений токов и напряжений статора. Вычисленные сигналы момента и модуля потокосцепления сравниваются с заданными значениями, и получаемые сигналы ошибки подаются на регуляторы момента и потокосцепления, на выходе которых формируются сигналы задания составляющих тока статора. Данные сигналы используются для формирования открывающих импульсов силовых ключей инвертора. В качестве модели асинхронного двигателя используется стандартный блок «Асинхронная машина». Полученная имитационная модель позволяет исследовать динамические характеристики асинхронного электропривода с прямым управлением моментом при его использовании в различных механизмах.

Управление центрифугой на основе программируемого логического контроллера

Буель Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

Центрифугирование — разделение неоднородных систем (напр., жидкость — твердые частицы) на фракции по плотности при помощи центробежных сил. Центрифугирование осуществляется в аппаратах, называемых центрифугами. Центрифугирование применяется для отделения осадка от раствора, для отделения загрязненных жидкостей, производится также центрифугирование эмульсий (напр., сепарирование молока). Для исследования высокомолекулярных веществ, биологических систем применяют ультрацентрифуги. Центрифугирование используют в химической, атомной, пищевой, нефтяной промышленности.

При управлении центрифугой необходимо обеспечить заданную интенсивность разгона и стабилизацию частоты вращения на определенных участках. Реализация управления возможна двумя способами:

-на основе применения специализированных стандартных комплексов, например, таких как MasterScada, Lectus OPC и др. с приобретением дорогостоящего программного обеспечения;

-на основе программируемого логического контроллера с использованием свободно распространяемых программных средств. В этом случае целесообразно использование среды программирования CoDeSys. Управляющая программа реализована на языке CFC. Для удобства пользователя разработано окно визуализации, которое позволяет задавать параметры работы в удобной форме (рисунок 1).

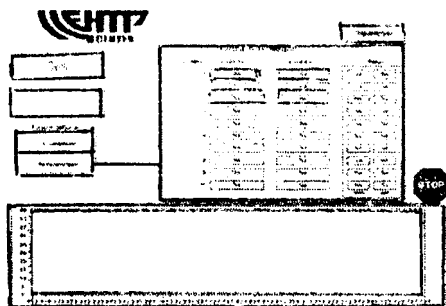


Рисунок 1-Окно визуализации CFC программы

Модернизация электропривода литейного крана

Гульков Г.И., Руденя А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Для развозки жидкого металла в литейном цехе Минского тракторного завода используется электротележка с реостатным регулированием скорости асинхронного двигателя с фазным ротором. Такая система электропривода не позволяет получить устойчивую пониженную скорость, необходимую для синхронизации движения с конвейеров заливки металла в формы. В этом случае синхронизация движения тележки и конвейера достигается импульсным регулированием скорости путем периодического включения-отключения электропривода, осуществляемого оператором с помощью командоконтроллера.

Для повышения технико-экономических показателей в электроприводе электротележки целесообразно использовать систему электропривода «преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» (ПЧ-АД).

Так как электропривод тележки получает питание от троллейной линии, на первом этапе работы было проведено измерение показателей качества трехфазного напряжения на входе электропривода.

В результате установлены многочисленные кратковременные провалы напряжения.

Для определения возможности применения системы электропривода ПЧ-АД в реальных условиях литейного цеха проведены испытания макетного образца системы электропривода ПЧ-АД. Для его изготовления разработаны электрические схемы, выбран преобразователь частоты с тормозным резистором, аппаратура управления и электроавтоматики, которые размещены в шкафу управления.

В результате испытаний установлено:

1. отключений преобразователя частоты, вызванных кратковременным отрывом токоємников от троллей при движении, не зарегистрировано;
2. экспериментальный образец частотного электропривода позволяет регулировать скорость в диапазоне от 1,5 до 75 м/мин (20...1000 об/мин);
3. в экспериментальном образце применяется линейный задатчик скорости, что неудобно для задания низкой скорости при синхронизации движения тележки с литейным конвейером.

В проектной документации реализован нелинейный задатчик скорости, позволяющий устранить недостатки линейного задатчика скорости.

Применение реляционно-иерархического предикативного моделирования в организации бизнес-планирования на предприятии

Кочуров В.А., Бакир Садик

Белорусский национальный технический университет

Анализ источников, содержащих применение математических методов в решении задач планирования и управления, показывает отсутствие надлежащей интеграции информационно-вычислительной среды с OLTP-системами, содержащими исходные фактографические данные, что позволило бы реализовывать эти методы с меньшей трудоёмкостью и минимальными знаниями математических методов. Кроме того отсутствуют информационно-программные комплексы, выполняющие роль интегратора действий по формализации постановок задач (математических моделей) на основе существующих эвристик и предоставляющих Лицу, Принимающему Решения (ЛПР), удобный интерфейс для применения численных методов решения в том числе и оптимизационных задач.

На кафедре САПР БНТУ на протяжении последних лет была разработана реляционно-иерархическая предикативная модель формализованного представления сложных объектов, на базе которой создан прототип программного продукта – Сервер Информационно-Логических Таблиц (СИЛТ), обеспечивающий возможность в интерактивном режиме:

- создавать базы знаний на основе любой нормативно-справочной информации (НСИ), в том числе на основе индивидуальных эвристик;
- создавать сценарии (деревья решений) поддержки принятия решений;
- в упомянутых сценариях производить расчёты любой сложности (от многоступенчатых сложных алгоритмов до простых статистических агрегатных функций) над любыми данными, взятыми из произвольного источника данных.

Планирование бизнес процессов требует непрерывного пересмотра планов (т. к. в сложной и динамичной рыночной сфере никакой план не может быть окончательным), поэтому должна существовать аналитическая модель деятельности организации на тот или иной промежуток времени (неделя, месяц, квартал, год, 4-5 лет), и такие модели на настоящий момент отсутствуют.

Учитывая сказанное, СИЛТ является подходящей программной оболочкой для создания аналитических моделей бизнес процессов предприятий в условиях динамично меняющихся внешних и внутренних условий.

Об аналитической модели повышения надёжности управления информационной безопасностью

Кочуров В.А., Харма Укба

Белорусский национальный технический университет

Защита информации в корпоративной информационной системе является весьма сложной подсистемой, поскольку уязвимыми являются буквально все основные структурно-функциональные элементы КС: рабочие станции, серверы (Host-машины), межсетевые мосты (шлюзы, центры коммутации), каналы связи и т.д. При этом применяются различные методы и средства защиты информации в сетях:

- физическая защита информации;
- аппаратные средства защиты информации;
- программные средства защиты информации;
- обеспечение безопасности на уровне операционной системы и т.п.

Современное требование постоянного повышения надёжности управления информационной безопасностью и необходимость анализа с целью совершенствования функционирования и повышения эффективности обуславливают необходимость применения специальных средств описания и анализа таких систем.

Применяемая для таких целей методологии IDEF0, являющаяся графическим языком, ориентирована только на *визуальное восприятие специалистами*. Однако представление сложной системы посредством большого числа IDEF0-диаграмм встречается с другим барьером сложности – необходимостью зрительного анализа большого количества графического материала. Кроме того система управления информационной безопасностью требует принятия оперативных решений и, следовательно, нуждается в соответствующей Системе Поддержки Принятия Решений (СППР).

Разработанная на кафедре САПР БНТУ методика и модель представления сложных объектов обеспечивают возможность занесения комплекта IDEF0-диаграмм, описывающих сложную систему, в базу данных и проведения соответствующего OLAP-анализа. На основе результатов OLAP-анализа требуется принятие соответствующих решений, для чего служит в качестве ядра СППР управления информационной безопасностью корпоративной информационной системы, созданный на основе упомянутой методики прототип программного продукта - Сервер информационно-логических таблиц (СИЛТ). СИЛТ позволяет создать базу правил в формате «Если..То» над базой данных комплекта IDEF0-диаграмм.

Метод и алгоритм реализации режима интерпретации в приложениях .NET

Еремеева О.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Принцип коммерческой выгоды диктует производителям программного обеспечения необходимость обеспечить как можно более высокую универсальность своих программных продуктов и, как следствие этого – высокую стоимость и необходимость наличия большого числа специальных навыков у работников инженерных специальностей. Поэтому возникает необходимость разработки вычислительного ядра для разрабатываемых технических приложений с использованием уже существующих расчётных пакетов.

С этой целью на кафедре САПР БНТУ была выполнена программная реализация информационной технологии, позволяющая пользователю производить расчёты любой сложности (от многоступенчатых сложных алгоритмов до простых статистических агрегатных функций) над любыми данными, взятыми из произвольного источника данных. Для создания сложных алгоритмов расчёта осуществляется интеграция с математическим пакетом MathCAD. Для реализации более простых вычислений разработана система интерактивного написания небольших гибких скриптов расчёта на основе новой технологии «деревьев выражений», предоставляемой средой Visual Studio 2010, создание которых просто и наглядно для пользователя, но в то же время предоставляет неограниченные возможности.

Одной из главных особенностей описываемой технологии является её тесная интеграция с разработанным на кафедре САПР БНТУ сервером Информационно-логических таблиц (СИЛТ), который, в свою очередь, позволяет в интерактивном режиме:

- создавать базы знаний на основе любой нормативно-справочной информации (НСИ), в том числе на основе индивидуальных эвристик;
- создавать сценарии (деревья решений) поддержки принятия решений;
- в упомянутых сценариях производить расчёты любой сложности над базами знаний посредством описанного в данной статье «Метода и алгоритма реализации режима интерпретации в приложениях .NET»;
- создавать алгоритмические и функциональные взаимосвязи различных параметров объектов, которые хранятся в базах данных и знаний.

Исследование технологий и методов создания инженерных баз знаний удалённого доступа

Мяделец И.В

Белорусский национальный технический университет

У всех современных СУБД есть большой недостаток – обязательная привязка структуры данных к объектной модели данных. Это означает невозможность внесения в базу данных записей, не соответствующих заранее сформированной структуре. Невозможно модифицировать базу данных для хранения и доступа к данным нового типа без серьезной модернизации приложений, использующих эту базу данных. Любое такое изменение требует наличия персонала, обладающего знаниями и опытом в области разработки приложений, создании и модификации базы данных, тестировании.

Целью данного исследования является разработка базы знаний удаленного доступа, которая не зависит от структуры данных, которые хранятся в ней, с сохранением преимуществ обычных реляционных баз данных. Разработанная система, кроме того, обладает уникальными возможностями обработки информации. Инструментарий для создания базы знаний – современные продукты компании Microsoft, наиболее передовые и востребованные на рынке информационных технологий.

Основное преимущество данного продукта достигается благодаря нормализации базы данных до 5 уровня, что означает хранение имен и значений атрибутов, параметров объектов и другой информации в одних и тех же таблицах. Структура данных хранится наряду с самими данными, что позволяет хранить и обрабатывать общими методами данные из любых предметных областей, с любыми наборами атрибутов, свойств.

Разработанная система состоит из нескольких компонентов, выполняющих различные функции. Основной компонент, ядро, отвечает за доступ к данным, непосредственно обращается к базе данных и выдает результат в нужном потребителю виде – реляционном, в виде объектной модели (для внутреннего использования другими компонентами системы), xml, html, или ином виде заданном шаблоном. Также доступны компоненты для передачи данных посредством веб сервиса, создания и редактирования баз знаний (данные могут представляться как в виде информационно-логических таблиц, так и в виде древовидной структуры), система поддержки принятия решений и др.

Разработанное приложение может быть использовано во многих сферах, использующих данные - науке, производстве, образовании, управлении и др.

Исследование технологии WCF в целях интеграции локальных баз инженерных знаний

Радкевич А.С.

Белорусский национальный технический университет

Большая часть инженерных, в частности конструкторских, технологических и управленческих знаний, представлена в справочно-нормативной документации (СНД). Однако, кроме этого, на любом предприятии работает инженерно-технический персонал – носители индивидуальных знаний, в том числе носители умения получать знания из СНД. Обратим внимание, что все эти знания рассредоточены, как по специалистам, так и по подразделениям предприятия. Однако - компания успешно работает лишь тогда, когда знания её сотрудников надлежащим образом объединяются в единое пространство знаний.

Для этих целей на кафедре САПР была создана распределенная информационная система, основанная на системе интеллектуальных агентов – активных виртуальных баз знаний организационно-структурного уровня, содержащих информацию о данных, знаниях и контекстах, в которых они содержатся.

В структурном плане каждый такой агент содержит в своём составе центральное ядро, представленное сервером информационно-логических таблиц (СИЛТ) и реализованного в форме COM+ сервера, Веб службу, экспонирующую объекты, находящиеся под управлением СИЛТа, и расширяемый набор Веб клиентов, предоставляющих доступ, как к собственным информационным ресурсам, так и к ресурсам других комплексов.

Множество таких комплексов образует сеть Веб служб, которые могут взаимодействовать между собой. Клиентская служба предоставляет возможности для формирования запроса к Веб службе любого другого комплекса. Веб служба комплекса, принявшего запрос, обрабатывает его в соответствии с протоколами управления доступом.

В .NET Framework 3.0 была представлена новая технология построений Веб служб, включающая все средства своих предшественников в рамках одной программной модели — Windows Communication Foundation (WCF). Используя данную технологию, была создана автономная веб-служба, методы которой призваны помочь клиенту службы получить необходимые данные из общего информационного пространства инженерных знаний организации. Особенностью этой реализации является её тесная интеграция с уже существующим на кафедре САПР сервером информационно-логических таблиц (СИЛТ).

**Информационная система поддержки деятельности
классного руководителя**

Мигель А.В., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

На данный момент школы отстают в автоматизации по сравнению с остальными административными единицами, что, естественно, делает процесс образования весьма трудоёмким для преподавателей. Если приходится руководить классом, необходимо планировать и проводить родительские собрания, классные и внешкольные мероприятия, участвовать в жизни каждого ученика, вести таблицу успеваемости и посещаемости. Для этого необходимо работать с данными учеников и их родителей, которые бывают громоздкими или часто меняются. Обычно для этого процесса используются журналы, многочисленные картотеки. Для связи с родителями необходимо созваниваться и приглашать на встречу; замечания и предложения записываются в дневник, чем ученики могут воспользоваться и скрыть данную информацию. Была разработана программа, которая поможет решить эти проблемы.

Данная информационная система представляет собой многомодульную структуру. Модули связаны друг с другом, что заметно упрощает ведение документации, т.к. внося данные в начальный модуль, они автоматически внесутся во все остальные, которые были с ним связаны. Теперь не надо списывать тонны бумаги, переписывая данные об учениках, их родителей и т.д. Все данные заполняются в формах, сохраняются и заносятся в базу и доступны преподавателю в любое время. Данное приложение позволяет руководителю писать характеристики учеников, составлять планы классных и внешкольных мероприятий, проверять посещаемость учеников и их родителей, классных мероприятий и собраний, формировать эти и другие данные в виде отчётов и отправлять на печать. И всё это не отходя от компьютера. Данная программа содержит ряд инструкций по безопасности при различных чрезвычайных ситуациях как в школе, так и вне её. Поскольку каждый преподаватель составляет свои отчёты, в приложении содержатся как стандартные отчёты, так и конструктор отчётов, позволяющих самому составлять отчёты, используя столбцы таблиц из базы данных. На сегодняшний момент дешевле и безопаснее отправлять данные и общаться через интернет (у большинства родителей учеников есть свой адрес электронной почты), поэтому в приложение была добавлена возможность отправки электронных писем родителям учеников.

Модуль принятия решения для интернет-магазина

Пархомчук Д.И., Герман Ю.О.

Белорусский национальный технический университет

С использованием платформы .NET и языка программирования C# был разработан модуль принятия решения для интернет-магазина. Модуль определяет лучший товар на основе сравнения альтернатив по экспертным оценкам критериев и важности критериев. Критерии, на основе которых сравниваются товары, и их важность определяются пользователем интернет-магазина.

В основе работы модуля принятия решения лежит метод анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process). МАИ — математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. Метод не предписывает лицу, принимающему решение какого-либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению. Этот метод разработан американским математиком Томасом Саати. Метод анализа иерархий используется во всем мире для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в бизнесе, промышленности, здравоохранении и образовании.

Взаимодействие интернет-магазина и модуля принятия решения происходит посредством XML-файлов. Это делает модуль принятия решения универсальным, требуя лишь соблюдения протокола взаимодействия между частями системы.

Внедрение модуля принятия решения не усложняет систему выбора товара и интерфейс пользователя на стороне интернет-магазина.

Разработанный модуль принятия решения может существенно улучшить удобство выбора товара в интернет-магазине, тем самым привлечь больше потенциальных покупателей и увеличить конверсию сайта.

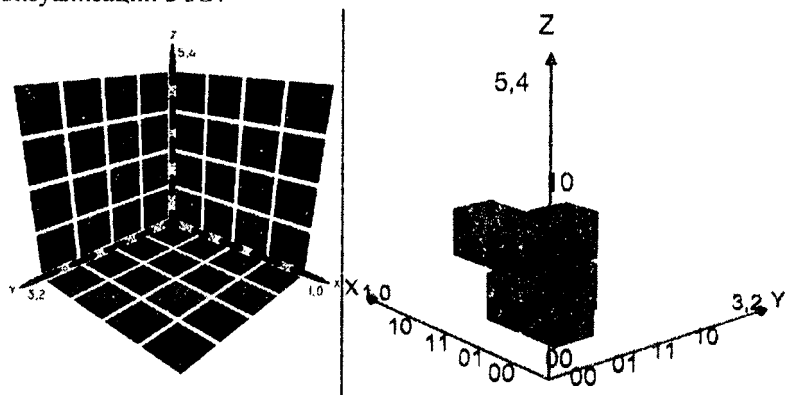
Подобных систем выбора товара с учётом предпочтений покупателя не было выявлено при анализе крупнейших интернет-магазинов доменной зоны by и других доменных зон, что может свидетельствовать об уникальности разработанной системы выбора товара в интернет-магазинах.

3-D визуализация матрицы Вейча-Карно

Таберко П.А., Василевский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Обычная матрица Вейча-Карно позволяет минимизировать логические функции от четырех аргументов – по 2 аргумента на одно измерение плоской системы координат XY. При тестировании компьютерной программы минимизации логических функций путем свертки таблицы истинности [1] потребовалось наглядное представление исходных данных и результатов минимизации функций с числом аргументов большим четырех. Для этого было решено расширить матрицу Вейча-Карно до 6 аргументов, для чего потребовалось перейти к объемной матрице и ее визуализации в 3D.



На рисунке слева показана незаполненная 3-мерная матрица, по оси X отмечены значения 00, 01, 11, 10 для аргументов X1, X0. Аналогично по оси Y для аргументов X2, X3 и по оси Z для аргументов X4, X5. Эта матрица соответствует таблице истинности с 64 строками, каждой из которых соответствует один из 64 элементарных кубика. Справа на рисунке показан пример двоичной функции с шестью строками таблицы истинности. Минимизация производится объединением соседних кубиков, соприкасающихся гранями, при этом получается слагаемое дизъюнктивной нормальной формы без одного аргумента. В результате получаем следующую минимизированную функцию:

$$Z = \text{не}X5 \cdot X2 \cdot X1 \cdot X0 + \text{не}X5 \cdot X4 \cdot \text{не}X3 \cdot X2 \cdot X1 + \text{не}X5 \cdot \text{не}X4 \cdot \text{не}X3 \cdot X2 \cdot X0$$

Литература:

1. Бородуля, А.В., Василевский, А.В., Кочуров, В.А. Техническое обеспечение интегрированных САПР, ч.1, БГПА, Минск, 2009.

Алгоритм выбора последовательности подстановок при минимизации логических функций методом свертки таблицы истинности

Пономаренко А.С., Василевский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Известно [1], что минимизация логических функций методом свертки таблицы истинности требует на каждом шаге задания функции, подставляемой в таблицу истинности. Удачная подстановка позволяет заменить два аргумента и соответственно два столбца таблицы одним, что приводит к сворачиванию таблицы истинности. В этом случае подставляемая функция различает те строки таблицы истинности, где различие определяется аргументами. Вероятность этого тем выше, чем меньше число таких строк для каждого из аргументов (столбцов таблицы). Таким образом, для каждого из аргументов таблицы истинности определяется число совпадений, выбираются те два аргумента, где число совпадений минимально, в пределе оно равно 1 и для них подставляется функция. Однако не всегда удается свернуть таблицу с первого шага, подстановка не уменьшает число аргументов и столбцов, а наоборот увеличивает. Например для функции $XOR(X_0, X_1)$, по каждому из аргументов имеется 2 совпадения (левая таблица, нижняя строка).

x1	x0
0	1
1	0
0	0
1	1
2	2

x1	x0	x2
0	1	1
1	0	1
0	0	0
1	1	1
1	1	0

x1	x0	x2	x3
0	1	1	1
1	0	1	1
0	0	0	1
1	1	1	0
0	0	0	0

x0	x2	x3
1	1	1
0	1	1
0	0	1
1	1	0
0	1	1

x2	x3
1	1
0	1
1	0
1	1

После первой подстановки $X_2 = X_0 + X_1$ число совпадений на исходных аргументах уменьшается до 1 (вторая слева таблица). После второй подстановки $X_3 = \neg X_0 + \neg X_1$ число совпадений уменьшается до 0 (третья слева таблица). Если число совпадений равно 0, то такой аргумент и соответственно столбец сразу удаляются, как избыточные, за исключением вновь введенных столбцов. В рассматриваемом примере сначала удаляется столбец X_1 , таблица обрабатывается на наличие совпадений. Далее удаляется столбец X_0 и остаются вновь введенные X_2 и X_3 (правая таблица), после чего последняя подстановка $Z = X_2 \cdot X_3$ дает функцию $Z = (X_0 + X_1) \cdot (\neg X_0 + \neg X_1)$. Таким образом, если для столбцов с минимальным числом совпадений после первой подстановки не удалось удалить столбец, нужно продолжать подстановки, таблица свернется на последующих шагах.

Бородуля, А.В., Василевский, А.В., Кочуров, В.А. Техническое обеспечение интегрированных САПР, ч. 1, БГПА, Минск, 2009.

Особенности построения геометрической части конечно-элементной модели приборного корпуса РИВЛ

Белый А.М.¹, Соловьев А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

² Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)

Рассматриваемый в статье корпус предназначен для защиты дорогостоящей электронной аппаратуры в период штатной эксплуатации и в экстремальных ситуациях. Прибор будет устанавливаться на передвижные объекты.

Создаваемый прототип корпуса должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть удобен для монтажа внутренней аппаратуры;
- обеспечивать лёгкий доступ для ремонтных работ;
- содержать секции для минимизации потерь при возможных чрезвычайных ситуациях;
- быть герметичным;
- обеспечивать достаточный отвод тепла;
- вес не должен превышать заданного значения.

Для удовлетворения вышеперечисленных требований была создана геометрическая модель, представленная на рисунке ниже, которая позволяет учесть изложенные требования.

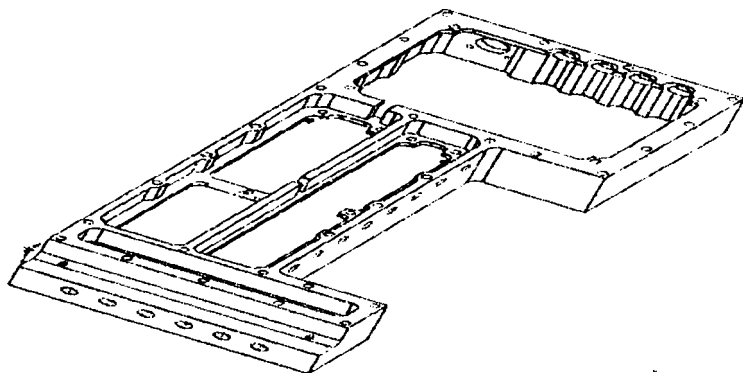


Рис. 1. Модель готового корпуса

На основе подготовленной геометрической модели в дальнейшем создается конечно-элементная модель, позволяющая выполнять прочностные и тепловые расчеты изделия при различных параметрах.

Особенности построения и подготовки конечно-элементных моделей сложных транспортных конструкций

Боровик А. А., Камран Каземпур Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

Моделирование является ключевым этапом в проектировании современных конструкций. Оборудование погрузочное предназначено для перемещения (подъём, опускание, поворот) рабочих органов и представляет собой телескопическую систему, состоящую из трех секций с рукоятью на конце.

Конструирование элементов оборудования и их расчет на прочность и жесткость является сложной и трудоемкой задачей. В данной работе рассматривается модель рамы с установленным на ней рабочим оборудованием телескопического погрузчика АМКОДОР 540. Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления.

Выполнены вариантные расчеты для различных конфигураций конструкции. Приводятся распределения полей перемещений и напряжений в материале конструкции.

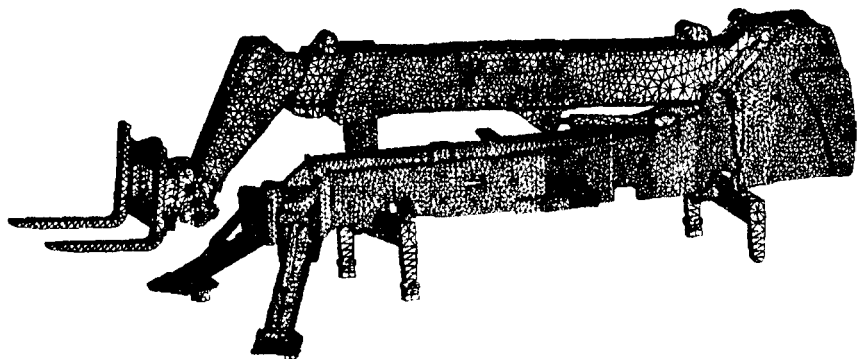


Рисунок 1. Конечно-элементная модель рамы и рабочего оборудования

На основании проведенных расчетов были выполнены преобразования модели с целью улучшения характеристик конструкции, таких как надежность, устойчивость и, как следствие, увеличение срока эксплуатации.

Особенности построения модели в MATHCAD для оценки эффективности применения витаминов при подготовке теннисистов высшей квалификации

Боровок О.А., Семашко Д.В., Ермилов В.В.
Белорусский национальный технический университет

При исследовании зависимости выносливости, восстанавливаемости, скорости реакции и результативности спортсменов высшей квалификации в зависимости от применения витаминов желательно визуализировать данные в удобной для восприятия форме.

Хорошую возможность для этого предоставляют средства среды MATHCAD.

Исходными данными для расчетов в MATHCAD являлись таблицы с оценками. При этом по критериям «выносливость», «восстанавливаемость» и «скорость реакции» использовалась 10-ти бальная шкала, а результативность оценивалась в процентах выигранных встреч с равными по классу противниками.

Исходные данные на основе средств MATHCAD были аппроксимированы следующими методами: методом Гаусса; интерполированием сплайнами; построением линейного тренда.

В результате для каждого из витаминов Multi Tabs, Vitrum, Терравит, Магний В6, Невробекс, Циганан были получены графики следующего вида (на примере препарата Циганан, оценки спортсменов):

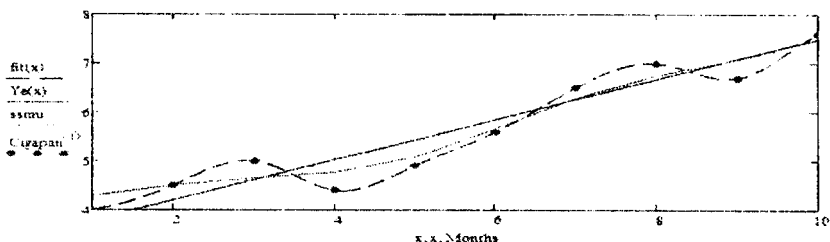


Рисунок 2. Виды кривых: fit – интерполированная функция; Ye(x) – линейный тренд; ssmu – сплайновая функция

Полученные коэффициенты показывают, что наиболее эффективным является препарат Циганан, второй по эффективности – Магний В6, сравнимый с ним – Невробекс. Остальные препараты оказались малоэффективными. Изложенный подход позволяет быстро оценить эффективность применения разрешенных препаратов.

Параметрическая модель для расчета напряженно-деформированного состояния стойки рекламной конструкции

Вашкевич Д. И., Напрасникова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Конструкция информационного экрана, как правило, имеет балочный многозвенный механизм с унифицированными точками крепления к опорам. В данной работе рассматривается модель каркаса экрана. Исходными данными являются общие сведения о конструкции - толщина стенок опорных элементов, длины ребер жесткости, высоты опорных элементов, радиусы скруглений.

При выполнении моделирования использовалась учебная версия комплекса, предоставленная компанией ANSYS, на основе которого выполняется оптимизация конструкции. В результате исследований выполнено построение геометрической модели кронштейна и каркаса информационного экрана, создана их параметрическая модель (рисунок 1), позволяющая рассчитать конструкцию на прочность и жесткость в период эксплуатации.

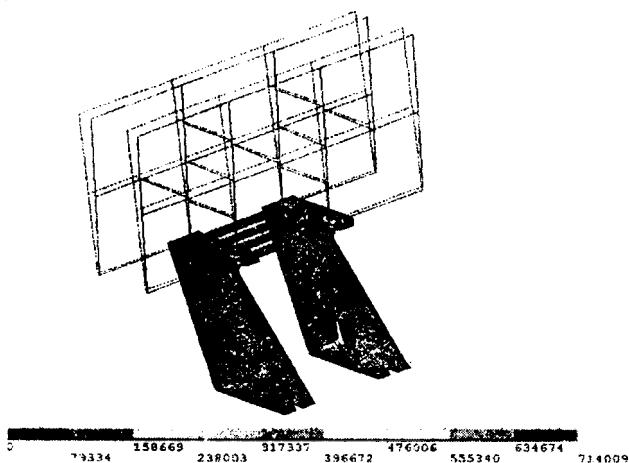


Рисунок 1. Напряженно-деформированное состояние конструкции

Оценивая результаты оптимизации, можно сделать вывод о снижении объема конструкции в среднем на 95%, по отношению к начальному, а также о снижении напряжений по Мизесу на 43% при сохранении надежности.

Способ представления результатов расчета спектров периодических сигналов

Кочеров А. Л., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Спектральный метод анализа технических систем находит широкое применение в радиотехнике и теории автоматического управления. Как правило, изучение спектрального метода начинается с изучения способов представления периодических сигналов суммой гармонических составляющих. Как показывает опыт проведения занятий по данной теме, полезным оказывается использование анимационных видеороликов (клипов), отражающих изменения амплитудно-частотного и фазочастотного спектров при изменении параметров периодического сигнала. Подобный подход помогает наглядно продемонстрировать основные закономерности спектрального описания периодических сигналов, в частности, связь длительности импульса периодического импульсного сигнала и эффективной ширины спектра этого сигнала.

Для создания и воспроизведения анимационных клипов, представляющих результаты расчета спектров периодических сигналов, удобно использовать пакет прикладных программ Mathcad. Данный программный продукт позволяет создавать и воспроизводить анимационные клипы, используя встроенную переменную FRAME.

Применительно к поставленной задаче детали её решения можно кратко описать следующим образом. Параметры исходного периодического сигнала записываются как функции переменной FRAME. Понятно, что результаты расчета амплитудно-частотного и фазочастотного спектров сигнала также будут зависеть от переменной FRAME.

Далее разрабатывается конкретный вид наглядного графического отображения результатов расчета. Как правило, имеет смысл в границах одного кадра одновременно представить график сигнала как функции времени и его спектр, например, амплитудно-частотный. После этого, стандартными средствами из меню «Анимация» можно указать диапазон изменения переменной FRAME, выбрать темп смены кадров при воспроизведении клипа и приступить к созданию самого клипа. После создания клипа его можно сохранить как Windows AVI файл, что позволит воспроизводить его другими приложениями Windows.

В докладе продемонстрирован предлагаемый подход представления спектров на примере периодической последовательности прямоугольных видео- и радиоимпульсов. Кроме того, показан процесс изменения спектров сигналов при переходе от видеоимпульсов к радиоимпульсам.

Учет податливости грунта при исследовании сейсмостойкости остова морской платформы в среде ANSYS

Красновская С. В., Мирзаванд Мохсен Али
Белорусский национальный технический университет

В данной работе была создана параметрическая модель остова морской нефтедобывающей платформы, для которой рассчитывалась реакция на сейсмическое воздействие. В качестве прилагаемой нагрузки была взята акселерограмма землетрясения с вертикальным ускорением, произошедшего в Иране.

Для учета податливости грунта при сейсмическом воздействии к остову морской нефтедобывающей платформы был добавлен слой почвы с определенными физическими свойствами, моделируемый параллелепипедом высотой 10 м. В данном случае ускорения прикладывались к нижней грани параллелепипеда. Узлы верхнего слоя почвы и нижнего уровня конструкции связывались по степеням свободы. Максимальные напряжения в конструкции, полученные при непосредственном приложении нагрузки к узлам модели, оказались в 1,6 раз больше, чем при приложении нагрузки через грунт. (рисунок 1).

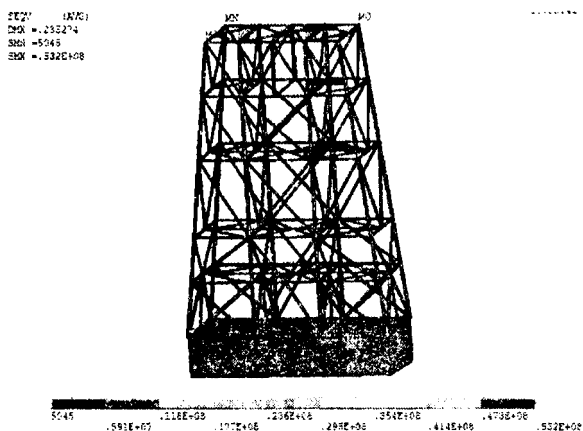


Рисунок 1. Напряжения в конструкции с учетом грунта

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что слой грунта смягчает воздействие сейсмической нагрузки с вертикальным ускорением.

Оптимизационная модель приборной коробки с прямыми и радиальными ребрами жесткости

Напрасников В.В.¹, Кривец О.В.¹, Скалиух А.С.², Соловьев А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)

Рассматриваемая в статье коробка предназначена для защиты измерительной аппаратуры при взрыве метана в шахте.

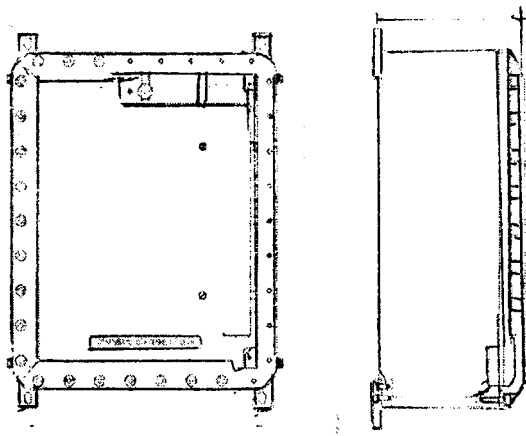


Рис.1. Исходная геометрия коробки

С использованием пакета ANSYS создана конечно-элементная параметрическая модель такой коробки с ребрами жесткости различного вида.

На основе этой модели можно выполнялись расчеты напряженного и деформированного состояния изделия. В работе рассмотрено два вида построения ребер жесткости (прямых и радиальных), с целью выявления варианта с наименьшим максимальным напряжением, возникающим под действием внешнего давления.

Выяснилось, что выбор следует остановить на коробке с прямыми ребрами, поскольку распределение напряжений по теории прочности Мизеса, оказалось предпочтительнее именно для данного варианта конструкции коробки.

Подготовленная модель позволяет выполнять оптимизационные расчеты с целью снижения материалоемкости изделия.

Снижение материалоемкости каркасно-вантовой конструкции крытого катка на основе параметрической модели в ANSYS

Кузнецова А.А., Напрасникова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Висячие конструкции представляют собой один из наиболее экономичных видов покрытий, благодаря тому, что материал вантов работает исключительно на растяжение, и их несущих способностей используется полностью.

Рассматриваемый тип покрытия состоит из двух мембран двойной кривизны, поддерживаемые двумя симметричными металлическими арками. Внутренние части арок связаны между собой металлическими балками.

В работе описывается использование конечно-элементной системы ANSYS, которая является наиболее надежной для решения задачи напряженно-деформированного состояния. Устойчивость конструкции придают ванты с предварительным натягом, прикрепленные к опорам.

Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления (рисунок 1, слева). Особенностью построения модели является связывание степеней свободы узлов элементов балок и тросов.

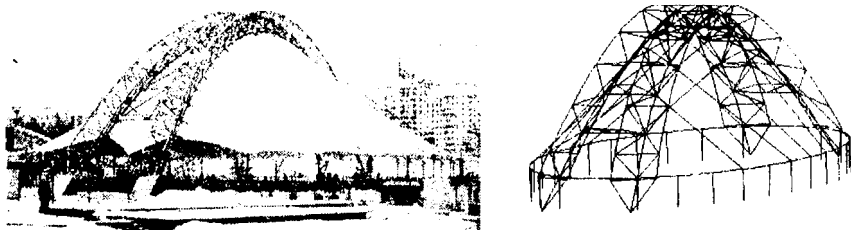


Рисунок 1 – Вид объекта и конечно-элементная схема

В результате работы создана параметрическая модель конструкции (рисунок 1, справа); выполнены расчёты на прочность, жесткость, устойчивость. Оказалось, что максимальные напряжения по Мизесу составляют 31,2 Мпа для статического расчета в исходном варианте конструкции. Выполненные оптимизационные расчёты позволили снизить объем конструкции на 40% при сохранении её прочности и устойчивости.

Исследование теплоотдачи рассеивающего радиатора устройства РИВЛ

Мойсёй Е.В.¹, Соловьёв А.Н.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)

Корпус РИВЛ предназначен для защиты и отведения тепла от светодиодной платы. При помощи пакета Solid Works создана модель корпуса РИВЛ, для отведения тепла выбран вариант с игольчатым радиатором (эффективность теплоотвода до 75%). На основе модели можно выполнить расчеты теплопередачи между платой светодиодов и корпусов РИВЛ. В ходе работы рассмотрено два варианта исполнения (ребра(иглы) имеют различную толщину и высоту), с целью выявления варианта с лучшими теплопроводными свойствами.

Характер модели позволяет выполнить расчеты, изменяя геометрические параметры модели (размер и толщина игл), а также подбирать оптимальные значения длины и ширины игл радиатора.

На рисунке 1 представлена геометрическая модель корпуса РИВЛ. В докладе представлены расчеты поля температур в материале корпуса для различных вариантов игл охлаждения.



Рис. 1. Геометрическая модель корпуса РИВЛ

Проверка конструкции колеса обозрения на ремонтпригодность на основе конечно-элементной модели

Семашко Д. В., Чигирь Ю.И.

Белорусский национальный технический университет

В любой конструкции в процессе эксплуатации неизбежно возникают повреждения, которые сказываются на безопасности эксплуатации объекта и которые необходимо устранять. В данной работе рассматривается модель колеса обозрения парка им. Горького. Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – фотографии конструкции, материал изготовления.

Выполнены расчеты для конструкции, ослабленной повреждением одной из опор колеса. Приводятся распределения полей перемещений и напряжений в материале конструкции.

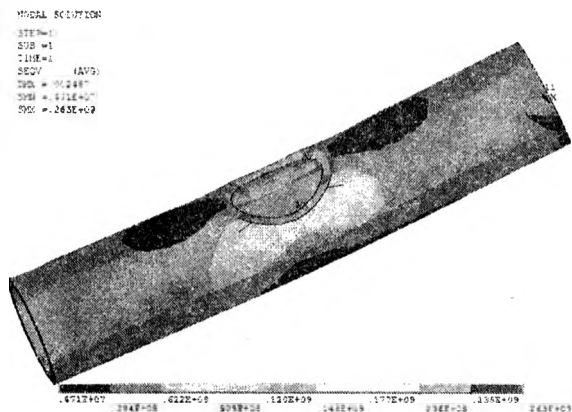


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель поврежденного фрагмента опоры колеса

Как видно из рисунка 1 максимальное напряжение, равное 263 МПа, возникает в районе отверстия, где его глубина относительно внешней поверхности стержня максимальная.

Для того, чтобы проверить как отразится на всей конструкции повреждение одной из опор, необходимо заменить модуль упругости поврежденного элемента на эквивалентный, при котором деформации поврежденного элемента соответствовали бы деформациям неповрежденного и в дальнейшем выполнить уточненный расчет.

Исследование сейсмостойкости портового нефтепровода на основе конечно-элементного моделирования

Шилак А. В., Мирзаванд Мохсен Али
Белорусский национальный технический университет

В данной работе был произведен анализ сейсмостойкости портового нефтепровода на основе конечно-элементного моделирования в среде SolidWorks 2012. Исходными данными для внешних нагрузок при выполнении анализа сейсмостойкости конструкции послужили данные землетрясения 16 сентября 1978 года в окрестностях иранского города Тебес, одного из крупнейших землетрясений в истории современного Ирана магнитудой 7.8 по шкале Рихтера. В качестве характерного объекта был принят подвесной нефтепровод в порту города Новороссийск (Рис. 1).

Анализ показал, что максимальные напряжения в конструкции составляют 9194722304 Н/м^2 , при пределе текучести 282685049 Н/м^2 . Таким образом, конструкция не выдержит нагрузки при землетрясении с данной магнитудой. В дальнейшем были выполнены расчеты при меньших магнитудах землетрясения. В результате анализа оказалось, что конструкция успешно выдерживает нагрузку при землетрясении магнитудой 4.4 по шкале Рихтера (Рис. 2). При этом напряжения в конструкции составили 228686544 Н/м^2 , при пределе текучести 282685049 Н/м^2 .

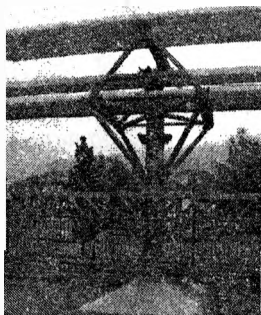


Рисунок 1. Вид объекта

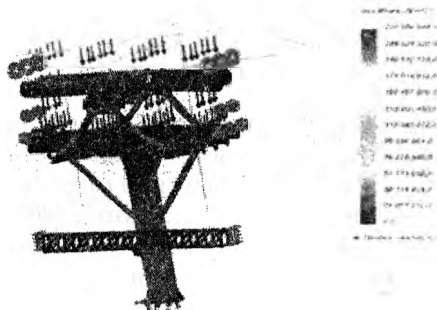


Рисунок 2. Результаты моделирования

На основе построенной модели была выполнена оптимизация по критерию минимизации массы. При этом оказалось, что исходную массу удалось снизить на 4,1% при сохранении прочности и достаточной жесткости конструкции.

Выбор оптимальных параметров рамы и стойки амортизатора автомобиля на основе конечно-элементного моделирования

Ширшов В.А., Дядин Д.С., Камран Каземпур Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

В данной работе исследовались изменения во времени напряжений и смещений рамы автомобиля при наезде на препятствие. При этом предварительно был произведён статический и частотный анализ на основе реальной параметрической модели.

Для проведения расчетов использовалась программа Solid Works 2012. Результаты моделирования представлены на следующих рисунках.

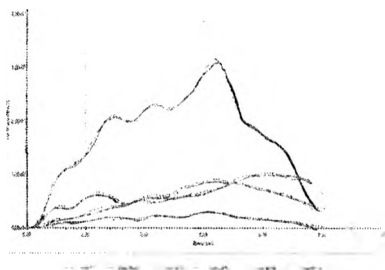
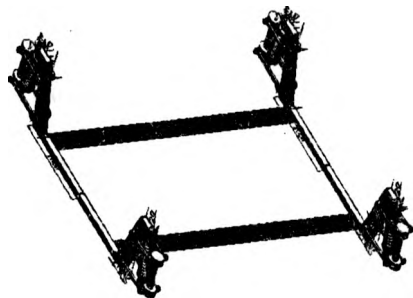


Рисунок 1. Геометрическая модель моделирования

Рисунок 2. Результаты моделирования

Задача оптимизации ставилась следующим образом. В качестве критерия был выбран объем материала конструкции. Варьируемыми параметрами являлись толщины стенок рамы. Функциональные ограничения накладывались на напряжения по Мизесу.

В результате оказалось, что в исходном варианте ширина профиля сечения рамы была равна 150 мм, максимальное напряжение по Мизесу было равно $3,5 \cdot 10^7$ Н/м² и возникло в районе пружины амортизатора. При этом масса материала конструкции была равна 109,33875 кг.

После оптимизации ширина профиля сечения стала равна 80 мм, максимальное напряжение по Мизесу стало равным $3,9 \cdot 10^8$ Н/м², при этом предел текучести $4,2 \cdot 10^8$ Н/м² не был превышен, масса материала конструкции стала равна 92,65 кг. Таким образом, экономия материала составила около 15%.

Реализация данной работы приведет к сокращению сроков проектирования и испытания подобных конструкций и, следовательно, снизит затраты на их разработку.

Тестирование методики построения уточненной модели морской нефтедобывающей платформы с учетом взаимодействия подводной части с водой

Якимуш И.С., Напрасников В.В., Мирзаванд Мохсен Али
Белорусский национальный технический университет

Для учета того, что основная часть платформы находится под водой, воспользуемся последовательным слабо сопряженным алгоритмом решения задачи. Уравнения для жидкости и твердой области решаются независимо друг от друга. Алгоритм передает силы жидкости, плотности тепловых потоков, смещения твердого тела, скорости и температуры через границу твердо-жидкого раздела.

Протестируем методику на следующем примере. Рассмотрим металлическую трубу, длиной 4 метра, погруженную в водоем, глубиной 3 метра. Скорость течения воды примем 1м/с. Для моделирования воды используем элемент FLUID142, для трубы используем SHELL63. Элементы для жидкости и твердой части модели (рис. 1) должны быть созданы на разных объемах или поверхностях, не связанных друг с другом. Для передачи нагрузок через границу раздела жидкости и трубы применим команду SFA с третьим параметром, равным FSIN, вначале для поверхностей, которые являются границей раздела сред, со стороны твердой части модели, а затем, со стороны жидкости.

На рисунках 2 и 3 представлены скорость воды на глубине один метр и напряженно-деформированное состояние (НДС) в материале трубы.

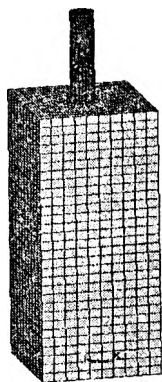


Рис. 1. Вид сетки

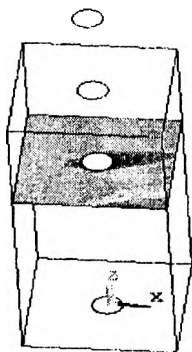


Рис. 2. Скорость воды



Рис. 3. НДС трубы

Особенности построения параметрических моделей для анализа прочности и сейсмостойкости морской нефтедобывающей платформы

Якимуш И.С., Соловьев А.Н., Мирзаванд Мохсен Али
Белорусский национальный технический университет

При повреждении опоры морской нефтедобывающей платформы её ремонт может быть произведен различными способами. Одним из таких способов является полная замена поврежденных элементов. При этом возникает задача об определении устойчивости платформы при отсутствии заменяемых элементов на этапе подготовки проекта ремонтных работ.

Результаты расчетов показывают, что платформа до ремонта выдерживает сейсмическое воздействие в горизонтальной плоскости с коэффициентом запаса прочности по эквивалентным напряжениям равным 1,73.

На рисунке 1 представлена первая форма потери устойчивости при проведении ремонтных работ с коэффициентом запаса 54,811. Ремонт опоры нефтяной платформы может быть произведен только путем полной замены поврежденных элементов.

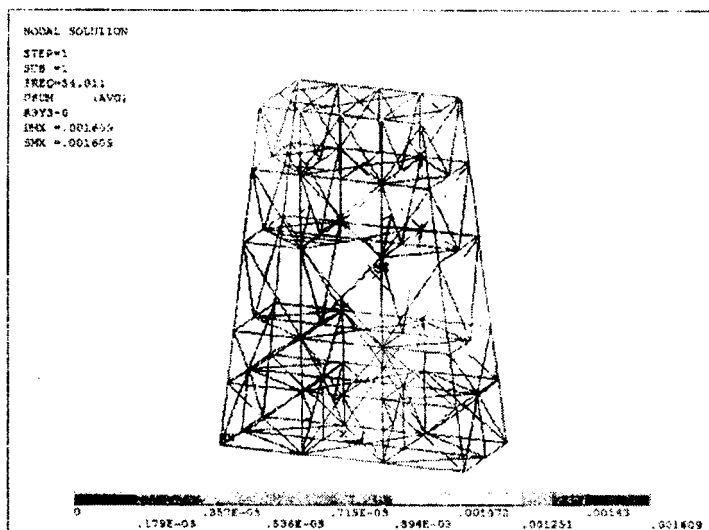


Рис. 1. Первая форма потери устойчивости

Оценка информативности параметров оптимизационной модели

Игнатюк А.В., Придухо В. Т.

Белорусский национальный технический университет

Для управления сложным технологическим процессом требуются описание, учет, измерение и регистрация максимального количества параметров на каждой операции. Такие операции, как правило, требуют существенных затрат времени и ресурсов, так как количество параметров может быть сколь угодно большим. Именно из-за этого проведение полного перечня замеров по всему процессу в условиях производства затруднено и не всегда экономически оправдано. Иногда просто необходимо сократить затраты на технологический процесс, чтобы итоговый продукт мог быть конкурентоспособным в условиях динамично развивающегося рынка. Уже на первых стадиях проектирования технологического процесса очень важно найти решение такой задачи: оставить минимальное количество параметров, несущих максимальное количество информации; другими словами, определить информативность параметров и тот процент их вклада, по которому с заданной погрешностью можно судить, что выгоднее: замерять ли этот параметр или отнести его к общей "поправке".

Для реализации данной задачи были выбраны следующие методы оценки информативности:

- Корреляционный анализ
- Регрессионный анализ
- Метод случайного баланса
- Анализ чувствительности

Методы были применены для оценки информативности параметров оптимизационной модели водяного экономайзера.

Была разработана модель, критерием оптимизации в которой служила поверхность нагрева, а оптимизируемыми параметрами: производительность котлоагрегата, коэффициент теплопередачи экономайзера, поправочный коэффициент, температурный напор, энтальпия дымовых газов на входе в экономайзер и на выходе из него, коэффициент избытка воздуха на входе и выходе.

В результате расчётов по вышеприведённым методам, были выявлены наиболее информативные параметры: производительность котлоагрегата, энтальпия дымовых газов на входе и коэффициент избытка воздуха на выходе.

Однокритериальная оптимизация задач нулевого порядка в параллельном режиме

Сергеев А.Е.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является повышение качества проектных решений за счет применения современных методов поисковой оптимизации и, в частности, за счет структурно-параметрической оптимизации известных методов однокритериальной оптимизации.

В подавляющем большинстве случаев поиск оптимального проектного решения может быть осуществлен не единственным способом, поэтому инженерам приходится отыскивать наилучший способ из большого количества доступных. Часто задача может быть разделена на части различной сложности, поэтому возникает необходимость применять одновременно несколько различных методов для достижения наилучших результатов.

Объектом разработки является пакет методов однокритериальной оптимизации нулевого порядка. Основной целью разработанного приложения является объединение множества существующих методов оптимизации. Разработан пользовательский интерфейс приложения, который в процессе нахождения решения позволяет пользователю выбрать необходимый алгоритм поиска исходя из точности полученного решения и скорости работы алгоритмов.

Реализованные методы разделены на две группы - методы с глобальными свойствами на базе популяций и методы с локальными свойствами на базе одной особи. Методы на основе одной особи оперируют одной точкой (вектором входных параметров). При достижении некоторого условия окончания счета пользователь может либо ограничиться полученным результатом, либо продолжить дальнейшее вычисление, используя другие локальные методы. При этом полученное промежуточное решение будет использовано как стартовая точка для нового алгоритма.

Методы на основе популяций в качестве результата возвращают одну точку либо популяцию точек. Популяция точек может быть передана в другой метод на основе популяций или использована тем же методом, но с другими параметрами метода (длиной шага, вероятностью мутации и т.п.).

Данная реализация позволяет пользователю контролировать ход решения и корректировать методы оптимизации, для достижения наилучшего результата в зависимости от эффективности работы алгоритмов и вычислительных возможностей аппаратного обеспечения.

Конечно-элементное моделирование прочности и долговечности прицепного устройства

Шахнова А.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время при анализе конструкций и их элементов помимо традиционной задачи определения напряженно-деформированного состояния все чаще рассматриваются задачи определения ресурса конструкций.

Для этих целей часто используется компьютерное моделирование за счет проведения более точных расчетов напряженно-деформированного состояния. Обычно проводится оптимизация производственных процессов и материалов изготовления, однако клиенты могут использовать изделия в течение более длительного срока и зачастую в более жестких условиях, чем было рассчитано изначально. Изделие может успешно выдерживать начальные нагрузки, однако в процессе эксплуатации могут происходить разрушения, возникающие вследствие комбинации нагрузок, включая повторные нагрузки, динамические нагрузки, и быстро приложенные нагрузки. Рассмотрим возможность определения степени поврежденности материала элементов конструкций в ходе многоциклового усталости с использованием конечно-элементной системы ANSYS.

На основе использования инструментария моделирования программного модуля Ansys Multyphysics была разработана параметрическая модель прицепного устройства трактора с использованием языка программирования APDL, затем была создана её конечно-элементная схема разбиения в среде Ansys Workbench и проведен расчет усталостной долговечности в зависимости от уровня напряжений (stress-life) и деформаций (strain-life).

Оптимизацию конструкции прицепного устройства выполнялась с использованием технологии ANSYS DesignXplorer - модуля параметрической оптимизации на платформе Workbench, позволяющим осуществлять управление параметрами для прогнозирования влияния параметрических или геометрических изменений на поведение конструкции.

В результате проведенный анализ усталостной долговечности прицепного устройства трактора может помочь значительно уменьшить расходы на проектирование, изготовление данного вида продукции еще до создания физического прототипа и этапа его эксплуатации за счет снижения процента отказов изделий.

Поиск рациональных параметров системы подачи топлива автомобиля МАЗ на основе компьютерной модели

Федорович С.А.

Белорусский национальный технический университет

Многие задачи, с которыми приходится в настоящее время сталкиваться исследователям и инженерам, не поддаются аналитическому решению либо требуют огромных затрат на экспериментальную реализацию. Зачастую единственной возможностью экспрессного анализа инженерной проблемы является компьютерное математическое моделирование. Модуль FLOTRAN CFD (расчетная гидродинамика) программы ANSYS предлагает всесторонние инструментальные средства для анализа двумерных и трехмерных полей потока жидкости или газа.

Подход, изложенный в работе, позволяет получить рациональные параметры системы подачи топлива на основе использования инструментария моделирования программы Mechanical APDL (ANSYS) из параметризованного командного файла на языке APDL и расчетных возможностей встроенного модуля гидрогазодинамического анализа.

Разработка трехмерной конечно-элементной модели составляющей части системы питания двигателя автомобиля МАЗ (форсунки), пригодной для дальнейшего расчета гидрогазодинамическим модулем ANSYS FLOTRAN CFD, осуществлялась с помощью программного модуля Ansys Multyphysics. При нанесении КЭ сетки использовались интеллектуальные средства построения сеток модуля Ansys Multyphysics. Результаты расчетов приведены на рисунке 1.

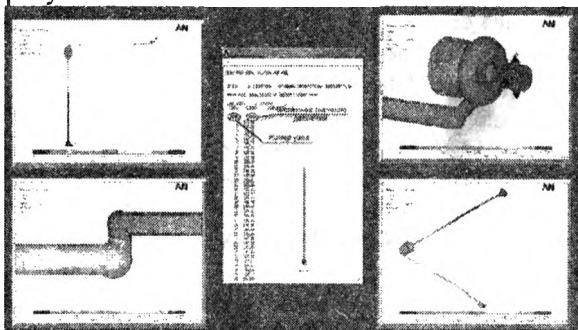


Рис. 1. Результаты расчета форсунки автомобиля МАЗ

Полученные данные позволяют делать выводы о конструктивных особенностях системы и оценивать ее прочностные характеристики.

**О подходах к интеграции математических, эвристических
и имитационных методов в системе поддержки принятия решений
банковских бизнес-процессов**

Сидорко Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

В условиях рыночной экономики возникает постоянная конкуренция между банками. Стоит отметить, что здоровая конкуренция и борьба за клиента путем предоставления набора различных услуг, повышения качества, оптимизации времени обслуживания, ведет к улучшению и развитию рынка банковских услуг в целом. В сложившейся ситуации немаловажная роль отведена информационным технологиям.

В основу технологии Data Mining положена концепция шаблонов, отражающих фрагменты многоаспектных взаимоотношений в данных. Эти шаблоны представляют собой закономерности, свойственные подвыборкам данных, которые могут быть компактно выражены в понятной человеку форме

Ключевое достоинство Data Mining (DM) по сравнению с предшествующими технологиями (Data Warehousing, OLAP) – возможность автоматического порождения гипотез о взаимосвязи между различными параметрами или компонентами данных.

Еще одна важная особенность систем Data Mining — возможность обработки многомерных запросов и поиска многомерных зависимостей. Уникальна также способность систем data mining автоматически обнаруживать исключительные ситуации — т.е. элементы данных, “выпадающие” из общих закономерностей.

Анализ банковских бизнес-процессов показывает, что технологии Data Mining может быть использована для решения следующих задач:

- *выявление мошенничества.* Путем анализа прошлых транзакций, которые впоследствии оказались мошенническими
- *сегментация клиентов.* Банки делают свою маркетинговую политику более целенаправленной и результативной
- *прогнозирование изменений клиентуры.* Data Mining помогает банкам строить прогнозные модели ценности своих клиентов, и соответствующим образом обслуживать каждую категорию.

Исходя из сказанного, можно сделать вывод о целесообразности применения этой технологии при интеграции математических, эвристических и имитационных методов в системе поддержки принятия решений банковских бизнес-процессов.

Усовершенствование процессов работы с PACKAGING Specifications в SAP SNC

Закревский Е.С., Ковалёва И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Совместное планирование и обмен документами с поставщиками и клиентами может быть реализовано в SAP SNC или SAP APO. SAP SNC аналогично с SAP APO имеет свои собственные модели хранения данных, состоящие из Time Series Data Management, или TSDM.

Packaging Specifications – это объекты в системе, которые содержат информацию о том, как материалы будут упакованы в главный материал - Packaging Material данной спецификации, а также множество другой детальной информации, такой как количество слоёв, габариты, вес, пункты отгрузки и доставки, поставщик, заказчик и т.п.. Packaging Material – это основной материал в Packaging Specification, который используется в качестве упаковки для других материалов.

В процессе создания, изменения и обновления Packaging Specifications принимает участие как планировщик со стороны заказчика, так и представитель поставщика. Участие представителя поставщика обусловлено тем, что не всегда заказчик знает, как определённый товар должен быть упакован. Однако в стандарте предоставлена упрощенная схема работы с Packaging Specification. Поэтому возникла необходимость реализовать ряд дополнительных требований, например, таких как:

1. Написание отчёта для автоматической генерации Packaging Specifications в SNC для новых материалов на R/3 стороне.
2. Создание концепции и настройки, определяющей возможные группы и текущие статусы Packaging Specifications.
3. Реализация логики согласно разработанным концепциям с разработкой соответствующих интерфейсов.
4. Реализация отчёта, генерирующего сообщения для BMW планировщика и поставщика, после анализа определённых характеристик Packaging Specifications в базе данных.
5. Разработка Web интерфейса для предоставления возможности работы поставщика с Packaging Specifications и т.п.

Каждая описанная задача содержит огромнейшие объёмы работы и описана в отдельных спецификациях. Это далеко не полный список задач, который был реализован в рамках данной работы. Данный проект был разработан для немецкого автозавода BMW и в настоящий момент проходит стадию продуктивного запуска.

Моделирование и многокритериальная оптимизация механических приводов

Придухо В.Т., Ваал Джавад

Белорусский национальный технический университет

Предметом разработки являются моделирование и многокритериальная оптимизация механических приводов, а также способы поиска полученных проектных решений при помощи современных информационных технологий.

При выборе типа передачи приходится руководствоваться рядом показателей, важнейшими среди которых являются к. п. д., габариты, вес, технологические требования, предъявляемые к изготовлению передачи, предполагаемое количество изделий и т. д.

В результате проведенной работы была разработана собственная экспертная система. Выбор правильного решения проходит в 4 этапа (первичная выборка данных, оценка второстепенных критериев для окончательного выбора типа редуктора, выборка подходящих моделей редукторов, определение типа соединения редуктора с двигателем и исполнительным механизмом). Таким образом, ЭС предложит пользователю не только тип редуктора, но и список подходящий уже существующий моделей, а также подскажет, каким образом соединить редуктор с двигателем и рабочим органом.

Основное внимание при этом уделено применению искусственного интеллекта для выбора типа производства на основе технического задания и методов поиска решения в условиях многокритериальности для выбора рациональности параметров найденного типа привода.

Для решения первой задачи была разработана база знаний на основе производственных правил, а для поиска рациональных параметров привода библиотека оптимизационных моделей для различных схем редукторов.

Структура программного приложения приведена на рис. 1.

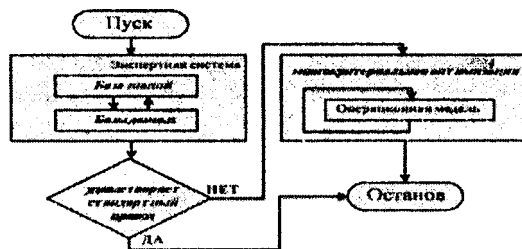


Рис. 1 Структура приложения

Оптимизация параметров многозвенного транспортного средства

Ковалёва И.Л., Калина А.А., Кузнецова А.А., Плышевская О.В.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе представлен один из возможных подходов оптимизации геометрических параметров движения многозвенного транспортного средства. Отличительной особенностью «многозвенника» от аналогичных транспортных средств является его длина, которая зависит от количества звеньев и длин сцепных устройств. При повороте тягового модуля траектории остальных звеньев могут быть различными, что представляет угрозу безопасности движения. Поэтому разработчику «многозвенника» важно знать поведение каждого его звена в различных условиях эксплуатации.

Изначально для моделирования движения «многозвенника» была выбрана среда MathCAD ввиду простоты работы в данной системе и наглядности получаемых результатов. Однако решать задачу глобальной оптимизации в среде MathCAD оказалось неудобно и неэффективно. Поэтому для реализации разработанных алгоритмов был выбран язык C# 4.0, IDE – Microsoft Visual Studio 2010. В качестве алгоритма поиска глобального оптимума использовался генетический алгоритм селекционеров, в котором наброс первоначальных хромосом осуществлялся случайным образом, а отбор – методом турнира. Такое сочетание методов наброса и отбора позволило, во-первых, получить в первом поколении хромосомы из различных регионов области допустимых значений и, во-вторых, «провести» лучшую хромосому через все поколения в итоговую популяцию.

Для вычисления функции приспособленности использовался метод Эйлера. На начальном этапе работы приложения пользователь задает максимальное значение времени (в секундах), до которого будет рассчитываться значение функции приспособленности. Это значение времени является одним из ограничений. Ещё одним ограничением является значение угла складывания для каждой пары звеньев. Предварительные расчеты в MathCAD показали, что угол складывания является положительным для сцепки тягач-первое звено и отрицательным для сцепки первое звено-второе звено. В соответствии с этим алгоритм вычисления значения угла складывания прекращает свою работу при изменении знака функции.

Результатом работы приложения является оптимальное значение суммарного угла складывания элементов «многозвенника».

Оперативное планирование в ERP SAP R/3

Закревский Е.С., Ковалёва И.Л.

Белорусский национальный технический университет

SAP APO (Усовершенствованное планирование и оптимизация) принадлежит к новому поколению программных продуктов, предназначенных для усовершенствованного планирования и оптимизации процессов, составляющих глобальные логистические цепочки. SAP APO позволяет спрогнозировать спрос на определённый вид товара путём анализа “исторических” данных из TimeSeries. Обработанные данные служат основой для создания заказов на закупку, которые в свою очередь ведут к созданию специфических мастер-данных на стороне R/3. Поэтому существует необходимость автоматизировать процесс прогнозирования и закупок. Для этих целей был разработан Мастер Закупок (Purchase Order Creation Wizard) – программа для сбора всех необходимых сведений по прогнозированию закупок в SAP APO.

Мастер Закупок позволяет собрать всю оперативную информацию по прогнозированию спроса и производству товара. В конце процесса планирования планировщик создаёт и запускает заказы на закупку согласно составленному плану. Этот процесс управляется Мастером Закупок, который позволяет выбрать набор данных для закупок, которые должны быть созданы на стороне SAP R/3. Планировщик может решить надо ли создавать заказы на закупку явно или неявно, т.е. автоматически системой путём запуска определённого репорта.

В ходе разработки Мастера Закупок была описана функциональность LiveCache части Purchase Order Generation Wizard на APO стороне и выполнена реализация сбора, отображения и обновления данных для заказов на закупку.

Для создания определённых мастер-данных в R/3 системе необходимо иметь более детальную информацию по материалам, которая хранится только в APO системе. Для этих целей на APO стороне был разработан функциональный модуль, который имел возможность быть вызванным удалённо из R/3.

Таким образом, был разработан надёжный механизм позволяющий прогнозировать спрос на определённый вид товара и основываясь на актуальных данных, имея многостороннюю детальную информации по данному виду товара из APO системы, создать все необходимые мастер-данные на R/3 стороне.

О целесообразности применения сдвиговых моделей сигналов

Кочеров А. Л.

Военная академия Республики Беларусь

При анализе различных технических систем приходится решать задачу аналитического описания сигналов, используемых для передачи информации и управления. Различие целей анализа технических систем определяет многообразие подходов к решению этой задачи. В математическом плане задача аналитического описания сигналов, как правило, эквивалентна задаче аппроксимации неизвестной функции некоторым образом подобранными функциональными структурами, вид которых заранее известен, и обеспечивает удобство в процессе дальнейшего анализа.

Наибольшее распространение для аналитического описания сигналов получило представление сигналов с помощью рядов Фурье и интеграла Фурье, что объясняется широким и повсеместным использованием спектрального метода анализа технических систем. Однако в ряде случаев, могут быть использованы и другие способы аналитического представления сигналов, например, с помощью модели сдвиговой аппроксимации.

Модель сдвиговой аппроксимации представляет собой линейную комбинацию сдвигов одной функции, называемой базисной. Точность аппроксимации реальных сигналов моделью сдвиговой аппроксимации накладывает на выбор базисной функции определенные требования. Кроме того, удобно выбрать базисную функцию так, чтобы параметры сдвиговой модели имели физическое толкование, т. е. отражали физически реализуемые способы создания модели сигнала, представленного суммой сдвигов базисной функции. Для широкого ряда задач анализа технических систем обоснованным является выбор гауссовой функции в качестве базисной.

В докладе обсуждаются вопросы опытно-теоретического способа построения сдвиговых моделей сигналов.

Показано, что параметры модели (сетка и коэффициенты разложения) обеспечивают минимум квадратической ошибки аппроксимации и могут быть определены путем решения векторно-матричного уравнения. В этом случае матрица системы и вектор свободных коэффициентов определяются аппроксимируемой и базисной функциями, а также размерностью модели (числом используемых сдвигов).

Приводятся результаты применения предлагаемого подхода для различных аппроксимируемых и базисных функций. Отмечено, что

представление сигнала сдвиговой моделью существенно облегчает нахождение спектра сигнала, так как позволяет находить спектры сигналов алгебраическим способом (без интегрирования).

УДК 004.932

Методы автоматизированной идентификации изделий в кожевенной промышленности

Логунов А.Н.

Восточноукраинский национальный университет
имени Владимира Даля (г. Луганск, Украина)

В кожевнном производстве в силу жестких технологических воздействий единственно возможными на сегодняшний день являются маркеры, состоящие из расположенных в узлах сетки сквозных отверстий в обрабатываемом материале - перфорационные маркеры.

Анализ существующих методов распознавания цифровых изображений применительно к перфорационной маркировке кожевнного сырья показал, что рассмотренные методы не позволяют осуществлять автоматизированное считывание перфорационных маркеров на всех этапах технологического процесса, что значительно снижает эффективность автоматизированной системы идентификации изделий.

Установлено значение необходимой в условиях кожевнного производства информационной емкости маркера на уровне 19 - 21 бит. Численным методом найдены значения параметров k - разрядного кода « m из n », которые обеспечивают наименьшую площадь маркера и минимальное количество пробиваемых при маркировке отверстий.

Разработан метод распознавания с программной автоматической адаптацией к особенностям изображения маркировки, который устойчив к наличию помех за счет использования различных цифровых корреляционных фильтров, итерационного применения распознавания по одному и двум признакам, восстановления производящей сетки маркера путем итерационного использования координат центров отверстий. Данный метод позволяет дешифровать кодовое сообщение маркера без использования эталонного изображения нанесенной маркировки.

Получены положительные результаты промышленной эксплуатации системы автоматизированной идентификации изделий на основе предложенных методов в период с 2002 по 2009 год: процент правильно распознанных маркеров на изделиях на разных этапах технологического процесса обработки составил от 95 до 98; случаи ошибочно считанных маркеров отсутствовали.

Информационные системы и технологии

Цифровой регулятор в системе управления беспилотным летательным аппаратом

Аль-Машхадани М. А.

Белорусский национальный технический университет

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) получают большое распространение, как в военной области, так и в различных областях общегражданского применения для мониторинга объектов, находящихся на земной поверхности. На борту БЛА может находиться оборудование различных типов: оптические камеры, датчики, системы телеметрии. Для управления отклонением оптической системы относительно корпуса 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 БЛА 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 формулам

$$K_0 = \frac{ab}{\alpha(1-A)(1-B)}, \quad b_1 = -(A+B), \quad b_2 = AB,$$

$$a_1 = \frac{bB - aA + (a-b)AB}{(a-B)(1-A)(1-B)}, \quad A = e^{-ah}, \quad B = e^{-bh}, \quad h = 0,001.$$

Сравнение работы разработанного оптимального цифрового регулятора в одинаковых условиях со стандартным ПИД-регулятором 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, для которой предназначен данный регулятор.

Оценка эффективности применения витаминов при подготовке теннисистов высшей квалификации с использованием возможностей MATHCAD

Боровок О.А., Семашко Д.В., Ермилов В.В.
Белорусский национальный технический университет

В условиях усиления конкуренции среди спортсменов высшей квалификации одним из способов повышения психофизических показателей является применение разрешенных препаратов. Одними из таких препаратов являются витамины. В данном исследовании была выбрана группа спортсменов юниорской сборной Республики Беларусь по настольному теннису, которые в течение продолжительного времени употребляли следующие витамины: Multi Tabs, Vitrum, Терравит, Магний В6, Невробекс, Цигапан.

Период наблюдения составлял 12 месяцев. В качестве наблюдаемых показателей использовались: выносливость, восстанавливаемость, скорость реакции, результативность. При этом по критериям «выносливость», «восстанавливаемость» и «скорость реакции» использовалась 10-ти бальная шкала, а результативность оценивалась в процентах выигранных встреч с равными по классу противниками. В качестве примера приведем результаты наблюдений по месяцам для витамина Цигапан.

Цигапан

Выносли- вость	4	4,5	5	4,4	4,9	5,6	6,5	7	6,7	7,6	8	8,5
Восстанавли- ваемость	5	4,6	5,1	5,6	6	6,5	6,2	6,5	7	7,6	8	8,6
Скорость реакции	4,6	5	5,2	5,5	6	6,4	6,1	6,8	7,4	8	8,4	8,8
Результатив- ность	50	46	58	67	60	65	70	72	76	80	85	83

Для обработки этих данных в среде MATHCAD был использован метод сглаживания данных на основе функций Гаусса $k\text{smooth}(x, y, b)$.

В дальнейшем для каждой из зависимостей были выявлены линейные тренды, на основе сравнения коэффициентов которых сделано заключение об эффективности использования различных препаратов.

Наиболее эффективным является препарат Цигапан, второй по эффективности - Магний В6, сравнимый с ним - Невробекс. Остальные препараты оказались малоэффективными.

Информационная система мониторинга работы буровой установки

Почебут М.В., Воробьева Ю.В.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Для обеспечения операций бурения используются дизельные двигатели большой мощности. Ежедневно буровой мастер готовит отчет о работе двигателей на буровой установке и по телефону докладывает в диспетчерскую службу бурового предприятия о работе двигателей и расходе дизельного топлива.

Таким образом контроль работы установки может осуществляться только по отчетам мастера. Такой контроль сложно назвать надежным, т.к. присутствует человеческий фактор.

Целью данного проекта является оперативный мониторинг и контроль в режиме ON-LINE работы всех дизельных двигателей на буровой, что в свою очередь позволяет прямо и косвенно контролировать технологические процессы бурения, формировать ежедневные отчеты о работе дизельных двигателей на буровой и расходе дизельного топлива без участия буровых мастеров.

Для контроля оборотов двигателя на этих дизелях используются электрические тахометры. Напряжение тахометров линейно зависит от оборотов двигателя. Удаленный мониторинг работы дизельного двигателя производится по данным полученным с тахометра.

Для измерения сигналов тахометра и передачи данных используется контроллер UAB TELTONIKA FM4200. Он содержит аналоговые входы для измерения напряжения тахометров дизельных двигателей, напряжения в электросети буровой установки (контроль дизель электростанции) и GPRS канал для передачи данных.

Использование микроконтроллера более надежно, так как процесс полностью автоматизирован, наблюдается экономия средств за счет сокращения рабочих кадров, существует доступ к данным в любой момент времени, данные передаваемые по GRPS каналу доступны только администратору, не играет роли человеческий фактор.

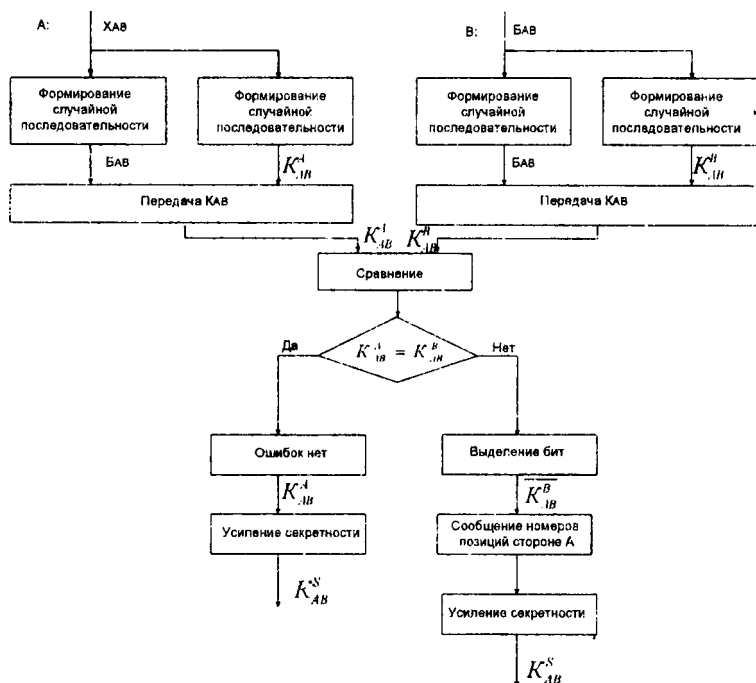
Таким образом сводится к нулю риск кражи топлива, риск получения ложных данных, процесс может контролироваться удаленно (данные с контроллера, установленного на дизельном двигателе, могут передаваться в любую точку мира), а также контроллер отличается низким энергопотреблением.

Формирование ключевой информации в квантовом канале

Голиков В.Ф., Пенкрат Н.В.

Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Криптостойкость классических квантовых алгоритмов обусловлена принципами квантовой механики. Предложен протокол распределения квантовых ключей, разработанный на основе анализа известных квантовых протоколов, но, в отличие от них, обеспечивающий функционирование квантового канала в условиях прослушивания. Двухэтапный протокол формирования ключевой информации представлен на рисунке.



Протокол основан на невозможности верного определения базисов передающей и принимающей стороны криптоаналитиком для второго сеанса передачи ключа, даже если во время первого сеанса криптоаналитику удалось перехватить передаваемую последовательность с точностью до нескольких битов.

Пространственно-временная обработка сигнала на фоне помех

Гриднев Ю.В., Пальцев В.А.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Повышенный интерес к вопросам пространственно-временной (ПВ) обработки сигналов в радиолокационных станциях (РЛС) прежде всего связан с стремлением увеличить их помехоустойчивость за счет применения адаптивных фазированных антенных решеток и адаптивных приемников с автокомпенсатором (АК) и автокогерентным накопителем. Отраженный сигнал РЛС от воздушного объекта или от местных предметов несет в себе закодированную информацию во временной и пространственной структуре.

Единая ПВ обработка сигнала цели на радиолокационном фоне требует единой записи корреляционной функции сигнала по времени (междупериодной корреляции, индексы kl), по углу (междуканальной корреляции, индексы $\chi\lambda$) и по углу-времени (междупериодно-междуканальной корреляции, индексы $k\lambda$) в виде статистического усреднения флуктуирующих комплексных огибающих сигнала по четырем индексам $k\lambda\chi\lambda$:

$$R_{k\lambda\chi\lambda}^x = \overline{x_{k\chi} x_{l\lambda}^*} = \overline{x_k x_l^* x_\chi x_\lambda^*} = \overline{x_k x_l^*} \cdot \overline{x_\chi x_\lambda^*} + \left(\overline{x_k x_\lambda^*} \right)^2, \quad (1)$$

где R_{kl}^x , $R_{\chi\lambda}^x$, $R_{k\lambda}^x$, – дискретные значения междупериодной, междуканальной и междупериодно-междуканальной корреляционной функции.

В докладе показано, что при учете ПВ корреляционных связей (выражение (1)) квадрат АЧХ ПВ устройства декорреляции фона будет обратно пропорционален междупериодному, междуканальному и междупериодно-междуканальному энергетическим спектрам сигнала фона, а квадрат АЧХ ПВ устройства накопления сигнала цели на фоне белого шума будет пропорционален междупериодному, междуканальному и междупериодно-междуканальному энергетическим спектрам сигнала цели. Предлагается с помощью системы автоподстройки сформировать «ПВ комплексный вес» и учесть его в существующих пространственных и временных автокомпенсаторах и автокогерентных накопителях.

Полученные результаты показывают, что адекватная ПВ структура фильтра подавления коррелированной помехи и фильтра накопления флуктуирующего сигнала цели полностью определяется их пространственной, временной и ПВ корреляцией, на основании которой разработаны и представлены технические устройства.

Компьютерные модели адаптивных систем пространственно-временной обработки сигнала

Гриднев Ю.В., Пальцев В.А.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

В РЛС с большой апертурой система между периодной и междуканальной обработки сигнала на фоне коррелированных помех определяется пространственно-временной (ПВ) матрицей, которую можно представить в виде произведения двух сомножителей

$$\|R'_{kl\chi\lambda}\| = \left[E + \left(\|Q'_{kl\chi\lambda}\| \cdot \|R^x_{kl\chi\lambda}\| \right)^{-1} \right]^{-1} \|Q'_{kl\chi\lambda}\|, \quad (1)$$

где $\|R'_{kl\chi\lambda}\| = \|Q'_{kl\chi\lambda}\|$ – первый этап обработки входного сигнала, который определяется ПВ матрицей фона; $\|R''_{kl\chi\lambda}\| = \left[E + \left(\|Q'_{kl\chi\lambda}\| \cdot \|R^x_{kl\chi\lambda}\| \right)^{-1} \right]^{-1}$ – второй этап обработки входного сигнала, который определяется ПВ матрица полезного сигнала и остатками фона. Недостатком, применяющихся в настоящее время пространственного и временного автокомпенсаторов (ПВ-АК) подавления помех, а также пространственного и временного автокогерентных накопителей (ПВ-АКН) полезного сигнала, является отсутствие ПВ системы самонастройки (ПВСС), которая бы учитывала пространственно-временную корреляцию сигнала цели и помехи и за счет этого повышала бы эффективность подавления сигнала помехи и накопление полезного сигнала.

Предлагаются разработанные в программе MATLAB-SIMULINK компьютерные модели ПВ-АК подавления коррелированной помехи, а также ПВ-АКН полезного сигнала, в которых реализована ПВСС.

Целью моделирования является показать положительный эффект применения ПВ системы самонастройки в ПВ-АК и ПВ-АКН. Моделирование ПВ-АК и ПВ-АКН проводилось в два этапа: с выключенной ПВ системы самонастройки и с включенной.

Сравнение спектров сигнала помехи показывает, что при включении ПВ системы самонастройки мощность помехи уменьшилась с $2 \cdot 10^{-5}$ до $4 \cdot 10^{-6}$ (в 5 раз), а анализ спектров сигнала цели на выходе ПВ-АКН показывает, что при включении ПВ системы самонастройки мощность сигнала цели увеличилась в 1,3 раза.

Применение в ПВ-АК и ПВ-АКН дополнительной ПВ системы самонастройки приводит к увеличению коэффициента компенсации помехи и коэффициента накопления полезного сигнала.

Управление и обработка информации в системах дистанционного образования

Кондратёнок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящем докладе рассматривается система дистанционного образования (СДО) Moodle с точки зрения ее возможностей управления и обработки информации.

В докладе рассмотрены достоинства и недостатки использования СДО в учебном процессе по сравнению с традиционным учебно-методическим обеспечением.

Отмечено, что основное назначение любой, в том числе и дистанционной, системы образования – это формирование у обучаемых необходимых знаний и навыков. Наиболее общими показателями оценки качества при этом являются доступность и полнота изложения учебного материала, отсутствие излишней детализации, возможность самоконтроля и др. При этом перед разработчиками электронного курса стоит проблема оптимизации его содержания по тому или иному критерию.

Обязательным элементом любой системы образования является блок контрольных вопросов (БКВ), для каждого из которых возможно назначение весового коэффициента (ВК). В СДО Moodle с помощью ВК указывается степень трудности вопроса, т.е. устанавливается количественная и качественная характеристика знаний.

Для повышения достоверности результатов тестирования для определения ВК используют метод экспертных оценок. При этом отмечена недостаточная точность указанного метода, а ВК предлагается определять в два этапа: на этапе предварительных расчетов (этап №1) – использовать метод экспертных оценок, на этапе №2 – проводить коррекцию ВК.

Максимальная относительная мера сложности присваивается вопросу, количество правильных ответов на который минимально. Авторы предлагают разработать механизм, обеспечивающий не только определение и корректировку ВК в БКВ, но и обратную связь, причем в двух контурах: БКВ – разработчик, БКВ – разработчик – руководитель. В настоящее время рассматривается целесообразность и возможность разработки подсистемы формирования извещений, что создаст предпосылки преобразования обычного электронного учебника в адаптивный курс, т.е. курс, включающий систему обратной связи. При этом содержание и/или форма учебных ресурсов, предъявляемых конкретному пользователю, сможет зависеть от характеристик самого пользователя, его целей обучения, уровня знаний и предпочтений.

Построение сдвиговых моделей по экспериментальным данным

Кочеров А.Л., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

При исследованиях различных физических процессов часто приходится решать задачу описания распределения в пространстве плотности потока энергии, переносимой посредством пучка электромагнитного излучения. В математическом плане подобная задача эквивалентна задаче аппроксимации неизвестной функции некоторым образом подобранными функциональными структурами, вид которых заранее известен, и обеспечивает удобство в процессе дальнейшего анализа.

В частности, для описания одномерного распределения плотности потока мощности $K(x)$ может быть применена аналитическая модель вида

$$F(x) = \sum_{n=1}^N A_n \cdot f(x - \lambda_n),$$

которая, по сути, является линейной комбинацией сдвигов базисной функции $f(x)$ и называется моделью сдвиговой аппроксимации.

Понятно, что для построения адекватных моделей необходимо потребовать «близости» экспериментального и аппроксимирующего распределений $K(x) \approx F(x)$. Таким образом, если модель $F(x)$ строится по результатам экспериментальных данных, то можно говорить об опытно-теоретических моделях.

В докладе обсуждаются способы определения параметров модели A_n и λ_n для различных способов получения исходных экспериментальных данных, вопросы выбора базисной функции, а также приводятся результаты моделирования, подтверждающие реализуемость предлагаемого подхода.

Кроме того, отражены вопросы, касающиеся свойств сдвиговых моделей и определяющие выбор базисной функции. Показано, что параметры сдвиговых моделей могут быть определены по экспериментальным данным с помощью процедуры оценивания по методу наименьших квадратов. Приводятся основные свойства сдвиговых моделей – единственности, линейности и свойство непрерывной зависимости параметров сдвиговой модели от аппроксимируемой функции. Указывается на то, что особое внимание следует уделить вопросу выбора базисной функции. Сформулированы условия, которым должна удовлетворять базисная функция.

Особенности использования программных средств для визуализации результатов вычислений

Кочеров А. Л., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Для визуализации результатов вычислений могут быть использованы различные программные продукты, в частности, пакет прикладных программ Mathcad. Этот программный продукт позволяет создавать и воспроизводить анимационные клипы, используя встроенную переменную FRAME.

Рассмотрим особенности применения пакета прикладных программ Mathcad для создания анимационных видеороликов (клипов), отображающих результаты вычислений амплитудно-частотного и фазочастотного спектров периодического сигнала.

Применительно к поставленной задаче детали её решения можно кратко описать следующим образом. Параметры исходного периодического сигнала записываются как функции переменной FRAME. Понятно, что результаты расчета амплитудно-частотного и фазочастотного спектров сигнала также будут зависеть от переменной FRAME. Далее разрабатывается конкретный вид наглядного графического отображения результатов расчета. Как правило, имеет смысл в границах одного кадра одновременно представить график сигнала как функции времени и его спектр, например, амплитудно-частотный. После этого, стандартными средствами из меню «Анимация» можно указать диапазон изменения переменной FRAME, выбрать темп смены кадров при воспроизведении клипа и приступить к созданию самого клипа. После создания клипа его можно сохранить как Windows AVI файл, что позволит воспроизводить его другими приложениями Windows.

В докладе продемонстрирован предлагаемый подход представления спектров на примере периодической последовательности прямоугольных видео- и радиоимпульсов. Кроме того, показан процесс изменения спектров сигналов при переходе от видеоимпульсов к радиоимпульсам. Отмечается, что опыт проведения занятий по теме спектрального метода анализа технических систем, показывает целесообразность использования анимационных видеороликов (клипов), отражающих изменения амплитудно-частотного и фазочастотного спектров при изменении параметров периодического сигнала.

Подобный подход реализует известный принцип «лучше один раз увидеть...» и помогает наглядно продемонстрировать основные закономерности спектрального описания периодических сигналов, в частности, связь длительности импульса периодического импульсного сигнала и эффективной ширины спектра этого сигнала.

Применение статистической линеаризации для обработки информации в системе управления нечёткой логики

Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет

Получение с помощью системы нечёткой логики необходимого результата в значительной степени зависит от работы блока фаззификации, задачей которого является преобразование измеренных реальных данных в подходящие для этого значения лингвистические переменные. В случае, когда входной сигнал является случайным, блок фаззификации должен преобразовывать в нечёткие числа вероятностные данные. При этом должна быть определена процедура преобразования вероятностного значения (вероятностной характеристики) в возможностное (функцию принадлежности).

Пусть динамическая нелинейная стохастическая система описывается векторным нелинейным уравнением в виде

$$\dot{X}(t) = \varphi(X, t) + \xi(t), \quad X(t_0) = X_0,$$

где $X(t)$ - в общем случае n -мерный случайный вектор (матрица-столбец); $\varphi(X, t)$ - векторная детерминированная нелинейная функция; $\xi(t)$ - вектор белого гауссова шума, имеющий математическое ожидание $m_\xi(t)$ и матрицу интенсивностей $G(t)$.

Применив метод статистической линеаризации к векторной нелинейности $\varphi(X, t)$, получим линеаризованное уравнение

$$\dot{X}(t) = \varphi_0(m_x, \theta_x, t) + K(m_x, \theta_x, t)X^0 + \xi(t), \quad X(t_0) = X_0,$$

где статистическая характеристика φ_0 и матрица K статистических коэффициентов усиления зависят от вектора $m_x(t)$ и корреляционной матрицы $\theta_x(t)$, вычисляемых путём решения уравнений для вероятностных моментов.

Если считать, что плотность вероятности распределения процесса $X(t)$ гауссова, то этого вполне достаточно для определения n -мерной плотности вероятности $f(x)$. Переход от плотности вероятности $f(x)$ к функции принадлежности $\mu(x)$ предлагается производить путём нормирования $f(x)$.

$$\mu(x) = \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_n, t)}{f(x_1 = m_{x1}, x_2 = m_{x2}, \dots, x_n = m_{xn}, t)}.$$

Определение функции принадлежности выходных сигналов нелинейной системы

Лобатый А.А., Аль-Машхадани М.А.

Белорусский национальный технический университет

Решается задача автоматической стабилизации беспилотного летательного аппарата (БЛА) по крену. Система управления содержит гироскопические измерительные устройства, измеряющие угол крена γ и угловую скорость крена $\dot{\gamma}$. Показание гироскопических измерителей в виде суммарного напряжения u :

$$u = k_\gamma \gamma + k_{\dot{\gamma}} \dot{\gamma}.$$

подаётся на привод элеронов. Угол отклонения элеронов δ ограничен предельным значением δ_u . Выражение для угла δ отклонения элеронов имеет вид

$$\delta = \varphi(u) = \begin{cases} u, & |u| < \delta_u, \\ \delta_u, & |u| \geq \delta_u. \end{cases}$$

Для определения систематической ошибки крена (математического ожидания) и дисперсии составлены уравнения для вероятностных моментов m_γ и θ_γ . Предварительно статистически линеаризована нелинейность $\varphi(u)$. Интегрируя уравнения для моментов, получены все математические ожидания и ковариации, необходимые для вычисления m_u и θ_u , в том числе значение систематической ошибки крена $m_\gamma(t)$ и дисперсии $\theta_\gamma(t)$. Для гауссовой плотности вероятности распределения фазовых координат системы получены выражения для плотности вероятности $f(\gamma)$ и функции принадлежности $\mu(\gamma)$. Моделированием в среде Mathcad проведено исследование разработанной методики определения функции $\mu(\gamma)$.

Результаты исследований показывают, что применение статистической линеаризации нелинейностей и гауссовой аппроксимации плотности вероятности распределения фазовых координат позволяет вычислять функцию принадлежности выходных параметров данной системы. Предложенный подход, может быть применён для решения широкого класса задач формирования сигналов управления в нечётких регуляторах.

**Web-поддержка учебного процесса при изучении дисциплины
«Компьютерные информационные технологии»**

Пентегов В.В.

Белорусский национальный технический университет

Широкое внедрение высокоскоростного интернета предоставляет возможность студентам получение учебной информации непосредственно в on-line режиме. В докладе рассматриваются основные Web-ресурсы сайтов и форумов, которые позволяют получить начальные или углубить профессиональные навыки работы в офисных программах.

Сайт "Первые шаги" <http://www.firststeps.ru> предназначен для пользователей ПК и начинающих программистов. На вкладках сайта представлены материалы по изучению Word, Excel, Access ориентированные на пошаговое изучение программных продуктов как для начинающих пользователей, так и для пользователей средней квалификации.

Сайт "Планета Excel" <http://www.planetaexcel.ru> содержит информацию в виде коротких и полезных статей с хитростями, приемами и рецептами решения типовых проблем в Excel. На сайте имеется Форум, который позволяет найти ответы на наиболее волнующие вопросы. Интерес представляет надстройка PLEX, которая содержит набор макросов, добавляющий к обычным возможностям Excel более 60 новых мощных функций.

Сайт "Excel – это не сложно" <http://www.excel-vba.ru> содержит подборку материалов по Excel и VBA. Надстройка MyAddin включает в себя 36 команд и 14 функций, разработанных автором. Для каждой команды и функции предусмотрена встроенная справка. Список команд и функций пополняется, и если у Вас есть какие-либо предложения по совершенствованию данной надстройки, то они с благодарностью будут рассмотрены автором.

Сайт "Создание базы данных в Microsoft Access" <http://access.my-study.info/about.php> предлагает помощь тем, кто делает первые шаги в разработке баз данных. Автор надеется, что его опыт пригодится тем, кто никогда не занимался разработкой баз данных. Максимум иллюстраций там, где проще один раз показать, чем писать длинные тексты.

Сайт "Базы данных в Access для бухгалтера" <http://www.lemax.ucoz.ru> содержит учебники и иллюстрированные самоучители, примеры для скачивания баз данных не для коммерческого использования, а также форум. Использование студентами Гродненского филиала кафедры «Информационные системы и технологии» МИДО БНТУ рекомендуемых Web-ресурсов активизирует самостоятельную работу студентов.

Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Преобразователи постоянного тока (ППТ) различных классов (повышающие, понижающие и повышающе-понижающие) находят все возрастающее применение в техники. Всплеск интереса к ним объясняется широким развитием преобразовательных устройств возобновляемых источников энергии и электромобилей, где необходимо неоднократное преобразование источников электроэнергии низкого уровня напряжения (солнечные батареи, аккумуляторы, топливные элементы).

Управление ППТ осуществляется с применением хорошо изученных пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) контроллеров. Альтернативой являются котроллеры, построенные на принципах нечеткого управления. ПИД-контроллеры являются линейными и проектируются с использованием классических частотных методов. Частотные диаграммы позволяют определить необходимый коэффициент усиления, частоту среза и запас по фазе. Управление на основе ПИД контроллеров обеспечивает устойчивость вблизи расчетной точки. Однако модель ППТ преобразователя в малом меняется с изменением расчетной точки. Передаточная функция ПнП при малых отклонениях переменных имеет вид

$$\frac{u_0(p)}{d(p)} = \frac{U_0}{D} \left(\frac{1+pRC}{a_2^2 p^2 + a_1 p + 1} \right),$$

где D , d -скважность силового ключа и ее отклонение, U_0, u_0 - выходное напряжение и его отклонение, R, C -сопротивление и емкость нагрузки, a_1, a_2 -коэффициенты, зависящие от параметров преобразователя.

Расчеты по (1) показывают, что амплитуда частотной характеристики (ЛАХ) такого преобразователя зависит от скажности D силового транзистора преобразователя. Вариации D не изменяют формы ЛАХ, но перемещают ее по вертикали, влияя таким образом на устойчивость системы. Аналогичная зависимость имеет место также и для повышающих преобразователей (ПпП). Заметим, что вариации D являются нормальным эксплуатационным режимом.

Взамен ПИД регуляторов, параметры которых основаны на точной математической модели (ММ) объекта, предлагается использовать принципы экспертных систем, в частности, контроллеры нечеткой логики.

Использование конечно-элементной программы FlexPDE для расчета конструкций из пьезокерамики

Скалюх А.С., Соловьев А.Н., Напрасников В.В.

Южный федеральный университет (Россия)

Белорусский национальный технический университет

Установлено, что прямое применение конечно-элементной программы FlexPDE к расчету пьезокерамических конструкций на основе модели связанной электроупругости не приводит к желаемому результату. Это связано с тем, что конечно-элементные матрицы системы линейных алгебраических уравнений имеют седловую структуру, а применяемые методы ее решения в этом случае не работают.

В связи с этим было предложено использовать безразмерные уравнения электроупругости с определенным выбором масштабных множителей. Такой подход оказался эффективным для решения не только простых задач, но и задач, включающих в себя элементы из керамических материалов.

В качестве примера приводится решение задачи о расчете статора пьезоэлектрического линейного двигателя.

На рис. 1 представлена общая конструкция статора, и на рис. 2 деформированное состояние четверти конструкции.

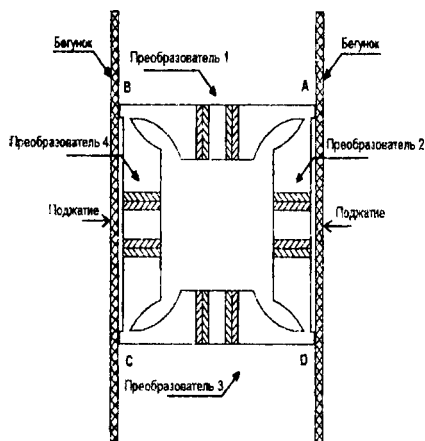


Рис.1 -- Общий вид статора пьезодвигателя специального вида

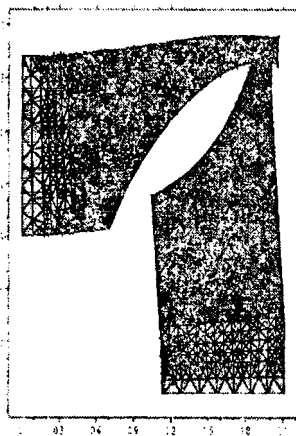


Рис.2 – Деформируемое состояние

**Автоматизированный синтез цифровых регуляторов
в среде MATLAB**

Стрижнев А.Г., Ледник Г.В., Русакович А.Н.
НПООО «ОКБ ТСП»

Проектирование цифровых систем автоматического управления (САУ) обычно начинают с изучения объектов управления (ОУ) с целью получения их математических моделей. Наличие математических моделей ОУ позволяет осуществить расчет цифровых регуляторов (ЦР), которые придают системе требуемые динамические свойства.

Большинство объектов управления являются аналоговыми и описываются непрерывными математическими моделями, для многих из которых можно рассчитать ЦР по известным методикам. Вместе с тем, расчет ЦР можно осуществить и по дискретным передаточным функциям (ДПФ) объектов управления, которые также определены для многих, но не для всех ОУ.

Следует заметить, что расчет ЦР по аналоговым математическим моделям ОУ и расчет ДПФ ОУ является достаточно трудной задачей. В связи с этим возникла необходимость автоматизировать процесс разработки ЦР, базирующийся на расчете ДПФ объектов управления с использованием пакета MATLAB.

В докладе приведены популярные методы дискретизации передаточных функций ОУ, используемые в среде MATLAB, в т.ч. экстраполяторы нулевого и первого порядка. билинейная аппроксимация (преобразование Тастина) и преобразование Тастина с коррекцией по частоте среза. В среде MATLAB разработана программа, которая позволяет получить ДПФ ОУ высокого порядка, а также рассчитать ЦР.

На примере ОУ, который имеет передаточную функцию

$$G(s) = \alpha [s^2 + bs + a]^{-1},$$

где $\alpha = 388,664 \text{ c}^{-3}$; $a = 1089 \text{ c}^{-1}$; $b = 16,5 \text{ c}^{-1}$.

Осуществлен расчет ЦР традиционным и программным методами и проведено математическое моделирование работы САУ с этими ЦР.

Проведенные исследования показывают, что с помощью разработанной программы в среде MATLAB могут быть получены ДПФ для любых, других ОУ и рассчитаны для них ЦР. Причем показатели качества работы САУ с ЦР, рассчитанными с помощью разработанной программы, не уступают показателям качества работы САУ с ЦР, рассчитанными традиционными методами.

Автоматизированная настройка цифровых регуляторов САУ для радиозлектронной техники

Стрижнев А.Г., Шихов А.А., Русакович А.Н.
НПООО «ОКБ ТСП»

В настоящее время существует множество способов синтеза цифровых регуляторов систем автоматического управления (САУ). Абсолютное большинство из них базируется на расчетах, в которых используются математические модели объектов управления (ММОУ), полученные экспериментальными или аналитическими методами. ММОУ позволяет осуществить точные расчеты управляющих воздействий и проанализировать отклик системы в различных режимах работы.

В ряде случаев в связи со сложностью механизмов или отсутствием точных характеристик объектов управления (ОУ) аналитически рассчитать ММОУ затруднительно или вообще невозможно.

Вместе с тем, широкое применение нашли практические способы определения ММОУ, при реализации которых ОУ в составе САУ рассматривается в виде «черного ящика». Однако встречаются САУ, в которых идентифицировать параметры ОУ также затруднительно или невозможно.

В докладе представлен метод автоматизированной настройки цифровых регуляторов, позволяющий произвести настройку САУ с ОУ типа «черный ящик» в автоматическом режиме. Для автоматической настройки необходимо выбрать тип регулятора (ПИД, оптимальный или нечеткий регулятор), определить его порядок и задать начальные параметры, выбрать критерий и метод оптимизации. На примере ОУ,

который имеет передаточную функцию $G(s) = \alpha [s(s+a)(s+b)]^{-1}$ (где $\alpha = 122500 c^{-3}$; $a = 215,2 c^{-1}$; $b = 22,77 c^{-1}$), с помощью разработанного программного обеспечения была осуществлена автоматическая настройка классического ПИД регулятора и нечеткого регулятора. При этом был выбран критерий минимума квадратичный

ошибки $J = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} \theta_i^2 \Rightarrow \min$ и метод Хука-Дживса для определения оптимальных значений коэффициентов регуляторов, при которых минимизируются критерий качества.

На основании результатов, полученных с помощью данного метода, сделан вывод о том, что показатели качества работы САУ с рассчитанными и настроенными регуляторами практически одинаковые.

Трещ А.М.

Белорусский национальный технический университет

Возобновляемые источники энергии имеют огромное значение в решении будущих глобальных потребностей в энергии. Производство электроэнергии из возобновляемых источников энергии приведет к значительному сокращению загрязнения окружающей среды по сравнению с производством за счет ископаемого топлива. Вновь обратит внимание на этот источник энергии мотивируется достижениями в области технологий, экологические проблемы и растущим спросом на энергию.

Актуальным вопросом является повышение эффективности использования энергии Солнца. В настоящее время солнечные батареи (СБ) преобразуют лишь около 15% солнечного света в электрическую энергию. Излучение является важным, но не единственным фактором в определении вольт-амперной характеристики (ВАХ) СБ. Необходимо учитывать также влияние температуры. Помимо этого, для извлечения максимальной мощности СБ выбирается рабочая точка ВАХ.

Наиболее эффективным средством исследования СБ является математическое моделирование, позволяющее учитывать все многообразие факторов в их взаимосвязи. Обобщенная модель СБ в среде Matlab-Simulink представлена на Рис.1, где обозначено: блоки задания

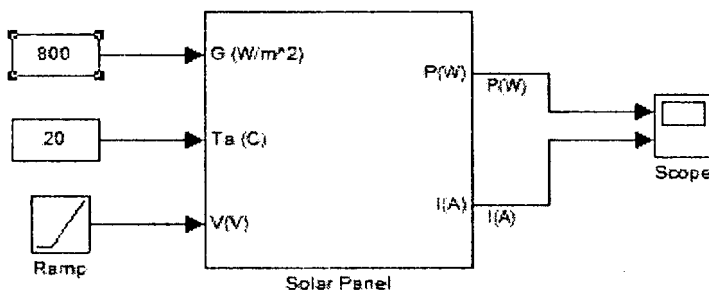


Рисунок 1- Обобщенная модель СБ

интенсивности солнечного излучения (800) и температуры среды (20), блок изменения напряжения от температуры (Ramp). Выходом модели является генерируемый ток $I(A)$ и выходная мощность $P(W)$.

Представленная модель позволяет исследовать работу СБ в различных режимах и производить оценку преобразовательных устройств, обеспечивающих режим максимальной выходной мощности.

**Модель генерации идентичной последовательности данных
с помощью двух синхронизируемых нейронных сетей
в целях получения криптографического ключа**

Якимов А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Проблема обеспечения безопасности информации с каждым днем становится все более острой. Причем, чем глубже информационные технологии внедряются в производственные процессы, тем больше возможные финансовые потери организации от угроз информационной безопасности. Безопасность любой конфиденциальной информации зависит от надежности системы шифрования, ее криптостойкости. Одна из наилучших идей, была идея Диффи-Хеллмана, позволяющий получить общий секретный ключ, используя незащищенный от прослушивания, но защищенный от подмены, канал связи. На сегодняшний день можно взломать такой криптографический ключ любой сложности. Проблема только во временных ресурсах. Задачи дискретного логарифмирования представляют более эффективные решения. Не за горами появление квантового компьютера.

ИНС (искусственные нейронные сети) позволяют взглянуть на проблему обеспечения безопасности иным взглядом. Основное преимущество ИНС в их способности к самообучению. Две ИНС с одинаковым алгоритмом обучения способны дать на выходе идентичные результаты. Это и легло в основу получения общего секретного криптографического ключа. Системы таких ИНС имеют стохастическое поведение и низкую чувствительность к шуму. Такие системы позволяют решить проблемы криптографии с открытым ключом, распределения ключей, хеширования и генерации псевдослучайных чисел. Так как коммуникация необходимых данных для синхронизации сетей передаются по открытому каналу, появляется возможность прослушивания. В идеальных условиях, учитывая факт, что наблюдающая сторона имеет идентичную по строению ИНС, не способна получить те же данные на выходе. Но, как и многие любые криптографические системы, может быть подвержена криптоатакам.

Для улучшения безопасности такой системы является сокращения времени, затраченного на синхронизацию. Опираясь на знания о восстановлении ключевой информации из его имеющейся последовательности, процесс синхронизации системы можно остановить, не дожидаясь ее полной синхронизации. Область относительно нова, и пока не имеет практических применений.

Сравнение методов задания сейсмических нагрузок на примере анализа сейсмостойкости морской нефтедобывающей платформы

Якимуш И.С., Напрасников В.В., Мирзаванд М.А.
Белорусский национальный технический университет

В данной работе моделировалось сейсмическое воздействие на морскую нефтедобывающую платформу. Сейсмограмма взята на основе данных землетрясения, произошедшего в 1978 году в окрестностях иранского города Тебес, в течение первых пяти секунд.

Сейсмическое воздействие реализовано двумя способами:

1. Приложением к конструкции изменяющегося глобального ускорения в соответствии с акселерограммой при помощи шагов нагружения.

2. Заданием перемещений основания платформы в каждый момент времени при помощи таблицы.

Решив систему уравнений

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} u(t) = v(t); \\ \frac{d}{dt} v(t) = a(t), \end{cases}$$

где $u(t)$ - перемещение, $v(t)$ - скорость, $a(t)$ - ускорение в момент времени t соответственно, с соответствующими начальными или граничными условиями, можно определить скорость и перемещение земной поверхности, а значит и нижней части основания платформы (которая перемещается вместе с грунтом) в любой момент времени.

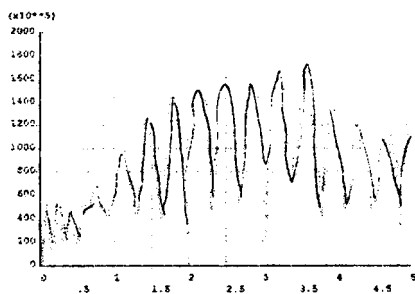


Рис. 1

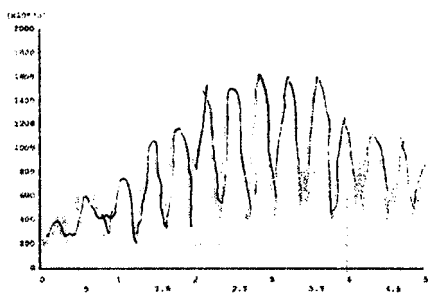


Рис. 2

Различие между максимальным эквивалентным напряжением, рассчитанным по первому (рис. 1) и второму (рис. 2) способу, составляет 8.2%. Таким образом, может быть использован любой из рассмотренных методов.

Оценки эффективности робастного управления при нестационарном детерминированном возмущении

Ахмед Н.Т.

Белорусский национальный технический университет

Математическое моделирование и анализ качества функционирования робастной системы при детерминированном обобщенном возмущении проводится на примере силовой следящей системы, состоящей из измерителя рассогласований, усилительно-преобразовательных элементов, исполнительного устройства и объекта управления.

Передаточная функция исполнительной части силовой системы представляется в виде инерционного пропорционального интегрирующего регулятора (ПИ-регулятора).

Приводятся структурные схемы силовых следящих систем и результаты оценки эффективности управления по критерию точности. Рассматривается ситуация постоянного обобщенного возмущения применительно к внешнему стационарному воздействию для трех вариантов структурного построения следящей системы: из функционально необходимых элементов; «штатной» с ПИД-регулятором на базе функционально необходимых элементов с корректирующей обратной связью; робастной с фильтрами поглощения внутренних пертурбаций внешних возмущений.

В реальных помеховых ситуациях использования силовых следящих систем в составе систем автоматического слежения по направлению возможны условия нестационарного изменения составляющих обобщенного возмущения по детерминированным законам. В этой связи актуальной является задача сравнительной оценки эффективности управления при изменении по времени характеристик внешних возмущений и пертурбаций по линейным и квадратичным законам.

Энергоэффективные алгоритмы управления подъемно-транспортными механизмами (лифтами)

Марков А.В., Никонов В.Н., Шмарловский А.С., Силивонец М.В.

Белорусский государственный университет информатики
и радиозлектроники

Учет семантической информации при настройке диспетчерских алгоритмов позволяет добиться оптимального использования ресурсов группы лифтов конкретного здания. Перераспределение назначенных

одиночным лифтам вызовов в зависимости от изменения обстановки и текущего характера пассажиропотока позволяет улучшить качество работы. Характер пассажиропотока заранее неизвестен, но его можно спрогнозировать за счет учета текущего времени (время обеда, будний или праздничный день, день недели и т.п.) и др. информации.

Рассмотрены и проанализированы преимущества использования следующих алгоритмов диспетчерского управления: круговой, алгоритм при максимальном потоке вверх, алгоритм зонирования, алгоритм трех переходов, итерационный алгоритм с оптимизацией скорости и итерационный алгоритм с оптимизацией экономичности.

Разработан универсальный алгоритм, важным преимуществом которого является возможность значительно влиять на его качественные показатели за счет изменения или расширения условий перестановки вызова от более загруженного лифта к менее загруженному. Это позволяет гибко настроить алгоритм в зависимости от характера пассажиропотока и учесть закономерности его изменения.

Результаты моделирования показывают, что качественные показатели системы управления группой лифтов улучшаются при использовании наиболее подходящего алгоритма управления в условиях доминирующего в данное время пассажирского потока. Для потоков малой интенсивности использование специально разработанных алгоритмов не дает существенного преимущества по сравнению с простейшими алгоритмами, однако с ростом этажности здания, количества лифтов и интенсивности пассажиропотока эти преимущества становятся существенными.

УДК 62-52:621.87

Алгоритмы и системы управления приводами подъемно-транспортных механизмов

Кузнецов А.П., Марков А.В., Шмарловский А.С.
Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники

Разработаны алгоритмы и системы управления приводами подъемно-транспортных механизмов, позволяющие с учетом заданных ограничений на амплитуду колебаний груза видоизменять задаваемые оператором сигналы управления скоростью таким образом, чтобы предотвратить возбуждение колебаний грузов.

Рассмотрены случаи разомкнутого и замкнутого по углу (координате) отклонения груза управления.

Предложен способ подключения зашумленного сигнала обратной связи, позволяющий увеличить робастность системы управления.

Разработан метод использования сигнала, характеризующего угол (координату) отклонения груза, для подстройки системы управления скоростью или положением груза подъемно-транспортного механизма.

Разработаны алгоритмы и системы управления приводами подъемно-транспортного механизма, позволяющие переместить груз в заданную точку с одновременным подавлением до допустимого уровня его колебаний как во время перемещения, так и в месте остановки. Алгоритмы управления позволяют «подхватывать» груз при ненулевых начальных условиях, вызванных действиями оператора на начальном этапе транспортировки груза.

Разработана схема исследования характеристик алгоритмов управления. Результаты анализа позволяют сделать вывод, что разработанные алгоритмы управления превосходят по быстродействию и робастности известные алгоритмы и позволяют уменьшить остаточные колебания до 3...5% от величины, имеющейся с отключенным алгоритмом подавления колебаний (коэффициент подавления колебаний 26...30 dB).

УДК. 656.052

Оценки эффективности управления автотранспортным средством по каналу скорости движения

Дияб Абдаллах С. А. О.

Белорусский национальный технический университет

Рассмотрим решение задачи моделирования эффективности управления автотранспортным средством с учетом динамики канала управления скоростью движения. Модель управления структурно включает модель оператора-водителя соответствующей степени мотивационного восприятия дорожной обстановки и модель исполнительного устройства, определяющего величину скорости движения. Структурные схемы информационных поведенческих моделей операторов-водителей автотранспортного средства с различными степенью мотивационного восприятия с учетом динамики канала управления скоростью движения позволяют сформировать следующие качественные оценки. При изменении во времени задающего воздействия на канал управления скоростью движения автотранспортного средства по линейному закону динамические ошибки нарастают пропорционально величине скорости. Анализ результатов поведенческого моделирования операторов-водителей с высокой степенью мотивационного восприятия с учетом динамики канала управления скоростью движения автотранспортного средства показывает, что при постоянных (не изменяющихся во времени) задающих воздействиях на канал управления

скоростью движения существует установившееся значение динамической ошибки. Увеличение коэффициента преобразования автотранспортного средства при управлении скоростью движения приводит к уменьшению динамических ошибок в канале управления скоростью движения.

Структурированные поведенческие модели позволяют феноменологически и количественно оценить эффективность управления по каналу управления скоростью движения (с учетом его динамики) водителями с различными способностями, подготовленностью и работоспособностью в разных по требованиям ситуациях.

УДК 675.025.55

Перспективы применения сервисов Google в учреждениях образования Республики Беларусь

Гончаревич П.В.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня мировое сообщество в целом и Республика Беларусь в частности происходит становление и развитие информационного общества. Постоянное возникновение новых сервисов, ориентированных на решение разнообразных коммуникационных задач, рождает вопрос: можно ли (и если можно, то как) использовать их в образовательной практике? Необходимо отметить, что использование в образовательном процессе современных интернет-технологий, сетевых сервисов повышает эффективность образовательного процесса и производительность труда педагога лишь при грамотном, продуманном их использовании. С Google учреждениям образования больше не нужны дорогостоящие сервера и оборудование, обновление и установка патчей для программного обеспечения, или оплата лицензий.

В ходе работы с Google. Календарем и Google. Документами осуществляется предоставление обобщенной информации по узловым вопросам изучаемой темы, рассматриваются характерные особенности деятельности, разрешаются вопросы взаимодействия информационной системы с обучаемыми, анализируются результаты и, по необходимости, корректируются содержание учебных программ.

Создание Google. Групп обеспечивает групповую форму обучения, которая в свою очередь способствует формированию готовности студентов к выполнению профессиональных обязанностей, стимулирует умения учиться и работать в коллективе, выполнять задания в творческих группах. Никогда ранее не было такой уникальной возможности настолько тесно объединить всех участников образовательного процесса для совместной деятельности.

Таким образом, создавая учебные материалы и размещая их в сети, обучающиеся переходят от роли пассивного участника образовательного процесса к роли разработчика, управленца этого контента, осознающего степень ответственности за качество создаваемых ресурсов. Это принципиально новая идеология построения партнерских отношений между субъектами образовательного процесса, основанная на сотрудничестве и желании быть полезными друг другу, творческом подходе и взаимоуважении.

УДК 621.391.25

Выбор рационального варианта системы погрузочного оборудования дорожной машины АМКОДОР - 320 на основе конечно-элементного анализа

Боровик А.А., Камран Каземпур Абдолреза
Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается модель рабочего оборудования универсального погрузчика АМКОДОР 320Е. Исходными данными для задачи являются общие сведения о конструкции – это геометрическая форма, размеры, материал изготовления. Погрузочное оборудование предназначено для перемещения (подъем, опускание, поворот) рабочих органов и представляет собой параллелограммную систему с кинематическим возвратом ковша в положение копания после разгрузки в верхнем положении.

Выполнены вариантные расчеты для различных конфигураций конструкции. Приводятся распределения полей перемещений и напряжений в материале конструкции.

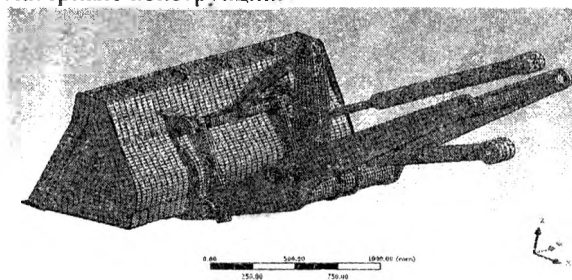


Рисунок 1. Конечно-элементная модель рабочего оборудования

На основании проведенных расчетов были выполнены изменения конструкции с целью улучшения ее характеристик, таких как надежность, устойчивость, что позволяет увеличить срока ее эксплуатации.

Литейное производство чёрных и цветных металлов

Зависимость пылегазовых выбросов при рафинировании силуминов от глубины ванны расплава

Румянцева Г. А., Глушанкова Л. Я., Башко И. И.
Белорусский национальный технический университет

Склонность алюминиевых сплавов к обогащению твердыми и газообразными неметаллическими включениями в процессе выплавки и высокая устойчивость системы «неметаллическое включение – расплав» приводит к необходимости его рафинирования. Для этих целей применяют различные способы продувки расплавов инертными и активными газами или обработку легкокипящими присадками (C_2Cl_6 , $AlCl_3$, $ZnCl_2$, $MnCl_2$ и серосодержащими препаратами).

При вводе в расплав гексахлорэтана (C_2Cl_6), он интенсивно возгоняется (температура около $185^\circ C$), но реакция его взаимодействия с алюминием при температурах обработки $740-750^\circ C$ идет не до конца, а приблизительно на 30 %. Остальной же хлор остается в соединении с углеродом, образуя тетрахлорэтилен (C_2Cl_4) с температурой кипения $121^\circ C$, который в условиях жидкого сплава мгновенно превращается в пар и действует одновременно с $AlCl_3$ как нейтральный газ. Громоздкие молекулы C_2Cl_4 не способны диффундировать в массу сплава и, собираясь в крупные пузыри, быстро всплывают на поверхность ванны, не производя того эффекта, который получился бы в случае взаимодействия всего хлора с алюминием. Это, по-видимому, и способствует интенсивному протеканию процессов выделения пыли и хлоридов.

На рафинирующий эффект и объем выделяющихся газов существенное влияние оказывает глубина ванны обрабатываемого металла. Исследовали эффективность рафинирования сплава АК9 добавками 0,05 % C_2Cl_6 при глубине ванны обрабатываемого расплава 0,8–1,8 м с определением выбросов хлоридов при помощи индикаторных трубок фирмы «Dräger». Расчетами установлено, что удельные выбросы хлоридов (q_x) резко отличаются при изменении глубины ванны расплава (h) и описываются экспоненциальной зависимостью

$$q_x = 0,087 \cdot (-1,88 \cdot h).$$

Это связано с увеличением продолжительности всплывания пузырьков $AlCl_3$ и их химическим взаимодействием с компонентами сплава, что сопровождается образованием соединений типа $MgCl_2$, $NaCl$, $CaCl_2$, которые образуют слой шлака на поверхности расплава и не участвуют в процессе пылеобразования. Остаточное содержание Al_2O_3 в расплаве снижается с увеличением глубины ванны с 0,041 до 0,32 %, что свидетельствует об усилении рафинирующего действия C_2Cl_6 .

Проблемы экологии при плавке стружки в короткопламенной роторной печи

Трибушевский Л.В., Румянцева Г.А., Немененок Б.М.
Белорусский национальный технический университет

Исследовали пылегазовые выбросы при плавке алюминиевой стружки в короткопламенной роторной печи с использованием 12 % флюса от массы металлозавалки.

Анализировали стандартный рафинирующий флюс (47 % KCl, 30 % NaCl, 23 % Na_3AlF_6) и покровно-рафинирующий флюс (13 % KCl, 55 % NaCl, 17 % Na_3AlF_6 , 10 % Na_2CO_3 , 5 % $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

В разогретую печь перед началом плавки засыпали около 4, 0 % флюса и по мере его расплавления в несколько приемов загружали подготовленную алюминиевую стружку, которую замешивали в расплав за счет вращения печи. Оставшийся флюс засыпали постепенно по мере завалки шихты и ее расплавления. Следует отметить существенные колебания газа по запыленности и химическому составу для обеих серий плавков при загрузке шихтовых материалов и во время плавки.

По обеим технологиям максимальные пылегазовые выбросы отмечались при загрузке шихты, доля которых составляла около 72 %. При этом кроме хлоридов, фторидов, диоксида серы, оксидов азота и углерода в составе выбросов обнаружены углеводороды C11-C19, формальдегид, ацетон, уксусная кислота, фенол, метанол и толуол. Это связано, в первую очередь, с выгоранием загрязнений, вносимых шихтой – остатков масел, смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), органических соединений. Присутствие диоксида серы в отходящих газах связано с наличием соединений серы в печном топливе и ее содержанием в СОЖ, которая в виде пленки осталась на поверхности алюминиевой стружки. Использование нового флюса незначительно снижало значения удельных выбросов, поскольку их главным источником являются компоненты шихты. Применение нового флюса обеспечило увеличение металлургического выхода с 83,2 % до 85,0 % по сравнению с серийной технологией, содержание алюминия в шлаке снизилось с 11,2 % до 7,6 % при уменьшении общего количества шлака с 29,2 % до 27, 3 %.

Полученные результаты подтвердили целесообразность использования предложенного варианта технологии переплава стружечных отходов алюминиевых сплавов в роторной печи, однако, для существенного повышения экологической безопасности участков, специализирующихся на переработке алюминиевой стружки, необходимо обратить внимание на более тщательную ее подготовку к плавке, включая обезжиривание и сушку.

Выбор печи для плавки алюминиевой стружкиТрибушевский Л.В., Трибушевский В.Л., Немененок Б.М.,
Башко И.И.

Белорусский национальный технический университет

При механической обработке отливок, изготовленных литьем в кокиль, масса стружки может достигать 50 % от массы отливки. Поэтому во всем мире большое внимание уделяется вопросам переработки и дальнейшего использования стружки алюминиевых сплавов. Алюминиевая стружка, как шихтовый материал, обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при ее переплаве. Прежде всего, это материал с высокой удельной поверхностью на единицу массы, который легко окисляется и способен образовывать на поверхности плотную оксидную пленку с высоким физико-механическими свойствами. При любом способе переплава стружки необходимо обеспечивать ее максимально быстрое замешивание в расплав.

Ввод стружки в расплав при помощи электромагнитного насоса (ЭМН) практически полностью исключает ее возгорание и делает переплав очень эффективным. Металлургический выход достигает 97–98 %.

Анализ технологий плавки показывает, что у газовых печей с ЭМН наиболее уязвимым местом является монолитная огнеупорная труба ЭМН, которая должна заменяться через несколько месяцев и требует остановки плавильного агрегата на длительное время.

Индукционные тигельные печи плавят металл меньшими порциями и они могут останавливаться каждый день и запускаться из холодного состояния. При этом футеровка тигля индукционной печи для плавки алюминиевой стружки выдерживают до двух лет непрерывной эксплуатации. В случае использования рафинирующих флюсов происходит зарастание тигля печи и сокращение сроков его эксплуатации.

Роторные наклонные печи позволяют переплавлять все виды отходов алюминия, как с использованием флюсов, так и без них. В последнем случае можно применять шихту с более высокой влажностью, так как при соприкосновении ее с горячей футеровкой происходит полное удаление влаги и это не сказывается на качестве получаемых сплавов.

При проведении плавки с использованием рафинирующих флюсов равномерное вращение печи не вызывает перегрева флюса и его возгонку, а главное – хорошо контактируют жидкий флюс и расплав алюминия.

Таким образом, для переплава алюминиевой стружки в условиях Республики Беларусь наиболее приемлемым оборудованием являются роторные наклонные печи.

Эффективные методики обучения студентов с использованием компьютерных программ

Бежок А.П., Розум В.А., Задруцкий С.П.
Белорусский национальный технический университет

Учебный процесс в высшем учебном заведении не возможен в современных условиях без использования компьютерной техники. Для демонстрации учебных видеоматериалов и фотографий используются различные программы для просмотра видео (Windows Media, KLM player и т.д.) и фотографий (ACDSee, IrfanView и т.д.). Графические материалы в виде схем работы оборудования, чертежей, графиков получают в различных программах двухмерной векторной графики – AutoCad, CorelDraw. Обработка сканированных изображений из журналов и учебников проводится в Paint Net или Fotoshop. Для быстрой генерации графиков по табличным данным обычно используется Excel. Полученный графический материал помещают в презентацию PowerPoint.

Отдельное направление – самостоятельное использование пакетов 3D моделирования для создания виртуальных видеороликов, демонстрирующих работу машин и механизмов. Такие уже готовые видеоматериалы в рекламных целях выпускают крупные производители современного оборудования (например, компания HWS – крупнейший производитель литейного оборудования). Преимущество – более высокая наглядность, возможность показать в разрезе происходящие процессы.

В отдельную группу можно выделить специализированные программы в помощь преподавателю: тестовые программы для приема экзаменов и зачетов, программы для автоматизированной подготовки экзаменационных билетов, программы для выбора вариантов тестовых заданий к зачету. Авторами статьи разработана программа, автоматически формирующая билеты к экзаменам. Имеется также программа выбора варианта задания для сдачи зачета. Ряд предметов предполагает обучение студентов пользованию различными сложными программными продуктами (AutoCAD, SolidWorks, ProCast). Использование традиционных методических пособий может оказаться не эффективным, так как часто очень сложно, а в некоторых случаях невозможно при такой подаче материала показать технику работы с программой. В таком случае гораздо эффективнее использовать программы захвата видео с монитора компьютера. При этом программа записывает в видео файл все, что происходит на экране компьютера, добавляя к этому звук и фиксируя нажатия правой и левой кнопок мыши (Free Screen To Video, FastStone Capture). Дополнительно к такому видеоряду в программах видеомонтажа добавляются субтитры.

Повышение эксплуатационных свойств высоколегированных жаропрочных сталей за счет модифицирующей обработки

Розум В.А., Бежок А.П., Задруцкий С.П.

Белорусский национальный технический университет

Жаропрочные хромо-никелевые стали аустенитного класса применяются для изготовления различных деталей, к которым предъявляются высокие требования по окислостойкости, прочности при высокой температуре и трещиностойкости при циклических сменах температур (лопатки турбин, радиационные трубы, поддоны печных агрегатов, муфеля, колосниковые решетки печей обжига для цементной промышленности и др.).

Улучшение структуры стали в литом состоянии, и повышение ее литейных свойств может быть достигнуто за счет дополнительной модифицирующей обработки редкоземельными и щелочноземельными металлами.

После модифицирования изменяется морфология неметаллических включений, поверхностное натяжение расплава, а также физические свойства жидкой стали, температура ликвидуса и интервал кристаллизации.

Это приводит к изменению структуры самого металла, а также оказывает влияние на формирование тех или иных дефектов.

В последнее время для рафинирующей обработки сталей начали применять барий-стронциевые карбонаты.

Проведенные исследования по влиянию этих присадок на структуру и свойства стали 35X18H24C2Л показали, что их при вводе в количестве 0,6% предел прочности повышается с 400 МПа до 680 МПа, удлинение увеличилось на 20% по сравнению с исходными образцами, а жидкотекучесть повысилась на 30%.

После обработки расплава карбонатами количество карбидных включений в литом состоянии по границам и объему зерен уменьшилось.

Модифицирование жидкого расплава стали карбонатами снижает температуру ликвидус и уменьшает интервал кристаллизации.

Все это уменьшает вероятность образования усадочных дефектов, повышает прочностные и эксплуатационные свойства отливок.

Испытания опытных образцов, проведенных на термических агрегатах, показали увеличение термостойкости опытных образцов на 15%.

Таким образом, можно считать, что модификаторы на основе карбонатов являются весьма перспективными для использования их в сталелитейном производстве.

Исследование взаимодействия компонентов алюмоматричной композиции на основе системы Al-Ti-SiC

Лущик П.Е., Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

В последнее десятилетие ведется активный поиск эффективных методов для повышения эксплуатационных свойств изделий из литейных алюминиевых сплавов. Одним из таких методов является армирование алюминиевой матрицы дисперсными наполнителями карбидов, оксидов, нитридов и другими неметаллическими материалами.

В настоящей работе исследовался процесс взаимодействия фазовых составляющих алюмоматричной композиции на основе системы Al-Ti-SiC.

В качестве базовой технологии получения литейной композиции выбран метод ввода частиц наполнителя в гетерофазном (жидко-твердом) состоянии с последующим синтезом новых упрочняющих фаз непосредственно в расплаве (реакционное литье, или in-situ процесс).

Для проведения исследований были выбраны следующие материалы: в качестве композиционного наполнителя использовался порошок карбида кремния (SiC) с размером частиц 10 – 150 мкм, в качестве матричной основы – алюминий и сплавы алюминия с титаном (до 1% масс.).

Химический состав полученных композиционных сплавов определяли с использованием метода микронзондового анализа (рентгенофлуоресцентной спектроскопии) на сканирующем электронном микроскопе. Металлографический анализ микроструктуры сплавов проводили на оптическом микроскопе при увеличении от 200 до 500 крат.

Путем расчета термодинамического равновесия реакций карбида кремния с алюминием, титаном и интерметаллидными фазами на их основе авторами работы установлено, что наиболее вероятным является протекание реакций с образованием упрочняющих фаз карбида титана TiC и силицида титана TiSi₂.

Рентгенофлуоресцентный анализ показал, что частицы карбида кремния взаимодействуют в расплаве алюминия с титаном с образованием на поверхности частиц карбидов тонких слоев TiC_x-TiSi₂ толщиной до 1-10 мкм. Такая оторочка позволяет расплаву алюминия смачивать частицы карбида кремния даже после последующих переплавов, не позволяя им отслаиваться от алюминиевой матрицы.

Исследования, проведенные в работе, позволили разработать технологические основы для получения новых литейных алюмоматричных композиционных материалов, с повышенными физико-механическими свойствами.

**Синтез литейных сплавов и лигатур системы Al-Si
из алюмоматричных композиций на основе
кремнезема, отходов алюминия и кремния**

Арабей А.В., Рафальский И.В., Андриц А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из важнейших задач литейного производства является разработка новых способов перспективных ресурсосберегающих технологий производства литейной продукции из недорогих материалов при минимальных финансовых вложениях.

Одними из важнейших алюминиевых сплавов, используемых в промышленности, являются силумины – сплавы алюминия с кремнием.

Широкое применение силуминов для производства литых изделий объясняется благоприятным сочетанием свойств: хорошей жидкотекучестью, достаточно высокими механическими свойствами, относительно низкой усадкой и склонностью к образованию трещин, высокой износостойкостью и жаропрочностью.

Традиционная технология получения силуминов включает сплавление чистого алюминия с кристаллическим кремнием и другими присадками.

С целью снижения себестоимости литейной продукции промышленные предприятия при получении отливок из силуминов широко используют в составе шихты более дешевое вторичное сырье, в том числе лом и отходы алюминия и его сплавов.

Авторами работы изучены технологические аспекты синтеза литейных сплавов и лигатур системы Al-Si из алюмоматричных композиций, полученных с использованием кремнезема, отходов алюминия и кремния.

Проведено исследование взаимодействия компонентов алюмоматричных композиций на основе системы Al-SiO₂, полученных с использованием гетерофазных технологий совмещения наполнителей и металлической матрицы.

В результате проведенной работы разработана технологическая схема синтеза литейных сплавов и лигатур системы Al-Si из алюмоматричных композиций, полученных с использованием кремнезема, отходов алюминия и кремния.

Разработанные технологические решения синтеза силуминов из литейных алюмоматричных композиций на основе лома и отходов алюминия, кремнезема и дисперсных отходов кремния обеспечивают возможность получения литейных сплавов и лигатур системы Al-Si с содержанием кремния до 25-26 %.

Автоматизированная система экспрессного контроля содержания кремния в сплавах системы Al-Si на основе данных термического анализа с использованием математических методов метрической классификации

Морозов Д.С., Рафальский И.В., Арабей А.В.
Белорусский национальный технический университет

В технологической цепи контроля качества литейной продукции важнейшим элементом является обеспечение контроля и управления составом и свойствами литейных сплавов, при этом исключительно важным является решение задачи формализованного описания и идентификации математических моделей, описывающих свойства сплавов в процессе плавки.

Термический анализ (ТА) является одним из основных методов получения данных о свойствах литейных сплавов.

В настоящее время ТА достаточно широко используется как средство контроля процессов выплавки и обработки сплавов, особенно на крупных производствах, которые используют автоматические заливочные линии, что требует постоянного и строгого контроля в режиме реального времени.

Необходимо отметить, что практическое применение ТА в задачах контроля состава и свойств литейных сплавов связано со сложностью формализованного описания и интерпретации кривых охлаждения.

Методы формализованного описания свойств сплавов с использованием данных ТА основаны на результатах математической обработки кривой охлаждения с выявлением на ней характерных точек, соответствующих протекающим фазовым превращениям, и построении математических моделей, описывающих состав и свойства сплавов.

Авторами проведен анализ проблемы формализованного описания экспериментальных температурно-временных зависимостей силуминов, полученных с использованием метода ТА, а также существующих математических методов классификации и принятия решений для обеспечения экспрессного контроля содержания кремния в сплавах системы Al-Si.

Сравнительный анализ полученных экспериментальных и расчетных данных показал, что использованный метод метрической классификации позволяет проводить идентификацию сплава системы Al-Si и принятие решения о его принадлежности к группе доэвтектических или заэвтектических сплавов в автоматизированном режиме с использованием аппаратно-программных средств обработки данных при наименьшем числе ошибок.

Влияние дисперсности на реакционную способность порошкообразного карбоната кальция

Слетова Н.В., Зыкович И.Л., Иванов А.Д.

Белорусский национальный технический университет

Для оценки реакционной способности систем с различной дисперсностью рассмотрены два моодисперсных порошка карбоната кальция, состоящих из сферических частиц с размерами r_1 и r_2 .

Суммарная площадь поверхности частиц с радиусом r_1 и r_2 , а также соответствующие поверхностные энергии, G^S составят:

$$S_1 = 3 \frac{V}{r_1}; G_1^S = \sigma S_1 = \frac{3\sigma V}{r_1}; \quad (1a)$$

$$S_2 = 3 \frac{V}{r_2}; G_2^S = \sigma S_2 = \frac{3\sigma V}{r_2}, \quad (16)$$

где S_1 и S_2 – площади поверхности частиц радиусом r_1 и r_2 в объеме V ; σ – удельная поверхностная энергия.

Для карбонатов с радиусом частиц r_1 и r_2 приближенно запишем:

$$\Delta G_1 = -RT \ln K_{p1} + RT \ln P_{CO}, \quad (2a)$$

$$\Delta G_2 = -RT \ln K_{p2} + RT \ln P_{CO}, \quad (26)$$

где K_{p1} и K_{p2} – константы равновесия диссоциации для порошков с радиусом частиц r_1 и r_2 , P_{CO} – давление CO в системе.

$$\text{Тогда: } \Delta G = -RT \ln \frac{K_{p1}}{K_{p2}} = -RT \frac{3M\sigma}{RTd} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (3)$$

Уравнение (3) подтверждает, что при уменьшении размеров частиц возрастает реакционная способность, или физико-химическая активность.

Таким образом, диспергирование карбонатной составляющей системы $\text{CaCO}_3\text{-Al-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CO}$ повлечет за собой увеличение реакционной способности или физико-химической активности карбоната кальция, что выразится в изменении кинетических характеристик реакции $\text{CaCO}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$.

Кинетика реакции взаимодействия карбоната кальция с расплавом алюминия

Слетова Н.В., Зыкович И.Л., Лущик Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

Проведенный термодинамический анализ в температурном диапазоне 933...1100 К при глубинах погружения CaCO_3 в расплав алюминия от 0 до 1 м однозначно свидетельствует о протекании реакции

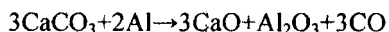


в сторону образования окиси углерода, что позволяет сделать предположение о принципиальной возможности использования карбоната кальция для проведения рафинирующей обработки расплавов на основе алюминия.

Изучение кинетических закономерностей указанной реакции в исследованном диапазоне температур и давлений проводилось на основе расчета мольных концентраций отдельных фаз системы с использованием программного комплекса HSC CHEMISTRY.

Расчет термодинамического равновесия, т.е. определение всех равновесных параметров, термодинамических свойств, химического и фазового состава, осуществлялся путем минимизации изобарно-изотермического потенциала и максимизации энтропии системы при учете всех потенциально возможных в равновесии индивидуальных веществ.

Проведенный анализ свидетельствует об интенсификации взаимодействия CaCO_3 с Al при определенных давлениях и температурах. Так, протекание реакции



при давлении 101,33 кПа, что соответствует взаимодействию карбоната с жидким алюминием на зеркале металла, интенсифицируется в температурном диапазоне 1033...1061 К, а при погружении навески CaCO_3 на глубину 1,0 м интенсификация реакции происходит в температурном диапазоне 1041...1069 К.

Учитывая температурную зависимость плотности жидкого алюминия соответствующие давления на глубине 1,0 м в расплаве при этом составят 124,37 кПа и 124,30 кПа для температур 1041 К и 1069 К соответственно.

Приведенные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными полученными при изучении интенсивности и времени протекания барботажа при обработке расплавов на основе алюминия карбонатом кальция.

Влияние температурно-временных параметров и флюсов на металлургический выход при переработке вторичного свинца

Чанов А.Б., Довнар Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Для получения высокого металлургического выхода при пирометаллургии вторичного свинца необходима оптимизация в первую очередь температурно-временных параметров, а также флюсового состава.

Повышение температуры приводит к ускорению процессов восстановления свинца и сопутствующих металлов из соединений, повышению степени отделения металла от шлака до определенных пределов, но также приводит и к ускорению разъедания футеровки за счет образования соединений свинца в виде сложных комплексов с веществами шлака и футеровки плавильного агрегата, увеличивается угар свинца, что негативно сказывается на окружающей среде и работниках предприятия.

Оптимизация времени процессов восстановительной плавки свинца позволяет не только экономить энергоносители, но и получать максимальный металлургический выход. Зависимость металлургического выхода от времени плавки следующая – сначала происходит плавный рост, затем спад. Спад объясняется угаром, уменьшением количества восстановителя и увеличением его зольного остатка в шлаке, изменении свойств отработавшего шлака и растворении в нем металла.

Для высокотемпературной металлургии (1100-1200⁰С) окисдно-сульфатного свинца применяется флюс, содержащий соду, известь, железную стружку, стекло, восстановителем служит коксовая мелочь определенного размера и железа. Рекомендуется вводить кокс в количестве не более 5%, так как повышается вязкость шлака, и возрастают потери свинца со шлаком. Сода и известь участвуют в процессе перевода свинца в более удобные для восстановления промежуточные соединения и со стеклом образуют жидкий шлак. При температурах до 1000⁰С шлак данного состава густой и захватывает металл. Поэтому целесообразно разрабатывать и применять для низкотемпературной восстановительной плавки другие флюсы.

Для анализа влияния температурно-временных параметров и флюсов на металлургический выход свинца сначала проводились эксперименты с пробами аккумуляторного шлака, отобранными методом усреднения и квартования, но результаты имели высокую погрешность. После отсева шлака на ситах были получены фракции с максимумами на 1мм и 0,16мм. Опыты с отдельными фракциями имели минимальную погрешность, максимальный металлургический выход был у фракции 0,63мм.

Перспективные направления в низкотемпературной металлургической переработке вторичного свинца

Довнар Г.В., Чанов А.Б.

Белорусский национальный технический университет

Основными источниками вторичного свинцового сырья являются кислотные аккумуляторы и оболочки электрических кабелей. Таким образом, на переработку свинец поступает как в виде металла, так и в виде соединений. Для металлического свинца применяют низкотемпературную переплавку в котлах, а для соединений свинца применяют гидро- и пирометаллургические процессы.

Аккумуляторный шлам из набивки и осыпавшейся части решеток кислотных аккумуляторов состоит из свинца и его соединений – оксидов и сульфата, также могут присутствовать в виде технологических добавок другие вещества. Для переработчиков свинцового аккумуляторного лома представляет сложность сульфат свинца, для восстановления которого требуются более высокие температуры, чем для оксидов. В связи с этим в последнее время разработаны технологии предварительной обработки аккумуляторного шлама для перевода сульфата свинца в другие более легко восстанавливаемые соединения с последующей низкотемпературной плавкой. Подобные технологические операции проводятся в водных растворах и носят название десульфатация.

Принцип процесса десульфатации основан на замене SO_4^{2-} -ионов сульфатов шлама на ионы десульфатора и превращение тем самым сульфатов шлама в оксиды или карбонаты в зависимости от применяемого десульфатора. Вода является обязательным компонентом, так как в воде шлам и десульфатор образуют активную суспензию, а также вода участвует в реакциях десульфатации.

В промышленности применяются технологии десульфатации известью и содой, однако возможно применение и других десульфатирующих веществ, таких например как гидроксид натрия или алюминий.

Десульфаторы имеют достоинства и недостатки, например десульфатация известью протекает быстрее и с выделением большего количества тепла, чем содой, но сульфат ион остается в свинцовой массе в виде сульфата кальция, что увеличивает массу и объем шихты, требует применения разжижающего флюса.

Проблемами низкотемпературной металлургической переработки вторичного свинца являются оптимизация состава флюсов и количества восстановителей, температурно-временных параметров, снижение пыле- и газообразования.

**Разделяющая способность материалов,
используемых в составах смазок для литья алюминиевых
сплавов под давлением**

Пивоварчик А.А., Михальцов А.М.
Белорусский национальный технический университет

Известно, что при выборе нужного для приготовления смазки материала в первую очередь необходимо обращать внимание на обеспечение легкого удаления отливки из полости пресс-формы.

Свободное удаление отливки происходит в том случае, если на поверхности технологической оснастки после нанесения смазки формируется сплошной тонкий слой разделительного покрытия.

Характер формирования данного слоя зависит от многих факторов, таких как: физико-химических свойств материала, конструктивных параметров систем распыления смазки и режимов ее работы, макро- и микрогеометрии поверхности пресс-формы, ее температуры.

В связи с этим систематизированный выбор основного компонента смазки представляется весьма сложной задачей.

Одним из примеров направленного поиска компонента смазки является исследование разделяющей способности выбранных материалов.

Под разделяющей способностью понимают способность материала препятствовать плотному контакту между пресс-формой и расплавом.

Изучение разделяющей способности перспективных с точки зрения литья под давлением материалов проводилось по специально разработанной методике.

Исследование прошли следующие материалы:

кремнийорганические материалы – ПМС100 – ПМС300 (ГОСТ 13032–77),

побочные продукты переработки растительных масел и жиров «Минского маргаринового завода» – соапсток, нейтральный жир, фус, жирные кислоты (ТУ Республики Беларусь 190239501.034–2002).

нефтепродукты – индустриальное масло И-20А – И-50А (ГОСТ 20799–88), гидрофобизатор ГФК-1 (ГОСТ 16508–70).

Анализ полученных результатов показал, что наилучшей разделяющей способностью обладают высокомолекулярные кремнийорганические соединения, промежуточные результаты получены при использовании продуктов переработки растительных масел и животных жиров, худший результат показали материалы на основе нефтепродуктов.

Внепечная металлургия молибденосодержащих лигатур

Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Сметкин В.А., Шульга А.В., Кривопуст А.А.
Белорусский национальный технический университет

В промышленных условиях металлы и лигатуры получают с использованием восстановительных процессов. В качестве восстановителей используются газы и твёрдые вещества, такие как углерод либо металлы.

Произвели термодинамические расчёты равновесного состава газовой фазы косвенного восстановления молибдена.

Установлено, что данный элемент относится к группе трудновосстановимых оксидов, так как для этого требуется практически 100% газа CO. Полученные данные хорошо согласуются с результатами расчётов температуры начала восстановления молибдена твёрдым углеродом, которая составляет 1800 К.

Поэтому одним из методов получения молибденосодержащих лигатур является металлотермическое восстановление.

Процесс сопровождается выделением значительного количества тепла, за счёт которого обеспечивается формирование получаемого слитка.

Расчёты показали, что термичность восстановительной смеси на основе оксида молибдена и алюминия достаточно высокая и составляет 4700 Дж/г. Это означает, что данный процесс не требует внешнего подогрева компонентов смеси.

Для изучения особенностей получения лигатуры данным методом алюминотермии первоначально были подобраны составы восстановительных смесей.

Экспериментально установлено, что для различных вариантов восстановительной плавки металлургический выход по лигатуре колеблется от 57 до 95%.

Исследования показали, что характер протекания восстановительных процессов в зависимости от состава смеси различный. Там, где восстановительная реакция протекала очень активно с выбросами продуктов за пределы тигля, металлургический выход по лигатуре был невысокий. При этом в большинстве опытов в составе шлака обнаружены корольки сплава.

На следующем этапе исследовали процесс получения молибденосодержащей лигатуры с использованием в составе восстановительной смеси промышленных компонентов и отходов.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований показана реальная возможность получения молибденосодержащей лигатуры методом внепечной металлургии.

**Порошковая металлургия,
сварка и технология
материалов**

Металлургическая переработка серебросодержащей золы

Панасюгин А.С., Слущкий А.Г., Шейнерт В.А., Кривопуст А.А.
Белорусский национальный технический университет

В последние годы всё больше внимания уделяется безотходной технологии, экономии природных ресурсов и снижению затрат на различные виды работ.

Особенно остро стоит вопрос о сборе серебросодержащих отходов от фотопредприятий и фотокинолюбителей, а также о регенерации серебра из собранных отходов.

Для восстановления серебра из золы фотоматериалов понадобится муфельная печь и термостойкие тигли, способные выдержать тысячеградусную температуру.

Зола тщательно перемешивается с содой и битым стеклом в следующих соотношениях: 30% золы, 65% двууглекислого натрия и 5% битого стекла. Составленная таким образом шихта спекается при температуре 1200 °С. Расплав выливают в чугунную изложницу, смазанную порошком окиси железа и после его застывания на дне окажется слиток чистого серебра.

Разработана методика проведения комплексных исследований по извлечению серебра из золы от сжигания кино- и фотоматериалов, включающая:

измельчение исходного материала в шаровой мельнице до фракции размером 0,1 мм;

отсев имеющихся королек серебра на сите с размером ячейки 0,1 мм;

— подготовка шихты для обезуглераживающей обработки золы по следующим вариантам:

а) использование газовой аппаратуры для подачи углекислого газа в зону реакции;

б) использование твёрдого порошкообразного окислителя углерода (на пример оксиды железа);

в) проведение высокотемпературного процесса обезуглераживания золы в специальной реторте;

г) магнитная сепарация, полученного огарка от балластных примесей;

д) плавка, полученного концентрата, и получение слитка серебра;

е) отделение слитка от шлака с последующим выщелачиванием шлаковых остатков с целью максимального извлечения серебра.

**К вопросу о возможности эффективного управления структурой
и механическими свойствами тяжелоагруженных
сварных соединений карьерных самосвалов**

Снарский А.С., Жемойта А.В.

Белорусский национальный технический университет

В связи с высокими темпами развития предприятия БелАЗ повышаются требования к качеству сварных конструкций. Вместе с этим осуществляется внедрение новых современных и прогрессивных технологий в области сварки узлов карьерных самосвалов. Целью начатой научно-исследовательской работы является повышение качества и надёжности сварных конструкций при создании и эксплуатации карьерных самосвалов.

На данном этапе работ проводится анализ существующих методов сварки выпускаемых БелАЗом самосвалов, а так же анализ существующих на предприятии методов их контроля.

В процессе исследования технологических процессов сварки проводится анализ особенностей существующих процессов и анализ факторов, влияющих на качество, механические свойства и надёжность сварных соединений. Наиболее ключевым этапом исследования технологических процессов сварки является поиск методов управления качеством и структурой сварных соединений с позиции максимальной эффективности и возможности их практической реализации в реальных производственных условиях БелАЗа.

Планируемые экспериментальные исследования будут проводиться с использованием методов неразрушающего контроля, с позиции возможности определения механических свойств сварных соединений и выявления их структуры. Так, например, хорошо себя зарекомендовали при работе с разными ответственными конструкциями: магнитный метод контроля напряженного состояния металла (по коэрцитивной силе); метод полевой металлографии и дюрометрический метод (оценка механических свойств металла по параметрам отпечатки после определения твердости по Виккерсу).

Наиболее важным этапом в проводимой работе (по нашему мнению) является внедрение и практическое применение результатов исследований (разрабатываемых технологий сварки и контроля, а также управляющих мероприятий) на практике в условиях реального производства.

В результате проводимой работы планируется определить комплекс технологических мероприятий, гарантировано повышающих надежность тяжелоагруженных сварных соединений карьерных самосвалов.

Правильный выбор и подготовка сварочных материалов – основа эффективного производства сварочных работ

Жизнякав С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Сварочные материалы (покрытые металлические электроды, защитные газы, проволоки сплошного сечения и порошковая проволока, флюсы, наплавляющиеся электроды) непосредственно участвуют в процессе сварки, выполняя технологические и металлургические функции, обеспечивающие возможность как стабильного протекания самого процесса сварки, так и получение качественных сварных соединений с требуемыми служебными характеристиками. Разработка практически любого технологического процесса сварки заданной конструкции начинается с рационального выбора сварочных материалов в зависимости от способа сварки, марки основного металла, конструктивных особенностей сварных соединений и предъявляемых к ним требований, условий производства сварочных работ.

Экономия на сварочных материалах недопустима, затраты на них составляют всего 1,0-1,5% от всей стоимости сварной конструкции и они с лихвой окупаются увеличением производительности, снижением уровня брака, повышением надежности и улучшением товарного вида конструкции, которая становится более конкурентоспособной.

При выборе сварочных материалов следует обращать внимание на их качество. Необходимо ориентироваться не только на тип и марку, но и на репутацию предприятия-изготовителя, а также проводить жесткий приемочный контроль. Сварочные материалы одних и тех же марок, но изготовленные на разных предприятиях, могут кардинально отличаться по сварочно-технологическим свойствам.

Выбрав сварочный материал необходимо во многих случаях осуществлять его подготовку к сварке и обеспечить надлежащие условия хранения на рабочем месте. Особенно это относится к покрытым металлическим электродам, которые перед сваркой в обязательном порядке должны проходить операцию прокалки при температуре 100 – 400 °С (в зависимости от марки электрода и его назначения). К сожалению, даже эта простейшая по исполнению операция далеко не всегда выполняется, и сварочные работы производятся с использованием «полуфабрикатов».

Требования к сварочным материалам и к их грамотному применению постоянно возрастают, что обусловлено все возрастающей сложностью сварных конструкций и необходимостью улучшения качества и производительности сварочных работ.

Возможности неразрушающего контроля при аттестации технологий изготовления и ремонта металлоконструкций теплоэнергетического оборудования

Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

На данном этапе работ были проанализированы возможности и эффективность применения магнитного (коэрцитиметрического) метода контроля на стадии разработки или уточнения технологии сварки различных металлоконструкций теплоэнергетического назначения и, в первую очередь, трупобпроводов.

Экспериментальные работы проводилась на контрольных сварных соединениях при аттестации технологии их сварки: «труба-труба», «пластина-пластина», «труба-фланец» («патрубок-корпус»), в том числе при изменении режимов сварки, а также способов сварки. В качестве прибора магнитного контроля (по коэрцитивной силе) использовали магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М (производство НПФ «Специальные научные разработки» г. Харьков, Украина).

Проведенные исследования показывают дополнительные возможности использования магнитного метода контроля (по коэрцитивной силе) сварных соединений конструкций теплоэнергетики, как при их изготовлении, так и при ремонте с использованием сварки:

- подбор наилучших режимов конкретного выбранного способа сварки (чем меньше значения коэрцитивной силы по сварным соединениям – тем ниже уровень сварочных напряжений и ниже вероятность трещинообразования и разрушения);

- подбор технологии и способов наложения швов (наличие прихваток, их количество; поворотные стыки, неповоротные; наличие замков сварных соединений, их расположение и т.п.);

- указанным контролем можно также предварительно определять места в сварных соединениях с максимальным уровнем напряжений и их контролировать на всем протяжении эксплуатации или же сразу проводить отбраковку, если значения коэрцитивной силы превышают допустимый уровень.

Проведенные работы по анализу магнитного метода контроля (по коэрцитивной силе) показывают хорошие перспективы использования данного метода как при разработке и аттестации технологии изготовления и ремонта, так и в разрабатываемой методике контроля и мониторинга состояния ответственных металлических конструкций теплоэнергетического назначения.

Адаптация норм и правил в области сварки и контроля качества на объектах атомной энергетики к требованиям международных стандартов серии СТБ ISO 3834

Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А.

Белорусский национальный технический университет

Действующими правилами в области атомной энергетики по сварке и контролю качества [1-3] регламентирован ряд специальных требований к указанным процессам. Данные требования входят в общую систему обеспечения качества на всех этапах жизненного цикла электростанции, являющейся основным критерием безопасной и надежной эксплуатации АЭС.

Учитывая практический опыт, следует считать актуальным адаптацию данных правил, действующих с времен СССР, к перспективным нормам в области организации системы качества сварочного производства, в частности, международным стандартам серии СТБ ISO 3834, применительно к строительно-монтажным работам на Белорусской АЭС.

Внедрение СТБ ISO 3834 возможно в рамках разработки Программы обеспечения качества для атомных станций, в частности, ПОКАС (С) - программы обеспечения качества при выполнении строительно-монтажных работ.

Таким образом, на данном этапе, для создания комплексной системы качества сварочных производств на базе СТБ ISO 3834, применительно к объектам атомной энергетики, необходима разработка:

требований, гармонизированных с соответствующими международными стандартами по аттестации сварщиков и руководителей сварочных работ, квалификации технологии сварки;

мероприятий по адаптации профессиональных навыков персонала неразрушающего контроля и испытаний к особенностям объектов атомной энергетики, технической базы и требований к компетентности дефектоскопических лабораторий предприятий при их аккредитации.

Литература

1. ПНАЭ Г-7-008-89 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
2. ПНАЭГ-7-009-89 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения.
3. ПНАЭ Г-10-32-92 Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля. Основные положения.

Оценка деформаций и короблений при изготовлении систем вентиляции с применением сварочных процессов

Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А., Гусев С.В.

Белорусский национальный технический университет

Применение дуговых сварочных процессов для изготовления и монтажа тонколистовых вентиляционных систем на практике затруднено по технологическим особенностям сварки, прожогам и невозможностью формирования сварных швов оптимального качества, разрушением защитного цинкового покрытия, а также сложностью в обеспечении установленных ТНПА требований по величине короблений и деформациям.

Таким образом, актуальным является оценка деформаций элементов вентсистем при сварке, что может быть реализовано проведением экспресс – расчетов на базе специальных компьютерных приложений, например, Weld Planner (рисунок 1а) и практическими исследованиями на базе специализированного лабораторного сварочного стенда (рисунок 1б).

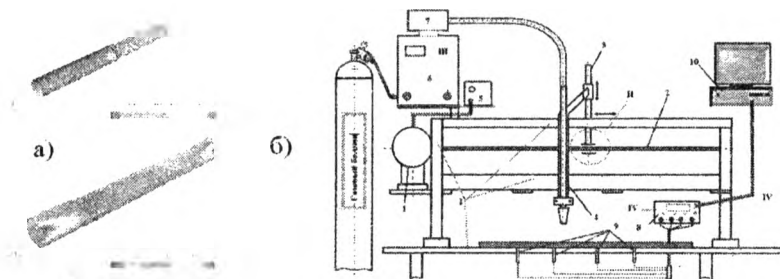


Рисунок – Оценка напряжений и деформаций при сварке вентсистем:
 а) деформации при сварке кольцевых и продольных швов; б) лабораторная установка для исследований процессов сварки вентсистем

Приложение позволяет моделировать напряжения и деформации при сварке с различными тепловложениями кольцевых и продольных сварных соединений с конструктивными особенностями (стыковые, нахлесточные, зигованные), узлами закрепления, порядком выполнения швов и т.п.

Примененный в лабораторном стенде измерительный блок предназначен для получения термограмм (изменения температуры объекта во времени) параллельно в четырёх точках (каналах) в зоне термического влияния при выполнении сварки различными способами и, соответственно, для оценки и измерений сварочных деформаций.

Исследование разрушения сварных соединений из стали 40ХН

Комаровский В.Л.¹, Каледина Н.Б., Голубцова Е.С.¹Белорусский национальный технический университет¹

Белорусский государственный технологический университет

При исследовании замедленного разрушения сварных соединений из стали 40ХН изучалось влияние двух факторов на величину разрушающего напряжения $\sigma_{раз}$: x_1 - метод испытаний ($x_1 = -1$, один слой с концентратором; $x_1 = 0$, два слоя с концентратором; $x_1 = +1$, два слоя без концентратора) и x_2 - время до разрушения (0, 60, 120, 180 мин). Строили матрицу плана 3×4 :

№	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2	$y = \sigma_{раз}$
1	-	-	+	+	+	500
2	-	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	+	$\frac{1}{9}$	221
3	-	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	+	$\frac{1}{9}$	186
4	-	+	-	+	+	169
5	0	-	0	0	+	500
6	0	$-\frac{1}{3}$	0	0	$\frac{1}{9}$	350
7	0	$+\frac{1}{3}$	0	0	$\frac{1}{9}$	324
8	0	+	0	0	+	300
9	+	-	-	+	+	620
10	+	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	+	$\frac{1}{9}$	341
11	+	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	+	$\frac{1}{9}$	307
12	+	+	+	+	+	300
Σ	492	-882.7	11,33	2644	2581	4118
	(1Y)	(2Y)	(11Y)	(12Y)	(22Y)	0Y

Коэффициенты уравнения определяли по формулам: $b_0 = A_0(0Y) - A_{01}(11Y) - A_{02}(22Y)$, $b_1 = A_1(1Y)$; $b_2 = A_2(2Y)$; $b_{12} = A_{12}(12Y)$, $b_{11} = A_{11}(11Y) - A_{01}(0Y)$; $b_{22} = A_{22}(22Y) - A_{01}(0Y)$. В результате получили адекватную модель: $y = \sigma_{раз} = 62x_1 - 132x_2 - 38x_1^2 + 124x_2^2$. Установлено, что наибольшее влияние на $\sigma_{раз}$ оказывает x_2 (время), влияние x_1 меньше. $y_{max} = \sigma_{раз} = 530$ (при $y_3 = 620$) будет при $x_1 = +1$ и $x_2 = -1$.

Модификация порошков на основе отходов твердых сплавов

Горанский Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

В работе доказана возможность повышения уровня свойств изготовленных из отходов твердосплавных композиций путем введения модифицирующих добавок.

Создание порошков осуществлено методом механосинтеза и последующего диспергирования в атриторе. В качестве компонентов использованы: порошок твердого сплава, изготовленный диспергированием в атриторе отходов (стружка) металлургического производства РУП БМЗ; синтезированный в атриторе порошковый сплав на основе железа системы Fe-Ni-Cr-B-Si-Co-Mo с аморфными и наноразмерными фазовыми включениями (авторское обозначение ВГ). Введение модифицирующей добавки осуществлено с целью повышения формуемости композиции, снижения термобарических параметров ее компактирования, повышения свойств. Содержание ВГ варьировалось от 2 до 15 вес. %.

Совместный сухой помол сопровождался измельчением частиц добавки ВГ до 2-5 мкм и плакированием ими поверхности конгломератов частиц твердого сплава (средний размер последних при этом практически не менялся). Степень плакирования зависела от количества добавки и составляла в пределе до 38% поверхности конгломератов. Толщина слоя -- 2-4 мкм. Разделения частиц со временем не происходило. Содержание аморфной фазы в композиции достигало 2,2-13,6%, содержание наноструктурированных (40-80 нм) интерметаллидных соединений -- до 2,1-12,3%.

Установлено снижение температуры спекания порошковой композиции по мере увеличения в ее составе добавки ВГ (таблица 1), что обусловлено интенсивным экзотермическим процессом перекристаллизации ее аморфной составляющей. Достигнут высокий уровень механических свойств композиции после спекания (таблица 1).

Таблица 1 Температура спекания и механические свойства композиционного материала WC-Co + добавка ВГ

% добавки ВГ	$T_{сп}$, К	HRA	$\sigma_{изг}$, МПа	$\sigma_{сж}$, МПа	a_k , кДж/м ²
-	1635	86	1312	4286	23,9
2	1595	81	1281	4272	25,4
6	1530	82	1340	4254	26,1
10	1460	85	1396	4235	26,9
15	1415	85	1463	4212	28,2

Возможности программы “SYSWELD” для решения прикладных задач в сварочном производстве

Галаев К.О.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время усилилась роль компьютера и компьютерных технологических расчетов в инженерии. Одна из таких программ – “SYSWELD”. Применяя методы компьютерного моделирования с помощью программы “SYSWELD” можно произвести исследование напряженного состояния в сварном соединении, просмотреть структуру металла после термической обработки, определить механические свойства металла шва. Данная программа использовалась при монтаже днища и стенок резервуара с алюминиевым понтоном объемом 20 000 м³ для сырой нефти и газового конденсата на заводе ООО “ПО КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ” в городе Кириши, Ленинградской области, Российской Федерации. Преимущество метода компьютерного проектирования заключается в том, что с помощью него возможен анализ наиболее напряженных швов в резервуаре исходя из типа конструкции, ее загрузки и входящих материалов.

Зачастую пневмо- и гидроиспытания отвечают лишь на один поставленный вопрос: “выдержит ли конструкция при данной нагрузке, в данный момент”, однако при этом не затрагиваются вопросы продолжительности работы (срок эксплуатации) резервуара, его коррозионной стойкости. В рассматриваемом варианте резервуара существуют швы, соединяющие разнородные стали, это применено конструктивно для увеличения прочности резервуара, его технических и экономических показателей. Структура наплавленного металла, в разнородных сталях достаточно сложна и задомо точно не может быть определена, т.к. в процессе сварки происходит перемешивание двух основных металлов друг с другом и со сварочным материалом, образуя третью структуру, вполне возможно отличающуюся от основного металла.

С помощью вышеупомянутой программы можно подобрать оптимальный вариант нагрузки, марку основного и сварочного материала, наиболее подходящего при данных условиях, оптимальный химический состав и структуру наплавленного металла, для большей работоспособности резервуара. Программа позволяет в первом приближении определить структуру металла после кристаллизации, дает возможность инженеру управлять сварочными процессами и на выходе получать нужные характеристики основного металла и металла шва. Это обстоятельство в сфере сварочных технологий делает данную программу незаменимой.

Конечно-элементное (КЭ) моделирование процессов модифицирования поверхности с использованием высокоэнергетических источников

Поболь А.И., Горанский Г.Г.

Белорусский национальный технический университет

С ростом производительности персональных ЭВМ современные пакеты КЭ анализа становятся более доступными для решения инженерных задач. Их применение особенно актуально при необходимости снижения трудовых и материальных затрат на проведение анализа и выбора режимов воздействия для получения заданных свойств материалов.

Одним из высокоэнергетических источников является электронный луч (ЭЛ) - поток эмитированных катодом электронов. Электроны ускоряются в вакууме в высоковольтном электрическом поле между катодом и анодом, а затем формируются в аксиально-симметричный пучок, как правило, узкий (диаметром 0,01-1 мм). При электронной бомбардировке мишени с плоской поверхностью и перпендикулярно к ней эффективный КПД нагрева пучком электронов составляет 80 - 95%.

Облучаемая деталь, находясь в вакууме, практически адиабатически изолирована, т.к. не подвержена конвекционному теплообмену с окружающей средой, а влиянием возможного отвода тепла в оснастку за счет теплопроводности и тепловым излучением по причине быстрого протекания процессов можно пренебречь. Другими словами, изменение термодинамического состояния системы будет происходить путем выравнивания градиента температур между нагретой облучаемой поверхностью и холодной сердцевиной и определяться наряду с параметрами ЭЛ теплофизическими свойствами материала (плотность, теплоемкость, теплопроводность).

Таким образом, для моделирования процесса теплового ЭЛ воздействия необходим нестационарный нелинейный тепловой КЭ анализ.

Электронно-лучевое модифицирование (ЭЛМ) поверхностей осуществляется в двух основных режимах: без и с оплавлением. Выбор режима зависит от требуемых уровня свойств модифицированного слоя материала и его глубины.

В работе показано, что при ЭЛМ поверхности без оплавления источник тепла можно представить как равномерный тепловой поток к поверхности, плотность мощности которого определяется площадью облучения и эффективной мощностью ЭЛ. При моделировании ЭЛМ поверхности с оплавлением ЭЛ следует рассматривать как источник тепла в модели Голдака (J. Goldak, 1984).

Влияние состава шихты системы Cu-Cr на морфологию, фазовый состав, структуру и свойства механически легированных композиций

Ловшенко Ф.Г.

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Ловшенко Г.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Изучено влияние состава порошковой шихты системы Cu-Cr с высоким содержанием второго компонента на морфологию гранулированных композиций их фазовый состав и твердость, перспективных в качестве лигатуры для получения литых хромовых бронз.

В качестве исходных компонентов для получения материалов применялись стандартный порошок меди ПМС-1 (ГОСТ 4960-86) в состоянии поставки с размером частиц 63-45 мкм и порошок технически чистого Cr с размером частиц менее 45 мкм.

Гранулят получали по оптимальным режимам механического легирования, установленным ранее проведенными исследованиями.

Увеличение концентрации Cr с 5 до 10 % не оказывает существенного влияния на средний размер гранул, и он составляет примерно 400 мкм. Повышение концентрации Cr до 15 % приводит к существенному уменьшению среднего размера гранул до 100 мкм. Дальнейшее повышение содержания Cr до 20 % вызывает интенсификацию процесса налипания.

Гранулы композиции, содержащей 5 % Cr, имеют равноосную форму и представляют собой единое образование. По мере увеличения содержания легирующего элемента с 5 до 20 % гранулы становятся более сложными образованиями и представляют собой композиционные частицы, состоящие из нескольких более мелких гранул. Композиции независимо от состава характеризуются равномерным распределением элементов. Размер зерен основы не превышает 5 мкм. Зерна, в свою очередь, разделены на блоки размером десятые доли микрометра. В структуре гранул выявляются вытянутые включения Cr и эвтектики $\alpha + Cr$, дисперсность которых увеличивается по мере повышения концентрации легирующего компонента.

Фазовый состав гранул представляет собой твердый раствор Cu(Cr) с концентрацией второго компонента, близкой к предельной растворимости хрома в меди, с дисперсными включениями эвтектики $\alpha + Cr$ и хрома.

Увеличение количества легирующей добавки (Cr) с 5 до 20 % приводит к возрастанию твердости гранул со 156 до 201 НВ. Увеличение твердости композиции и обуславливает измельчение структурных составляющих гранул.

Разработка технологических процессов спекания сферических порошков нержавеющей стали с использованием нанопокровтий

Ковалевский В.Н., Григорьев С.В., Керженцева Л.Ф., Ковалевская А.В.
Белорусский национальный технический университет

Сферические порошки коррозионностойкой стали 12X18H10T имеют гладкую поверхность и перспективны для изготовления пористых порошковых материалов (ППМ) с высокими свойствами. Формование и спекание таких порошков требует активирования поверхности частиц. Обладая удельной поверхностью от 82 до 19 тысяч $\text{м}^2/\text{м}^3$ для широкого фракционного состава, они имеют достаточно низкие технологические свойства, характерные для высоколегированных сталей, в частности, связанные с гетеродиффузией и невозможностью спекания порошка в условиях свободной насыпки.

Для решения проблемы получения фильтров, предлагается проводить активирование поверхности порошков путем обработки их плазмой тлеющего разряда с последующим нанесением магнетронным распылением охлаждаемых катодов конденсата толщиной свыше 300нм. Конденсат состоял из компонентов, совместимых с основой. В слоистом покрытии конденсат содержал совместимый с Fe кремний и углерод или кремний и молибден, присутствующие в конденсате в виде смеси кремния с графитом или молибденом, экзотермическая реакция между которыми протекает на последнем этапе – спекании и приводит к образованию тугоплавких соединений SiC или MoSi₂. Введение активирующей спекание добавки алюминия способствует снижению температуры спекания. Нанесение конденсата проводили с использованием MPC (магнетронной распылительной системы), в которой замена постоянных магнитов на индукционную катушку с арочной формой магнитного поля с магнитной индукцией до 0,1Тл и саморегулированием мощности индукции, что позволило одновременно распылять полупроводниковый Si и графит, Mo и графит. Использование плазмы тлеющего разряда при выключенной магнитной системе для активирования поверхности порошка проходило с удалением адсорбированных газов и оксидных пленок. В процессе формирования фильтров из сферических порошков стали 12X18H10T прикладываемое давление не превышало предела текучести стали ($\sigma_s = 200$ МПа). Формование изделия проводили в металлической пресс – форме. Реакционное спекание в покрытии и активированной спекание между частицами осуществляли в вакууме, что позволяло получать ППМ для фильтров с высокими свойствами поровой и каркасной структуры.

Кольматация высокодисперсных частиц в высокопористых материалах при воздействии электрического поляТумилович М.В.¹, Пилинович Л.П.²Белорусский национальный технический университет, ²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

В настоящее время для повышения производительности и эффективности кольматации высокодисперсных частиц широко применяются электретные фильтры, а также все большее распространение получают электростатические фильтры различных типов, в том числе поляризационные, с использованием полимерных волоконных материалов и высокопористых ячеистых материалов, помещенных в электростатическое поле. В этих фильтрах доминирующим механизмом улавливания частиц является осаждение частиц на волокнах фильтров за счет электрических сил. И если при фильтрации незаряженных высокодисперсных частиц зависимости эффективности улавливания частиц от скорости потока и диаметра волокон или размера ячейки фильтра такие же, как и для обычных фильтрующих материалов, то в случае фильтрации заряженных частиц при их относительно высокой степени зарядки проявляется эффект роста эффективности улавливания.

В электрофильтрах кольматация высокодисперсных частиц из газопылевых потоков происходит под действием электрических сил. В процессе ионизации молекул газов электрическим разрядом происходит заряд содержащихся в них частиц (коронирующий электрод). Ионы адсорбируются на поверхности высокодисперсных пылинок, а затем под действием электрического поля перемещаются и осаждаются на осадительных электродах. Зарядка частиц в поле коронного разряда происходит по двум механизмам: под воздействием электрического поля (частицы бомбардируются ионами, движущимися в направлении силовых линий поля) и диффузией ионов. Установлено, что первый механизм преобладает при размерах частиц более 0,5 мкм, второй – менее 0,2 мкм. Для частиц диаметром 0,2–0,5 мкм эффективны оба механизма. Максимальная величина заряда частиц размером более 0,5 мкм пропорциональна квадрату диаметра частиц, а частиц размером менее 0,2 мкм – диаметру частицы. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что использование электрического поля позволяет весьма существенно повысить эффективность кольматации высокодисперсных частиц с размером частиц менее 0,5 мкм, особенно в случае фильтрации заряженных частиц через заряженные волокна фильтра.

Механизмы спекания двухфазных композиционных материалов на основе нержавеющей стали, плакированной материалами на основе кремния

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Жук А.Е.
Белорусский национальный технический университет

Применение сферического порошка коррозионностойкой стали при изготовлении фильтров возможно при спекании в условиях упругой подпрессовки или при использовании легкоплавкой добавки, удаляемой до или в процессе спекания. Использовали шихту из активированных порошков различных размеров с нанопокрытием. Активирование поверхности порошков проводили путем обработки их плазмой тлеющего разряда с последующим нанесением магнетронным распылением охлаждаемых катодов конденсата толщиной свыше 300нм. Конденсат состоял из компонентов, совместимых с основой. Формование изделия проводили в металлической пресс – форме. Реакционное в покрытии и активированной спекание между частицами осуществляли в вакууме, что позволяло получать ППМ для фильтров с поровой и каркасной структурами. При малой длительности (десятки секунд) процесса распыляемые элементы осаждаются в аморфном, а с увеличением времени распыления в кристаллическом состоянии в виде смеси (Si+C) или (Mo+Si). Состав осаждаемого конденсата изменяется после обработки тонкого слоя плазмой тлеющего разряда на аморфный карбид кремния или дисилицид молибдена. При длительности распыления кремния и молибдена до 2ч.40мин. на поверхности частицы осаждаются конденсат с формированием аморфно – кристаллической структурой, образуются поверхности покрытий с рельефом кластерных структур.

Реакционное спекание протекает по экзотермической реакции с образованием SiC или MoSi₂. Диффузионные процессы Si и Fe протекают на контакте частицы и конденсата, как одновременно с реакционным спеканием, так и при более высокой температуре с образованием Fe₃Si. При нагреве в интервале 750 – 1000 °C усадка протекает интенсивно, при температуре 940°C образуется MoSi₂. Установлен интервал температур (1000 – 1150°C), при котором происходит спекание порошков с покрытием с формированием Fe₃Si. Проводили формование и ступенчатое спекание с изотермическими выдержками в течение 1ч. при 850°C для экзотермической реакции с образованием α – SiC и при 940 °C с образованием MoSi₂ и спекание активированных частиц через прослойку Si с образованием фазы (Fe₃Si) при температуре 1150 °C.

Исследование влияния дисперсности исходных порошков и давления прессования на плотность керамических образцов на основе нитрида кремния после прессования

Голубцова Е.С., Каледина Н.Б.¹

Белорусский национальный технический университет¹
Белорусский государственный технологический университет

Получение однофазных плотных керамических материалов на основе нитрида кремния представляет большие трудности, поскольку это соединение для прохождения процесса спекания требует различных методов активации и, в первую очередь, - введения оксидных активаторов. Кроме того, на плотность конечного продукта, как известно из многочисленных работ, оказывает влияние также дисперсность исходных порошков.

Целью настоящей работы является исследование влияния количества дисперсного порошка Si_3N_4 , давления прессования на плотность керамических образцов на основе нитрида кремния после прессования. Использовались микронные плазмохимические порошки Si_3N_4 с добавками ультрадисперсного порошка (УДП) Si_3N_4 в количествах 0, 10, 20, 40, 60 и 85%. В качестве активирующих добавок использовались $5Al_2O_3 \cdot 3Y_2O_3$,%. Давление прессования составляло 25, 50, 75 и 100 МПа. Обработка полученных результатов проводилась по методике двухфакторного эксперимента, где x_1 - давление прессования, x_2 - содержание УДП Si_3N_4 . Расчетами определено, что при ошибке опытов $S_3=0,0167$ (1% от среднего значения плотности, что маловероятно) выявляется влияние на плотность- y_1 - содержание УДП Si_3N_4 :

$$y_1 = 1,647 + 0,095x_1 + 0,043x_2.$$

Данное уравнение справедливо для давления прессования 25, 75 МПа и содержания УДП Si_3N_4 0, 5, 20%. При тех же давлениях прессования и содержании УДП Si_3N_4 40, 60 и 85% УДП Si_3N_4 уравнение зависимости плотности имеет вид:

$$y_1 = 1,839 + 0,08x_1 + 0,041x_2 - 0,074x_2^2,$$

при $S_3=0,018$ (1% от среднего значения плотности). Анализ уравнений показывает, что на плотность прессованных образцов наибольшее влияние оказывает давление прессования (x_1), влияние количества УДП Si_3N_4 невелико.

Особенность сверхглубокого проникания микрочастиц в преграды

Ушеренко С.М., Ушеренко Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Особенностью известного эффекта сверхглубокого проникания (СГП) является проникание на глубины в сотни – десятки тысяч размеров ударника. В условиях открытого космоса частицы космической пыли прошивают твердые тела (преграды) с толщинами десятки – сотни миллиметров. В классических моделях удара глубина проникания вне зависимости от размера и материала ударника не превышает 6 калибров.

В основном представлены два варианта объяснений: уменьшение затрат энергии на преобразование кинетической энергии ударника в энергию проникания пылевых частиц в твердом теле (повышение коэффициента полезного действия) и появление дополнительного источника энергии.

Процесс СГП является высокоэнергетическим. В частности, металлическая преграда становится источником излучения потоков высокоэнергетических ионов. Энергия такого иона достигает ≈ 100 МэВ.

В результате исследований специальных режимов сверхглубокого проникания в канальных зонах удалось обнаружить новые химические элементы. Эти элементы отсутствовали во вводимом и матричном материалах. Были получены долгоживущие изотопы железа (Fe^{55}), концентрация которых в упрочняющем волокне достигала 45%. Прочность таких волокон достигала 7-11 ГПа.

Процесс генерации дополнительной энергии при СГП является многократным, автотоннельным и не сопровождается разрушением обрабатываемого материала. В канальных зонах высокопрочного стекла зафиксирован эффект пульсации каналов и его облучения с изменением цвета.

В таких условиях отвод генерируемой энергии не может быть выполнен за счет теплопроводности. Получены экспериментальные доказательства, что энергия генерируемого электрического поля превышает энергию удара в тысячи раз.

Наличие в условиях сверхглубокого проникания большого количества высокоэнергетических эффектов: локального плавления, интенсивной деформации, синтеза метастабильных соединений, осадки массивной заготовки, макрократеров, интенсивного электромагнитного и ионного излучения, синтез новых химических элементов, например, изотопов на наш взгляд доказывает наличие высокоэнергетического источника дополнительной энергии.

Затвердевание непрерывной отливки со стороны стержня

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Экспериментальные исследования и расчёт кинетики затвердевания отливки со стороны стержня проводили, используя следующие методики.

Температурный режим стержней исследовали методом термического анализа непосредственно в процессе вертикального непрерывного литья и при погружении (окунании) стержня с термопарами в расплав, находящийся в печи. Стержни изготавливали из терморективной смеси на основе фенолоспирта. Материал отливки – чугун состава СЧ 20. По температурным полям строили кривые мгновенного распределения температуры по толщине стенки стержня во времени. По ним рассчитывали кинетику затвердевания отливки.

Метод погружения в расплав использовался и для экспериментального исследования кинетики затвердевания отливки со стороны стержня. Изменяли толщину корки отливки, намёрзшей на стержень в течение времени, в сечениях, расположенных по диаметру и высоте.

Исследования кинетики затвердевания отливки в кристаллизаторе показали, что практически вся теплота перегрева расплава отводится через кристаллизатор. Затвердевание отливки со стороны стержня протекает в 7...10 раз медленнее, чем со стороны кристаллизатора. Влияние стержня на тепловой режим отливки во время её затвердевания в кристаллизаторе в течение 15...20 с незначительно. Стержень не успевает прогреться. Расчётная толщина корки к 20-й секунде формирования составляет не более 1,5 мм. Практически, при температуре расплава $T > 1300$ °C после выливания жидкого остатка (результат прорыва корки расплавом), на стержне остаётся лишь тоненькая не сплошная оболочка, толщина которой не превышает 1,0...1,5 мм. Это даёт все основания не учитывать затвердевание на стержне при формировании отливки в кристаллизаторе, пока не отведена большая часть теплоты перегрева.

При использовании тонкостенных оболочковых стержней толщина корки, образовавшейся на стержне, составляет 2,0...2,5 мм или менее 10 % от толщины отливки. Использование сплошных стержней повышает долю металла, затвердевающего на стержне до 15...18 %. В этом случае коэффициент аккумуляции тепла стержнем принимают равным $\chi = 0,75...0,85$.

Установлено, что время полного затвердевания отливки зависит главным образом от толщины стенки и определяется моментом смыкания фронтов кристаллизации со стороны кристаллизатора и стержня.

Формирование композиционных слоёв на низкоуглеродистых сталях в анодном режиме электролитного нагрева

Нисс В.С., Паршуту А.Э.

Белорусский национальный технический университет

В анодном режиме электролитно-плазменной обработки за счет протекания электрических разрядов в парогазовой оболочке между металлическим образцом (анодом) и электролитом (катодом) в некоторых диапазонах технологических параметров наблюдается явление электролитного нагрева. При этом обеспечивается интенсивный разогрев поверхности образца со скоростью до 250 °С/с в зависимости от мощности нагрева. Разогрев образца возможен вплоть до температуры плавления. Установлено, что при электролитном нагреве до 80% потребляемой электрической энергии вводится в нагреваемый образец в виде тепла.

Разогрев поверхности с помощью электролитного нагрева обеспечивает возможность создания композиционных слоёв на поверхности образца за счет осаждения и диффузии легирующих элементов, содержащихся в электролите, а также за счет термической обработки с последующим охлаждением в электролите.

В работе проводили исследование процесса азотирования с последующей закалкой цилиндрических образцов диаметром 4 мм из стали Ст3 в электролите на основе 10% хлорида аммония и 6% аммиака. Температура насыщения составляла 650...700 °С, продолжительность – 7...10 мин.

В результате измерения микротвердости поверхностных слоёв полученных образцов установлено, что глубина азотирования составляет 40...60 мкм. Микротвердость поверхности составила 600...650 HV с плавным уменьшением вглубь образцов.

Установлено, что при использовании соответствующих электролитов в анодном режиме электролитного нагрева также возможно выполнение нитроцементации, цементации, вольфрамирования, сульфидирования, молибденирования и других видов комплексного диффузионного насыщения.

Практическая реализация метода формирования композиционных слоёв в анодном режиме электролитного нагрева возможна в условиях как единичного, так и массового производства.

Наиболее перспективными областями применения являются упрочнение металлорежущего инструмента, роликов и валков для обработки давлением, рабочих поверхностей цилиндров, плунжерных пар, штоков, поверхностей валов и др.

Ушеренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

В рамках высокоэнергетических импульсных воздействий может быть реализована возможность создания метастабильных материалов с разным уровнем физико-химических свойств. Если в качестве наиболее общего критерия исследований изменения свойств материала использовать такое изменение плотности материала, тогда появляется возможность классифицировать материалы.

При исследовании явления сверхглубокого проникания (эффект «Ушеренко») в металлах и сплавах было показано существенное изменение материала преграды. Наиболее инерционным и стабильным физическим параметром металлов и сплавов является удельный вес. Измерение с высокой точностью плотности материала, в настоящее время, доступно современным школьным лабораториям. На основе анализа результатов распределения удельного веса в стальной преграде после обработки порошками $Fe \geq 315 \mu\text{м}$, $Fe \leq 50 \mu\text{м}$, W , Al_2O_3 получено подтверждение объемной перестройки стальной преграды. За счет реализации при СГП комплекса различных факторов, в объеме стальной преграды возникают макрзоны с отличающимся друг от друга удельным весом. Это позволяет сделать следующие основные выводы:

Удар без СГП приводит к увеличению средней плотности стальной преграды на 0,02-0,03%, доли перестроенного под действием ударно-волнового воздействия материала до $A=11,7\%$, а доля исходной стали - 88,3%.

СГП без химического взаимодействия увеличивает плотность на 0,047-0,048%, а долю измененного материала - до 30,1%, т.е. в 2,57 раз.

СГП с использованием порошка Al_2O_3 (деструкция + химическое взаимодействие) уменьшает плотность стальной преграды на 0,038 - 0,047%, увеличивает долю измененного материала до 40,0%, а долю дефектного материала до 20,3%. При этом доля Al_2O_3 в зоне взаимодействия составляет менее 1%, т.е. менее чем 0,2% от массы всей преграды.

СГП с использованием порошка W (химическое взаимодействие) увеличивает плотность стальной преграды на 0,327-0,527%, долю измененного материала до 40,6 - 42,5%. Доля дефектного материала, определяемая специфическим процессом введения вольфрама, составляет 22,8%, а доля W в зоне взаимодействия менее 1,6%, т.е. менее чем 0,3648% от массы всей преграды.

Структура и коррозионная стойкость оксидных покрытий, формируемых на титане методом МДБО

Алексеев Ю.Г., Паршута А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Одним из методов нанесения биосовместимых покрытий на имплантаты из титана и его сплавов является микродуговое оксидирование (МДО), которое осуществляется в анодном режиме. Авторами разработана технология микродугового биполярного оксидирования (МДБО), основанная на сочетании анодного и катодного режимов, обеспечивающая возможность контроля и управления характеристиками покрытия (прочность, толщина, пористость, шероховатость) в более широком диапазоне по сравнению с МДО.

В работе исследовали структуру наносимых в процессе МДБО оксидных покрытий и их коррозионный потенциал. В качестве образцов для исследований использовали пластины из титана VT1-0.

Оксидные слои, полученные в электролите на основе пирофосфата натрия имели гладкую структуру с пористостью около 10 %. Средний размер пор при МДБО продолжительностью 2 мин составил 1,0...1,5 мкм. Увеличение продолжительности МДБО до 4 мин привело к снижению среднего размера пор до 0,5...1,0 мкм. При этом пористость снизилась до 5 %. Покрытие, полученное в электролите на основе фосфорной кислоты, имело развитую губчатую структуру со средним размером пор около 0,5...1,0 мкм. Пористость покрытия составляла 20%.

Измерение коррозионных потенциалов полученных оксидных покрытий проводили в растворе 0,9% NaCl. Для сравнения измеряли также коррозионный потенциал чистого титана VT1-0. Установлено, что коррозионные потенциалы всех оксидированных образцов значительно выше коррозионного потенциала титана VT1-0. Наилучшими коррозионными свойствами обладает образец, оксидированный в электролите на основе пирофосфата натрия в течение 4 мин, что связано с его низкой пористостью. Остальные образцы по своим коррозионным свойствам оказались примерно одинаковыми.

По результатам проведенных исследований разработана новая технология получения высококачественных оксидных покрытий на изделиях медицинского назначения, предназначенных для травматологии, ортопедической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии и др. Потенциальными потребителями технологии являются предприятия, специализирующиеся на производстве изделий медицинского назначения из титановых сплавов.

Морфология и микроструктура электрохимических покрытий Ni - В в зависимости от условий получения

Якубовская С.В., Корбит А.А.

Белорусский национальный технический университет

Электрохимические покрытия Ni-B характеризуются повышенными физико-механическими, химическими свойствами и представляют несомненный практический интерес для использования в промышленности. Для получения покрытий Ni-B наиболее перспективными являются растворы-расплавы на основе органических соединений, в частности, карбамида, которые позволяют использовать более высокие плотности тока, нетоксичны, дешевы.

В настоящей работе изучалось влияние состава электролита никелирования на основе карбамида и условий проведения процесса электролиза на морфологию и микроструктуру покрытий Ni-B. Электрохимическое осаждение покрытий проводили из электролита-расплава $\text{Co}(\text{NH}_2)_2 - \text{NiCl}_2 - \text{H}_3\text{BO}_3((\text{C}_3\text{H}_5)\text{BO}_3)$ при стандартной схеме электролиза. Исследование морфологии и микроструктуры поверхности Ni-B покрытий осуществляли на растровом электронном микроскопе VEGA / TESCAN (Япония) и на оптическом микроскопе Micro-200.

Показано, что введение в состав электролита борсодержащих соединений изменяет морфологию никелевых покрытий, имеющих дендритную структуру поверхности. В области низких концентраций борсодержащих соединений (1-3 мас.%) увеличивается количество меньших по размеру дендритов, на фоне которых расположены отдельные крупные дендриты в форме глобул. При более высокой концентрации $(\text{C}_3\text{H}_5)\text{BO}_3$ наблюдается формирование более глубоких дендритных рельефов. При этом по мере увеличения концентрации борноглициеринового эфира форма дендритов изменяется от глобулярной до разветвленной дендритной. Дендриты по составу отличны от матрицы.

Введение в состав электролита в качестве стабилизатора NH_4Cl подавляет рост дендритов, способствуя тем самым уменьшению шероховатости покрытий. По данным электронно-микроскопических исследований, уменьшение концентрации NiCl_2 и температуры электролиза способствует уменьшению количества крупных глобул в покрытиях Ni-B, тогда как в области высоких плотностей тока ($3-10 \text{ А/дм}^2$) количество и размер глобул увеличивается. Таким образом, варьируя состав электролита никелирования и условия электролиза возможно получать покрытия Ni-B различной микроструктуры и шероховатости.

Влияние технологических параметров размерной электролитно-плазменной обработки на скорость съема

Королёв А.Ю., Головач С.И.

Белорусский национальный технический университет

Авторами впервые на основе электролитно-плазменной обработки (ЭПО), применявшейся ранее только в качестве финишной операции, разработан и внедрен новый способ размерной обработки, позволяющий осуществлять формообразование сложнопрофильных поверхностей деталей вращения с высоким качеством поверхности.

В данной работе проводились экспериментальные исследования и оптимизация технологических параметров размерной ЭПО деталей вращения. Оценивалось влияние основных контролируемых параметров процесса ЭПО (рабочее напряжение, температура электролита и глубина погружения) на скорость размерного съема материала.

Установлено, что повышение скорости размерного съема достигается при снижении рабочего напряжения, уменьшении температуры электролита и увеличении глубины погружения. При уменьшении радиуса кривизны обрабатываемой поверхности наблюдается значительное увеличение скорости размерного съема.

Экспериментально установлено, что стабильность процесса размерной ЭПО достигается в диапазоне температур от 70 до 95 °С и при рабочем напряжении не ниже 240 В. Установлено, что с увеличением глубины погружения скорость размерного съема повышается. Очевидно, что повышение скорости съема происходит до глубины, при которой гидростатическое давление станет настолько высоким, что процесс пленочного кипения будет невозможен. Однако реализация процесса размерной обработки на большой глубине невозможна, что связано с технологическими трудностями. Поэтому на практике глубина погружения образцов не должна превышать 100...125 мм.

Для получения интерполяционной зависимости и оптимизации параметров размерной ЭПО проведен трехфакторный трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкина, в результате которого установлено, что основное влияние на скорость размерного съема материала оказывает температура электролита. Установлено, что максимальное значение скорости размерного съема составляет 9,5 мкм/мин и достигается при температуре 70 °С, глубине погружения 125 мм и напряжении – 240 В. Результаты исследований использованы при формообразовании поверхностей гибких сложнопрофильных медицинских ультразвуковых волноводов малого диаметра, предназначенных для разрушения тромбов.

Особенности холодной раскатки колец

Шиманович И.М., Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в ряде стран мира ведутся интенсивные работы по разработке, исследованию и внедрению технологических процессов локального деформирования металла методом холодной раскатки. В общем случае раскатку кольцевых заготовок можно рассматривать, как одну из разновидностей прокатки. При этом необходимо учитывать, что локализация деформации позволяет увеличить степень деформации (другими словами интенсивность обработки), а сам процесс не требователен к состоянию поверхности и смазке заготовок (смазка осуществляется подачей в рабочую зону веретенного, машинного масла или сульфозфрезола).

В подшипниковой промышленности (ОАО МПЗ) организовано опытное производство, в котором после раскатки и термообработки кольца сразу шлифуются, таким образом, исключается традиционная токарная обработка. Заготовкой служит гладкое кольцо, полученное отрезкой от трубы. При выборе по сортаменту труб необходимо учитывать величину припуска, необходимого для дальнейшей обработки и величину поля допуска на диаметр и толщину стенки трубы.

Поскольку раскатка происходит без снятия стружки, то точность окончательных размеров и чистота раскатанной поверхности зависит от следующих факторов:

- правильности конструкции и точности раскатного инструмента;
- правильности выбора и точности изготовления заготовок под раскатку;
- правильной настройки инструмента и выбора режима раскатки.

При соблюдении всех необходимых условий можно обеспечить размеры раскатанных изделий в допусках 3...4 класса точности и чистоту поверхности Ra 1,25...Ra 0,63. Эксперименты показывают, что раскатка позволяет достичь больших степеней деформации в холодном состоянии даже при обработке труднодеформируемых сталей типа ШХ15.

В процессе обработки методами холодной деформации металл упрочняется, что характеризуется степенью наклепа. При раскатке степень наклепа находится в пределах 20...40%, в зависимости от степени деформации. В ряде случаев эффект упрочнения используют для повышения прочности деталей в эксплуатации.

В некоторых странах (Германия, Великобритания) кольцепрокатные станы и станки типа Form – Flo для холодной раскатки и накатки колец выпускаются серийно.

Результаты стендовых испытаний фрикционных дисков ГМП БелАЗ

Хренов О.В., Лешок А.В.

Белорусский национальный технический университет

Карьерные самосвалы грузоподъемностью от 30 до 60 тонн, погрузчики, специальные транспортные средства производства Белорусского автомобильного завода (БелАЗ), а так же самосвалы и машины Могилёвского автомобильного завода (МоАЗ) комплектуются гидромеханической передачей (ГМП). Фрикционы гидромеханических передач работают в сложных, напряженных условиях. В процессе включения они воспринимают статические и динамические нагрузки, поверхности трения фрикционов подвержены воздействию большой удельной тепловой энергии и интенсивному изнашиванию. Максимальное удельное давление на поверхности дисков для некоторых режимов работы ГМП может достигать 6 МПа (60 кгс/см²).

Проведенные исследования поведения фрикционных дисков различных материалов и производителей на инерционном стенде «УЛИС» показали, что режимам эксплуатации ГМП БелАЗ (это относительно жесткие условия эксплуатации: перебои подачи масла, кратковременные аварийные изменение скорости и нагрузки) наиболее соответствуют фрикционный материал МК-5 и материал фирмы «Wellman». Фрикционный материал на целлюлозно-бумажной основе, материал на основе латуни и материал ФМ-12 может быть применён только в узлах трения с гарантированно стабильной и обильной смазкой, или высокой скоростью отвода тепловой энергии.

Фрикционный материал МК-5 обладает относительно низким коэффициентом трения 0.033-0.037 из всех исследованных материалов, при этом материал имеет более высокую износостойкость. При экстремальных условиях практически не наблюдается перенос материала на диск стальной.

Фрикционный материал на основе латуни имеет относительно высокий коэффициент трения и более стабильный. Однако при недостаточной смазке, материал склонен к быстрому схватыванию и катастрофическому износу. Такие особенности износа фрикционного материала по-видимому связаны с его химическим составом (7-8 % Zn) и структурой характерной для латуней.

Фрикционный материал на целлюлозно-бумажной основе обладает высоким и стабильным коэффициентом трения, практически не происходит схватывания. Однако, при недостаточной смазке происходит деструкция фрикционного слоя и его разрушение.

Получение огнеупорных материалов из вермикулитового сырья с применением технологии СВС

Реуг О.П., Какошко Е.С., Саранцев В.В.

Белорусский национальный технический институт

Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) нашла широкое применение при изготовлении деталей и материалов из порошковых смесей. Метод СВС не требует высокотемпературного обжига изделий в печах, что позволяет значительно снизить затраты на производство, сократить расходы энергоресурсов на производство и, следовательно, снизить себестоимость продукции. Освоение СВС-технологии позволило бы решить проблему обеспечения промышленности Беларуси некоторыми видами высококачественных огнеупорных и жаростойких материалов и изделий на их основе. Разработка таких материалов является чрезвычайно актуальной, поскольку в республике производство изделий из огнеупорных материалов технического назначения отсутствует, несмотря на потребность в них. При создании и применении таких материалов решаются вопросы экологического характера, расширения сырьевой базы за счет использования минерального сырья, утилизации отходов промышленности.

Перспективным направлением в области получения огнеупорных СВС-материалов из термических порошковых смесей в системе $Al-SiO_2-C$ является использование в качестве силикатной составляющей вспученного вермикулита, который на протяжении более 80 лет находит применение едва ли не во всех отраслях промышленности.

Проведенный расчет термодинамического равновесия по программе АСТРА-4 (разработка МГТУ им. Баумана) в адиабатических условиях опытных порошковых смесей, содержащих пудру алюминиевую марки ПА-4 20–60 мас.%, вермикулит вспученный Ковдорского месторождения (Мурманская обл.) 30–70 мас.%, сажу черную для резинотехнических изделий 0–30 мас.%, показал возможность СВС процесса в этих порошковых смесях. На основании результатов этих расчетов синтезированы СВС-материалы, имеющие следующие характеристики: плотность 2200–2300 kg/m^3 , пористость открытая 25–30 %, предел прочности при сжатии 75–95 МПа, теплопроводность (20–400 °С) 0,78–0,85 Вт/м·К, ТКЛР (20–800 °С) $5,6 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, могут быть использованы в машиностроении в качестве конструкционных материалов при создании деталей, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах, для футеровки высокотемпературных печей и индукторов.

Результаты испытаний фрикционных дисков ГМП Амкордор

Хренов О.В., Лешок А.В.

Белорусский национальный технический университет

Погрузчики марки «Амкордор» известны во всём мире, пользуются большим спросом и характеризуются высокой надёжностью. Одним из наиболее ответственных узлов машины является тормоза, в которой используются металлокерамические фрикционные материалы, от надёжности работы которых зависит жизнь людей. Оценка эффективности работы тормоза, его надёжности является важнейшей задачей. Проведение испытаний фрикционного диска в реальных условиях непосредственно на узле является объективным показателем, характеризующим его эффективность.

Существует стандарт, который устанавливает минимальные требования эффективности и методы испытаний тормозных систем колёсных землеройных машин с целью обеспечения единообразной оценки тормозных качеств машин, работающих на строительных объектах или передвигающихся по дорогам общего пользования. Данный стандарт устанавливает требования к рабочим, резервным и стояночным тормозным системам.

В качестве фрикционного материала использовался получивший наибольшее распространение материал МК-5 (%): олово – 9; свинец – 9; железо – 4; графит – 7. Медь, введенная в данную композицию, обладает высокой теплопроводностью, обеспечивая хороший отвод тепла в процессе трения. С целью повышения механических свойств меди, придания ей большей теплостойкости и улучшения характеристик трения к медному порошку добавляют порошки других металлов, в процессе спекания легирующих медную основу.

Результаты испытаний показали, что изменение количества фрикционных дисков в тормозах переднего и заднего моста не сказывается на динамике изменения давления в системе от времени торможения. Рабочая тормозная система погрузчика «Амкордор» с двумя и тремя фрикционными дисками обеспечивает торможение в пределах тормозного пути, соответствующего требованиям ГОСТ ИСО 3450.

Использование трёх фрикционных дисков в тормозном узле вместо двух, то есть увеличение площади контактирования на 50 % способствует снижению тормозного пути на 5-9 %. Холодное или горячее состояние тормозного узла не оказывает существенного влияния на размер тормозного пути.

Деформационное упрочнение заготовок волочением с промежуточной электролитно-плазменной обработкой

Алексеев Ю.Г., Королёв А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

К материалам для изготовления изделий медицинской техники, работающих в условиях циклических нагрузжений, предъявляются жесткие требования по прочностным характеристикам. Применяемые в настоящее время прутки и проволока, получаемые волочением, содержат большое количество дефектов. Кроме того, в поверхностных слоях после волочения возникают неблагоприятные растягивающие остаточные напряжения, приводящие к значительному снижению усталостной прочности.

Для удаления поверхностных дефектов и снижения величины остаточных напряжений предложен способ получения заготовок, основанный на волочении с применением промежуточной электролитно-плазменной обработки (ЭПО) между проходами. Для подготовки образцов использовался маршрут волочения, обеспечивающий суммарное обжатие 80%. Материал образцов – сталь 12Х18Н9. Продолжительность промежуточной электролитно-плазменной обработки составляла от 1 до 10 мин.

По результатам определения остаточных напряжений методом замера прогибов, установлено, что применение электролитно-плазменной обработки между проходами волочения обеспечивает снижение величины неблагоприятных растягивающих остаточных напряжений в поверхностном слое. Чем больше продолжительность электролитно-плазменной обработки, тем ниже величина остаточных напряжений. Однако наиболее интенсивное снижение остаточных напряжений происходит при электролитно-плазменной обработке продолжительностью до 3 мин.

Установлено, что для обеспечения сочетания высокой прочности и низких остаточных напряжений продолжительность ЭПО между должна составлять 3-5 мин. При этом достигается предел прочности 1420-1480 МПа, а величина растягивающих остаточных в поверхностном слое снижается до 820-880 МПа.

При исследовании прочностных характеристики установлено, что применение ЭПО в процессе деформационного упрочнения волочением обеспечивает повышение усталостной прочности материала за счет снижения остаточных напряжений и количества дефектов в материале.

Результаты исследований использованы при изготовлении заготовок медицинских ультразвуковых волноводов для разрушения тромбов.

Разработка технологических процессов холодной раскатки колец подшипников

Шиманович И.М.

Белорусский национальный технический университет

Процесс холодной раскатки колец, в настоящее время, наиболее широко внедряется в подшипниковой промышленности. По сравнению с механической обработкой, коэффициент использования металла в этом случае увеличивается на 20...30%, меньше искажается форма колец при их закалке. При накатывании профиля беговой дорожки колец, обеспечиваются допуски, требующие после термообработки лишь шлифования. На точность геометрических параметров раскатываемых колец оказывает влияние большое число факторов, основными из которых являются – неточность исходных заготовок, неточность изготовления инструмента, жесткость инструмента и станка (в том числе его гидросистемы), режим проведения процесса.

При холодной раскатке колец из стали ШХ15 были установлены зависимости отклонения геометрических размеров деталей от режимов процесса. Так увеличение подачи раскатного ролика выше 1 мм/об приводит к тому, что отклонение наружного размера кольца становится очень малым. В общем установлено, что процесс холодной раскатки колец обеспечивает высокую точность – до 2 квалитета по ширине и до 3 квалитета по диаметрам. Шероховатость раскатываемой поверхности деталей в большей степени зависит от шероховатости поверхности деформирующего ролика, режима раскатки, применяемых смазок и может достигать 6...8 класса.

В результате работ были определены оптимальные, с точки зрения требуемой геометрии и точности размеров, а так же шероховатости поверхности режимы раскатки. Так числа оборотов деформирующего ролика должны лежать в пределах 25...50 об/мин, подача ролика должна превышать 1 мм/об (или 25...50 мм/мин при вышеприведенных значениях чисел оборотов ролика).

Металлографические исследования показали, что после раскатки повышение твердости происходит по всему сечению кольца, при этом максимальная твердость наблюдается на поверхностях, контактирующих с раскатными роликами. Изучение макро- и микроструктуры показало, что в процессе раскатки постепенно, с увеличением деформации, меняется форма зерен: они вытягиваются в направлении течения металла и в поверхностных слоях преобладает мелкозернистая структура.

Разработка импульсного высокочастотного источника для нанесения электроискровых покрытий

¹Саранцев В.В., ²Лойко В.А., ²Калиновский В.Р., ¹Азаренко Е.Л.

¹Белорусский национальный технический институт

²Белорусский аграрный технический университет

Технология электроискрового легирования (ЭИЛ) находит широкое применение в различных отраслях промышленности при упрочнении или восстановлении деталей машин и оборудования. Основное ограничение технологии ЭИЛ заключается в повышенной шероховатости формируемых покрытий и низкой производительности процесса. Решение данных проблем является актуальной задачей.

Существующие изготовители реализуют оборудование, разработанное более 10-20 лет назад. Оно морально устарело. Современные подходы к проектированию и изготовлению микропроцессорной техники позволяют изготавливать компактное оборудование с широким диапазоном изменения энергетических параметров.

Экспериментально было установлено, что решение поставленных задач возможно при использовании высокочастотного источника. Необходимым условием проведения процесса ЭИЛ является реализация искрового разряда. Повышение мощности импульсов для увеличения производительности может привести к зажиганию дуги, что в процессе ЭИЛ недопустимо. С учетом данных особенностей был разработан и изготовлен источник импульсов для проведения ЭИЛ.

Установка для проведения ЭИЛ имеет следующие параметры:

- частота следования импульсов до 15 кГц;
- длительность импульса от 10 до 250 мкс;
- мощность источника 1 кВт;
- мощность единичных импульсов до 3 Дж;
- возможность запоминания последних режимов работы;
- защита от перегрузок;
- отображение заданных режимов на индикаторе устройства.

Результаты исследований изготовленного источника позволили установить увеличение скорости нанесения покрытий на 20-20 % и снижение шероховатости формируемых покрытий по сравнению с используемыми аналогами оборудования (Элигрон 22).

Благодаря использованию повышенных частот на выходе источника возможно создания электроискровых покрытий без использования финишной механической обработки.

Использование отработанных медно-магниевого катализаторов для легирования ваграночного чугуна

Волосатиков В.И., Комаров О.С., Проворова И.Б.
Белорусский национальный технический университет

Доминирующей маркой выплавляемого в вагранках серого чугуна является СЧ20. Растущие требования к прочностным свойствам отливок из серого чугуна заставляют литейщиков искать пути повышения марки. Этого можно добиться, снижая углеродный эквивалент или вводя в состав чугуна легирующие элементы (Ni, Mn, Cu). Но в первом случае возникает опасность отбела в отливках, а во втором случае растёт их себестоимость. Тем не менее, второй способ повышения свойств находит распространение при производстве ответственных отливок автотракторной промышленности. Чаще других элементов для легирования чугуна применяют медь, содержание которой в количестве около одного процента позволяет получить чугун марки СЧ25, себестоимость которого выше, чем нелегированного.

С целью снижения себестоимости можно использовать вторичные ресурсы, такие как отработанный медно-магниевый катализатор, который содержит (в процентах по массе): 87CuO ; $7,4\text{MgO}$; $2,6\text{Al}_2\text{O}_3$; $0,9\text{SiO}_2$ и $0,2\text{CaO}$.

Для предотвращения выноса легирующего материала газами из вагранки необходимо было изготовить брикеты, проверить успеют ли они прогреться до $1000-1100^\circ\text{C}$ к моменту подхода к плавильному поясу, изучить кинетику восстановления меди из оксидов газовой средой (CO) и элементами чугуна (C, Si), а также кинетику перехода меди из шлака в расплав чугуна.

Установлено, что время выдержки расплава под слоем шлака существенно влияет на степень извлечения меди из медьсодержащих отходов. Превышение оптимально необходимой выдержки, приводит к обратному переходу меди из металла в шлак. Показано, что проведение процесса восстановления в шлаке и, особенно, в присутствии капель чугуна обеспечивает ускорение восстановления меди из оксида и её переход из шлака в расплав чугуна. Время прогрева брикета до температуры плавления сопоставимо с временем опускания шихты в зону плавления, а время восстановления меди из оксида и её перехода в чугун примерно соответствует времени нахождения расплавов чугуна и шлака в горне вагранки или копильнике, что создаёт предпосылки для легирования ваграночного чугуна за счёт использования отработанных медьсодержащих катализаторов.

Влияние плотности алюминатного раствора на скорость естественного выделения гидроксида алюминия

Волосатиков В.И., Нисс В.С., Проворова И.Б., Комарова Т.Д.
Белорусский национальный технический университет

Проблема получения новых перспективных материалов на основе оксида алюминия непосредственно связана с процессом образования его дисперсного гидроксида.

В основу разработанного метода положена технология переработки алюмозольных поглотителей на основе Al_2O_3 . Разработанный метод заключается в выщелачивании при комнатной температуре γ - Al_2O_3 (входящего в состав отработанного поглотителя) с последующим выделением $Al(OH)_3$ из полученного алюминатного раствора. Выделение ведётся двумя способами: 1 – при механическом перемешивании раствора с добавлением ультрадисперсной затравки; 2 – естественное выделение из раствора при длительной выдержке за счет разложения алюмината натрия.

Дисперсность выделяемого гидроксида алюминия зависит от пересыщения (исходной плотности), температуры процесса, количества и дисперсности затравочных кристаллов. Для проведения исследований влияния этих факторов на свойства конечного продукта необходимо было определить оптимальную исходную плотность раствора, обеспечивающую наибольшую скорость выделения гидроксида алюминия.

Для чего было проведено исследование влияния плотности раствора на скорость естественного выделения $Al(OH)_3$ за счет разложения алюмината натрия. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 Плотность растворов, время начала и конца выделения $Al(OH)_3$

№ п/п	Начальная плотность, т/м ³	Начало выделения, сут	Окончание выделения, сут	Конечная плотность, т/м ³
1	1186	29	38	1161
2	1203	13	23	1179
3	1214	37	48	1188
4	1222	42	52	1194
5	1232	50	57	1207

Установлено, что начальная плотность раствора существенно влияет на процесс естественного выделения $Al(OH)_3$ и меняется к окончанию процесса в среднем на 26 т/м³. Для дальнейших исследований за базисный принят раствор с начальной плотностью 1203 т/м³. Естественное выделение характеризуется небольшой скоростью роста кристаллов, что приводит к получению частиц $Al(OH)_3$ размером 1,5 – 2 мкм.

Изучение кинетики образования наноразмерных покрытий на порошках и изделиях из керамических и сверхтвердых материалов

Ковалевский В.Н., Нисс В.С., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Одним из методов, позволяющих наносить наноразмерные моно- и композиционные покрытия на нерегулярные поверхности (частицы порошка, порошковые прессовки, изломы) является магнетронное напыление.

Физико-механические свойства покрытий на порошковых и компактных материалах определяются их фазовым составом, толщиной, сплошностью. Для образования сплошного слоя необходимо покрытие определенной минимальной толщины.

Нанесение наноразмерного покрытия заданной толщины на плоские поверхности, которые имеют минимальную шероховатость не вызывает особых трудностей. Нанесение аналогичных покрытий на материалы с нерегулярной поверхностью сопровождается технологическими сложностями, связанными с трудностью оценки толщины покрытия на краях, выступках и впадинах и проблемами соответствующей корректировкой процесса напыления.

В общем случае при магнетронном напылении толщина покрытия на поверхности материалов, может быть получена из выражения

$$T = CVik,$$

где C – разрядный ток плазмы, V – ускоряющее напряжение, t – время, k – постоянная, зависящая от материала распыляемого катода и плазмообразующего газа. Постоянную k можно рассчитать по данным экспериментальных измерений

Определения постоянной k проводилось с учетом данных, полученных на сканирующем электронном микроскопе с рентгеновским микроанализатором при оценке степени изменения интенсивности спектра рентгеновского излучения материала основы при прохождении через материал покрытия. Увеличение толщины покрытия сопровождалось соответственным увеличением интенсивности поглощения рентгеновского излучения материала основы соответствующим материалом покрытия.

С учетом определенных значений постоянной k были проведены эксперименты по нанесению наноразмерных магнетронных покрытий заданной толщины с использованием распыляемых катодов из Mo и W на алмазные порошки АСМ 14/10, порошки железа ПЖРВ фракции +40-100 и изломы керамики Si_3N_4 (размер частиц керамики 1-2 мкм). Получена удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных данных.

Упрочнение поверхностного слоя электрохимических железных покрытий электроискровым легированием

¹Боровик Д.И., ¹Саранцев В.В., ²Калиновский В.Р.

¹Белорусский национальный технический институт

²Белорусский аграрный технический университет

В работе проводились исследования модифицированных композиционных электрохимических покрытий электроискровым легированием. Определены закономерности влияния параметров осаждения покрытий на их шероховатость. Установлено влияние электроискрового легирования с использованием электродов из графита, WC - 6%Co и TiC - 30%Co на физико-механические свойства поверхности композиционных электрохимических покрытий.

Одним из известных способов создания покрытий является гальваническое осаждение. Процесс нанесения гальванических покрытий сравнительно прост и может быть осуществлен без применения сложного дорогостоящего оборудования. Качество гальванических покрытий во многом определяет качество деталей, их долговечность, работоспособность и надежность в эксплуатации.

Гальванические покрытия служат не только средством защиты от коррозии, но также и способом повышения износостойкости деталей, электропроводности и других важных свойств поверхности. На данный момент уже освоены процессы электрохимического нанесения различных элементов и соединений. Однако остается не решенным круг задач, связанный с получением сложных композиционных систем на поверхности, упрочняемой детали.

Для модификации поверхности предложено использование электроискрового легирования (ЭИЛ). Модификация поверхностного слоя осуществлялась на установке для электроискрового легирования SPARK-1000 производства БНТУ. Параметры процесса следующие: частота импульсов $f = 6 - 12$ кГц; скважность $\gamma = 50; 70$ %; частота вибрации электрода $f_{\text{в}} = 100$ Гц; удельное время обработки $\lambda = 1,1 - 1,6$ мин/см². ЭИЛ проводили с применением электродов из графита, твердого сплава BK8 и TiC + 30 % Co.

Определено влияние электроискрового легирования на физико-механические свойства поверхности композиционных электрохимических покрытий. Установлено, что проведенная модификация композиционных электрохимических покрытий электроискровым легированием позволяет увеличить микротвердость поверхностного слоя покрытия в 1,5 - 2,0 раза.

Влияние температурного параметра на толщину и фазовый состав цинкового слоя при термодиффузионном цинковании в порошковой среде гартцинк- Al_2O_3

Урбанович Н.И., Гарост А.И., Гегеня Д.В., Лецко А.И., Сенченко Г.М.
Белорусский национальный технический университет
Белорусский национальный технологический университет

Известно, что суммарная толщина покрытий и относительная толщина каждого слоя в нем при цинковании определяются рядом условий, наиболее важными из которых являются температура и продолжительность пребывания изделий в ней.

Целью данной работы являлось установление экспериментальной зависимости температурного параметра процесса диффузионного насыщения на толщину цинкового покрытия. Исследовали влияние следующих температур оцинкования: 400, 450, 500, 550°C. Опыты проводили в диффузионной смеси, содержащей 40 % гартцинка, 59% Al_2O_3 и 1% NH_4Cl с выдержкой в течение 4 часов. Слой наносили на образцы из стали 3.

Результаты исследований позволили установить, что повышение температуры термодиффузионного цинкования в системе гартцинк- Al_2O_3 приводит к увеличению толщины покрытия. Формирующиеся слои состоят из Γ , δ_1 и ζ - фаз, которые характерны и для цинковых слоев в порошковых средах на основе системы $Zn - Al_2O_3$ в диапазоне температур 400-550°C.

Установлено, что рост толщины покрытия происходит за счет δ_1 -фазы, причем в диапазоне температур 500-550°C за счет зоны полисадов δ_1 п-фазы, а в диапазоне 400-500°C – за счет δ_1 - компактной фазы. Показано также, что формирование цинковых слоев в среде с гартцинком идет внутрь образца, что не противоречит предыдущим исследованиям [1,2].

Литература

1. Урбанович, Н.И., Комаров, О.С., Волосатиков, В.И., Лецко, А.И. Влияние содержания насыщающего компонента в системе гартцинк - Al_2O_3 на толщину покрытия, изменение размеров и массы образцов при термодиффузионном цинковании // Литье и металлургия. 2011. №2. С. 54-56.
2. Урбанович, Н.И., Комаров, О.С., Волосатиков, В.И., Лецко, А.И., Григорьев, С.В. Оценка возможности использования гартцинка для термодиффузионного цинкования // Материалы Девятой МНТК «Наука – образованию, производству, экономике».

Обработка материалов давлением

Получение двухслойных антифрикционных материалов методами порошковой металлургии и прокатки

Белый А.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для применения в подвижных узлах техники выпускается целый ряд подшипников скольжения. Радиальный подшипник скольжения представляет собой металлический корпус, имеющий цилиндрическое отверстие, в которое вставляется рабочий элемент — вкладыш, или втулка из антифрикционного материала. Наилучшими эксплуатационными свойствами обладают пористые самосмазывающиеся подшипники, изготовленные методом порошковой металлургии, однако, они имеют ряд недостатков: сравнительно большие осевые размеры; большой расход смазочного материала; применение дорогих материалов. Исследования, направленные на получение двухслойных антифрикционных материалов проводятся с целью экономии бронз и повышения их прочности.

В ходе работы проведен ряд экспериментов, направленных на получение соединения между основой — сталь 3 и антифрикционным материалом — сферический порошок БрОФ 10-1 (фракция 0,4 – 0,63 мм), путем их прокатки и спекания в защитной атмосфере при различных режимах. Для наиболее качественного соединения слоев проводилась подготовка контактной поверхности металлического основания, которая заключалась в гальваническом покрытии стального листа пленкой меди и нанесении рельефа различной конфигурации, с различными степенями обжата. Определен оптимальный режим спекания образцов, исключая выгорание бронзового порошка и образование окислов (спекание при 780⁰С в течении 40 – 60 мин с применением защитной атмосферы).

Проведен микроструктурный анализ полученных образцов, который показал, что качественный контакт между бронзовым порошком и металлической основой, пористость антифрикционного слоя при этом составила 20 – 30%.

Проведенные триботехнические испытания на установке КФТТ01 показали, что коэффициент контактного трения составляет 0,30-0,32, данная величина согласуется с литературными данными.

Дальнейшее исследование будет направлено на оптимизацию параметров процесса получения соединения, а также на достижение необходимых механических свойств антифрикционного слоя, позволяющих проводить механическую обработку изделия.

Результаты изучения деформированного состояния выдавленных с высокой скоростью образцов

Качанов И. В., Шарий В. Н., Власов В.В.

Белорусский национальный технический университет

К настоящему времени достигнуты определенные успехи в разработке технологических процессов методом скоростного горячего выдавливания стержневых изделий с плакированием рабочей части (СГВ с ПРЧ). Однако для промышленного внедрения такой технологии необходимы сведения о влиянии условий деформирования на свойства исследуемых материалов.

Для исследования деформированного состояния использовали метод координатной сетки для измерения деформаций и приращений деформаций на различных участках тела. При этом определяли экспериментальные границы пластических зон на различных стадиях деформирования и сравнивали их с теоретическими границами.

По искажению координатной сетки устанавливали влияние геометрии инструмента (коэффициентов вытяжки λ и осадки η , угол матричной воронки 2β , высоты облойной канавки h_1), скорости деформирования на изменения сдвиговых деформаций $\operatorname{tg} \gamma$ (этап формообразования) и $\operatorname{tg} \gamma_1$ (этап плакирования).

Анализ продеформированных координатных сеток позволяет сделать вывод о том, что в процессе выдавливания очаг пластической деформации концентрируется в матричной полости и не распространяется в область контейнера. Подтверждением сказанному служит отсутствие искривлений на горизонтальных линиях координатной сетки в прессостатке образцов.

С повышением скорости соударения торцевой части выдавленного стержня с дном матрицы величина сдвиговых деформаций по сечению осаженного торца снижается. Это объясняется возрастанием тепловыделения при увеличении скорости деформирования на поверхности контакта матрицы и деформируемого металла, приводящего к снижению сил контактного трения. С увеличением коэффициента осадки η происходит рост сдвиговых деформаций как в поверхностных, так и во внутренних слоях осаженного торца, что объясняется возрастанием коэффициента осадки из-за увеличения площади контактной поверхности, по которой перемещается деформируемый металл, приводящее к росту накопленной сдвиговой деформации.

Сведения, полученные по этому вопросу, позволяют прогнозировать свойства продеформированных образцов, что представляет определенный практический интерес для разработки технологических процессов на основе метода СГВ с ПРЧ.

Плакирование рабочей поверхности формообразующего штампового инструмента

Кудин М.В., Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

Используя метод скоростного горячего выдавливания, обеспечивающего получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, можно получать биметаллический инструмент, основой для которого использовать конструкционные стали, а рабочую часть получать плакированием высоколегированными инструментальными сталями с их значительной экономией (до 90%).

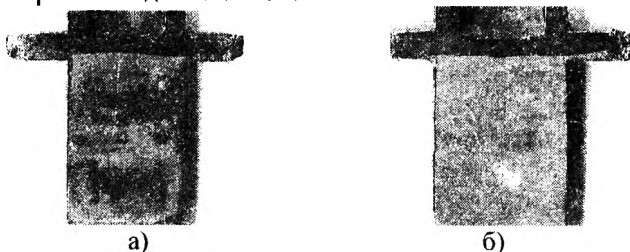
Для проведения исследований были выбраны представители штамповых сталей, используемые в горячих цехах 5ХНМ и холодновысадочных цехах Х12МФ. В качестве материала основы использовали легированную конструкционную сталь 40Х.

Исходные заготовки представляли собой составные цилиндрические образцы диаметром 20мм и высотой 50мм.

Экспериментальные исследования проводились на вертикальном копре с начальной скоростью деформирования 10м/с и кинетической энергией бойка 3,5кДж.

В процессе соединения разнородных сплавов разрушение и удаление окисных пленок происходит под действием совместной пластической деформации и высоких температур, и главным образом вытеснением оксидов с жидким и твердым металлом за границу соединения, т.о. подогрев образцов осуществлялся до температур $T_0 = 1150-1200^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 1 показан вид биметаллических образцов полученных скоростным горячим выдавливанием.



а) сталь 40Х+Х12МФ при $T_0 = 1150^{\circ}\text{C}$; б) сталь 40Х+5ХНМ
 $T_0 = 1200^{\circ}\text{C}$

Рисунок 1–Вид биметаллических образцов полученных скоростным горячим выдавливанием

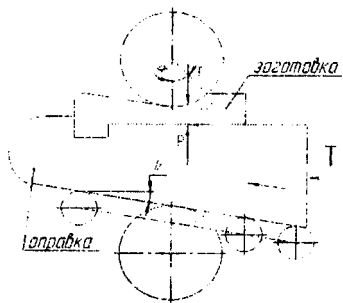
Изготовление асимметричного полосового профиля переменной толщины с локальным изгибом

Исаевич Л.А., Пушкевич В.И., Король В.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время особенно актуален вопрос импортзамещения. Так Белорусская железная дорога закупает в Украине и России для подвижного состава чеку тормозной колодки. В научно-исследовательской лаборатории обработки материалов давлением БНТУ разработана технология получения чеки тормозной колодки. Для реализации процесса прокатки полосы переменной толщины с отогнутым утолщенным концевым участке предложена схема показанная на рисунке.

Суть схемы заключается в том, что деформируемую заготовку заземляют в пазу профилированной оправки. После этого оправка вместе с заготовкой подается в неприводные валки и за счет толкающего усилия происходит толкание заготовки с полным прилеганием ее к профилю оправки, затем осуществляется формообразование полосы переменной толщины.



Снижения уширения при нарастающем обжатии можно достичь уменьшением подпирющих сил, действующих на поверхности контакта между инструментом и заготовкой. Величина подпирющего усилия снизится тогда, когда рабочая поверхность инструмента будет параллельна направлению прокатки. В таком случае сила давления металла на инструмент P является нормальной и не имеет составляющих.

Рисунок 1 – Схема прокатки

На плоскости контакта между заготовкой и калибрующей плитой действует подпирющая сила fP . Тогда суммарное подпирющее усилие будет $Q = fP$ (рисунок 1). Обжатие полосы осуществляется за счет наклона опорной поверхности оправки на нижний валок под углом β .

Анализ выражения показывает, что предлагаемый способ изготовления заготовок изделий с переменным по длине профилем позволяет снизить подпирющее усилие, действующее на поверхности контакта, и соответственно уменьшить уширение при прокатке.

Определение энергосиловых параметров при ударном выдавливании полости штампового инструмента

Качанов И.В., Кудин М.В., Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

Величину удельного усилия, действующего на пуансон в процессе ударного выдавливания полости детали, найдем из уравнения баланса мощностей внешних и внутренних сил, которое представим в виде

$$W_{\text{п}} = W_{\text{с.с}} = W_{\text{соб}} + W_{\text{дин}} + W_{\text{ин}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{п}}$ - мощность движущегося пуансона; $W_{\text{с.с}}$ - суммарная мощность

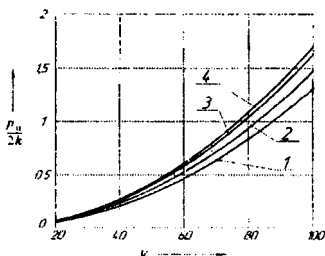


Рисунок 1 - Влияние скорости деформирования V на относительное удельное усилие $p_{\text{н.пл}}/2k$ в начале стадии

сил сопротивления; $W_{\text{соб}}$ - мощность сил собственного сопротивления деформируемой заготовки; $W_{\text{дин}}$ - мощность от действия динамических напряжений на поверхностях разрыва скорости; $W_{\text{ин}}$ - мощность, обусловленная действием локальных сил инерции движущейся заготовки.

После преобразования удельное усилие выдавливания полости определяется по формуле:

$$p_{\text{н.пл}} = \frac{M \left[k \left(\frac{F_1}{2} + \mu \left(\frac{2h - A}{a} \right) \right) + \rho \cdot V_{01}^2 \cdot F_2 \right]}{M + \rho \cdot b (F_3 \cdot a^2 + 4A \cdot h)}, \quad (2)$$

Выражение (2) позволяет определить удельное усилие $p_{\text{н.пл}}$, действующее на пуансон в процессе ударного выдавливания на стадии торможения. Анализ слагаемых в числителе показывает, что первая часть выражения характеризует квазистатическую часть удельного усилия, обусловленную действием внутренних и внешних сил сопротивления на поверхностях разрыва скорости и контактного трения. Второе слагаемое $F_2 \cdot V^2 \cdot \rho$ учитывает повышение нагрузки на пуансон за счет динамических напряжений, действующих на поверхностях разрыва скоростей, при пересечении их элементарной массой металла. Эта составляющая связана с изменением размеров поперечного сечения выдавливаемой заготовки и оказывает влияние на силовой режим процесса даже в стационарных условиях его протекания.

Влияние циклической электротермомеханической обработки на структуру и свойства стали 30ХГСА

Давидович А.Н., Шиманович И.М., Давидович Л.М., Давидович В.А.
Белорусский национальный технический университет

Процесс циклической электротермомеханической обработки (ЦЭТМО) представляет собой ряд операций, направленных на получение субмелкой зеренной структуры, которая обеспечивает сочетание высоких прочностных и вязких свойств сталей. Графически схема ЦЭТМО стали 30ХГСА представлена на рисунке 1 и иллюстрирует проведение термоциклической обработки на первом этапе – 3-х кратного последовательного нагрева до температуры 780 - 800°C и охлаждения до температуры 650 - 700°C т.е. вблизи точки A_{C1} .

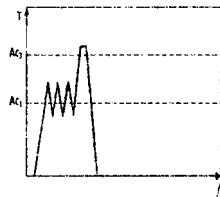
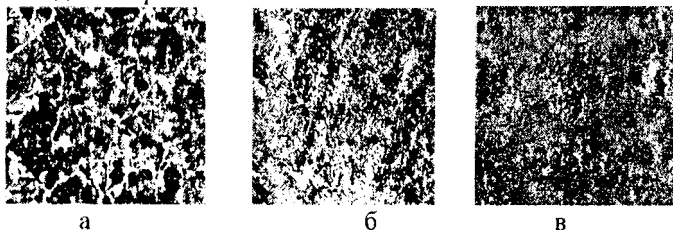


Рисунок 1

На втором этапе непосредственно после окончания термоциклирования производится скоростной подогрев заготовки до ковочной температуры около 1000°C и осуществляется деформирование стали с максимально возможными обжатиями. Для фиксирования мелкозернистой структуры, полученной на предыдущих операциях, на третьем этапе производят немедленную закалку с температуры около 900°C. Таким образом, эта комплексная технология обеспечивает реализацию эффекта деформационного и термического упрочнения, а предварительное термоциклирование настолько измельчает структуру аустенита, что иглы мартенсита, образовавшиеся в пределах этих мелких зерен, обычными лабораторными средствами измерить невозможно. Для определения их размеров требуются приборы, применяемые при исследовании наноструктур. На рисунке 2 показана структура стали 30ХГСА на различных стадиях обработки.



а -- в исходном состоянии; б – после т/о (закалка с 860°C. масло);
в -- после ЦЭТМО

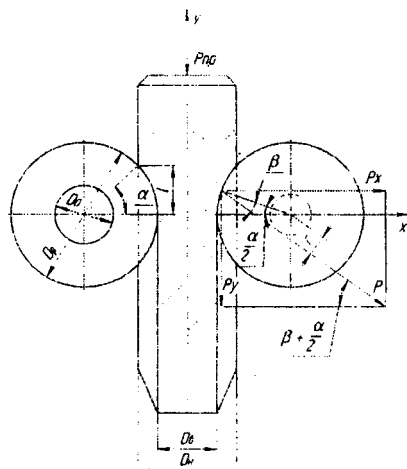
Рисунок 2 – Микроструктура стали 30ХГСА х500

Пластическое формообразование шлицев на валах накаткой

Исаевич Л.А., Сидоренко М.И.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно шлицы на валах изготавливают резанием с использованием червячных фрез. Однако данный метод формообразования шлицев отличается применением дорогостоящего режущего инструмента, наличием отходов в виде стружки и низкой производительностью. В последнее время для этой цели всё шире применяют метод пластического формообразования шлицев на валах путем их накатки. Разработан и используется в промышленности ряд приспособлений, позволяющих накатывать прямобочные шлицы на гидравлических прессах. Суть процесса заключается в том, что вал, на котором формуются шлицы, проталкивают через роликовую головку, содержащую число роликов равное количеству шлицев (рисунок 1).



Для определения значения среднего нормального контактного напряжения в очаге деформации использован метод линии скольжения для случая внедрения штампа в полупространство при отсутствии контактного трения. В нашем случае $\sigma_{ср} = 3,87 \sigma_T$, где σ_T – предел текучести материала заготовки.

Далее, используя соотношения действующих сил и параметры очага деформации, получено выражение для определения усилия проталкивания заготовки через роликовую головку

Рисунок 1 – Схема накатки шлицев

и действующих сил

$$P_{пр} = 3,87 \sigma_T [1,57(D_H + D_B) - nb] \sqrt{\frac{D_p}{2} (D_H - D_H) \sin(\beta + \frac{\alpha}{2})},$$

где n – количество шлицев на валу; b – ширина шлица.

Из выражения следует, что усилие проталкивания зависит от глубины и количества шлицев, а также диаметра накатных роликов и предела текучести материала заготовки.

**Влияние технологических параметров процесса
комбинированной вытяжки двухслойных заготовок
на разнотолщинность слоев стенки вытянутых изделий**

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

В процессе вытяжки составных заготовок из материалов с различными механическими свойствами большее утонение получает слой из материала с меньшим напряжением текучести. Из-за различной интенсивности деформационного упрочнения соотношение напряжений текучести компонентов пакета постоянно изменяется. В результате толщина слоя с большей интенсивностью упрочнения увеличивается по направлению к верхней кромке изделия, а толщина слоя с меньшей интенсивностью упрочнения уменьшается в этом направлении. С увеличением различия механических свойств материалов слоев неравномерность послойных деформаций возрастает. Наибольшие трудности возникают при вытяжке двухслойных изделий с большой разницей механических свойств материалов слоев и малой толщиной мягкого слоя. При вытяжке таких изделий может происходить полное передавливание мягкого слоя твердым слоем либо в самом начале процесса вытяжки, либо на его промежуточной стадии.

Из-за плоскостной анизотропии механических свойств листового проката слои составной заготовки имеют различные значения напряжения текучести по разным радиальным направлениям. Из-за переменного по периметру изделия соотношения напряжений текучести слоев переменным по периметру изделия будет и соотношение толщин слоев.

Таким образом, комбинированная вытяжка полых двухслойных изделий из составных заготовок характеризуется тем, что изделия получают с неравномерным соотношением толщин слоев, как по длине стенки изделия, так и по его периметру. Разнотолщинность слоев ухудшает качество изделий, снижает производительность процесса и увеличивает расход материалов.

Для получения изделий с равномерной толщиной слоев, как по длине стенки изделия, так и по его периметру, а также с заданным их соотношением, разработаны технология и штамповая оснастка для послойной комбинированной вытяжки.

Предложенные технологические схемы позволяют реализовать процесс послойной вытяжки двухслойных изделий, обеспечивающий равномерную толщину слоев в изделии, как с наружным, так и внутренним расположением мягкого слоя.

Эффективность измельчения в ролико-кольцевых мельницах центробежного типа

Гавриленя А.К., Дремук В.А.

Барановичский государственный университет

Сокращение энергоемкости и повышение эффективности измельчения является важнейшей научной и практической задачей. Использование улучшенных конструкций и рациональных режимов работы мельниц позволяет сократить энергозатраты на 20-50%.

Авторами было установлено, что правильный выбор мельницы позволяет оптимизировать процесс измельчения, снизить энергозатраты и рационально использовать природные ресурсы.

Для реализации последовательно выполняемых разных по силовому воздействию на твердый материал способов разработана конструкция многооперационной ролико-кольцевой мельницы центробежного типа RTM4. Для определения технических возможностей разработанной мельницы проведены эксперименты измельчения в ней кварцевого песка. Измельчение производили по схеме в открытом цикле.

Эффективность измельчения материалов оценивали по оптимальному гранулометрическому составу порошка и минимальному удельному расходу электроэнергии. За оптимальный размер частиц порошка принята фракция менее 0,1 мм.

Проведены исследования по определению влияния производительности мельницы на энергоемкость процесса измельчения.

Было установлено, что при производительности более 36 кг/ч энергоемкость процесса значительно повышается, что снижает эффективность измельчения материала. Так при повышении производительности с 36 кг/ч до 38 кг/ч наблюдалось снижение содержания фракции менее 0,1 мм на 2,5%.

Также проведены исследования по определению влияния угла наклона ротора на эффективность измельчения.

Установлено, что при угле наклона $\beta < 70^\circ$ наблюдается значительное увеличение удельных энергозатрат (на 8,6%) при незначительном увеличении количества фракции менее 0,1 мм (всего на 0,9%).

Это обусловлено тем, что при уменьшении угла наклона ротора к горизонту увеличивается время нахождения измельчаемого материала в рабочей камере, что увеличивает загрузку мельницы. При этом снижается частота вращения ротора, а следовательно, и сила, действующая на частицы порошка.

Определение предельных условий деформации при прокатке лезвий рабочих органов сельскохозяйственной техники

Давидович А.Н., Мазуренок А.В., Давидович Л.М., Шиманович О.А.
Белорусский национальный технический университет

Процесс прокатки лезвия коническим валком можно представить как комбинированную пластическую деформацию в двух направлениях: прокатка лезвия вдоль оси заготовки с образованием перемещающегося локального очага деформации и пластический сдвиг в поперечном направлении вследствие смещения металла к острию лезвия.

Толщина обжимаемого валком слоя металла Δ ограничивается условием поперечного захвата заготовки валком. При этом стабильность процесса прокатки зависит от условий трения на контакте заготовки с инструментом. Эту зависимость можно определить составив уравнение равновесия моментов, создаваемых горизонтальной составляющей сил трения $F_{тр}$ и вертикальной составляющей внешней силы P .

Силы трения $F_{тр}$, прилагаемые к заготовке со стороны валка, образуют момент: $M_1 = F_{тр} \cdot H = P \mu \cdot H$, где μ - коэффициент трения. Этот момент вызывает вращение валка.

Нормальные реактивные силы, которые возникают вследствие прокатки валка по заготовке создают момент $M_2 = P \cdot c$, который направлен в сторону противоположную вращению валка. Его вращение будет происходить до тех пор, пока $M_1 = M_2$ или $\mu H = c$.

В случае $M_2 > M_1$ произойдет проскальзывание валка и процесс формообразования прекратится.

После несложных преобразований условие $M_1 = M_2$ записывается в виде $\sqrt{H^2 - (H - \Delta)^2} = \mu(H - \Delta)$.

Или
$$\frac{1}{1 + \mu^2} = 1 - \frac{\Delta}{H} + \frac{\Delta^2}{H^2}$$
 последний член уравнения – малая величина,

которой можно пренебречь, тогда $\frac{1}{1 + \mu^2} = 1 - \frac{\Delta}{H}$. Заменяя $\frac{\Delta}{H} = \varepsilon$,

получим
$$\frac{1}{1 + \mu^2} = 1 - \varepsilon \quad \text{или} \quad \varepsilon = 1 - \frac{1}{1 + \mu^2}, \text{ при } \mu = 0,5 \quad \varepsilon = 20\%.$$

Это значение ε достаточно точно совпадает с данными Целикова А.И. при прокатке цилиндрическими валками и является усредненным значением для лезвия где $\varepsilon_{\min} = 0$, $\varepsilon_{\max} = 40\%$.

Особенности процесса формообразования сферообразных полых изделий с использованием локального очага пластической деформации

Карпицкий В.С., Логачев М.В., Карпицкий Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время для изготовления сферообразных изделий из листовых трубных заготовок применяются разнообразные процессы пластического формообразования. При этом деформирование заготовок может осуществляться как в холодном, так и горячем состояниях.

Установлено, что сферическая форма, в отличие от других, является самой уникальной благодаря способности заключать в себе максимальный объем транспортируемой жидкости при минимальной поверхности, определяющей наименьшую теплопередачу, минимальную массу и наивысшую прочность при прочих равных условиях. Это предопределяет широкое их применение в различных отраслях промышленности, в частности, в нефтегазовой в качестве основных элементов запорных и пропускных устройств.

Ограничения возможностей способов формоизменения трубных заготовок, к основным из которых можно отнести способы с использованием жесткого инструмента (осадка, раздача, гибка, экспандирование и др.), а также способы с использованием передающей давление сферы (местное расширение), обусловлены разрушением труб, которое может быть вызвано следующими причинами: осевыми сжимающими напряжениями критической величины, приводящими к потере устойчивости или образованию складок; радиальными сжимающими напряжениями критической величины, приводящими к смятию; тангенциальными растягивающими напряжениями критической величины, приводящими к возникновению трещин на концах труб. Вероятность образования складок и потери устойчивости зависит не только от величины усилия, но также и от размеров трубной заготовки, свойств материала и геометрии инструмента. Опасность возникновения трещин определяется главным образом напряженным состоянием элемента трубы в зоне наибольшего растяжения. Деформируемость элемента трубы в зоне формоизменения тем выше, чем шире область средних напряжений.

Поэтому поиск новых технических решений, обеспечивающих снижение влияния указанных факторов на качество получаемых изделий, является актуальной задачей.

Штамповый инструмент для послойной комбинированной вытяжки полых двухслойных изделий из листовых заготовок

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Послойная вытяжка может быть реализована в двух отдельных штампах или в одном штампе с двумя вытяжными матрицами. Сущность процесса заключается в том, что вначале производят вытяжку заготовки внутреннего слоя, а затем пуансоном с находящимся на нем вытянутым внутренним слоем производят вытяжку заготовки наружного слоя.

При вытяжке изделий с наружным расположением мягкого слоя требуемая толщина наружного слоя и его равномерность по длине стенки изделия обеспечивается принудительным утонением заготовки в вытяжном зазоре, образуемом матрицей и стенкой заготовки твердого слоя. Схема одного из штампов для вытяжки изделий с внутренним расположением мягкого слоя приведена на рис.1. Штамп работает следующим образом. Вначале пуансон 3 с находящейся на нем опорной втулкой 4 осуществляет вытяжку с утонением заготовки мягкого слоя. При подходе кромки втулки 4 к кромке матрицы 2 происходит обрезка края поллой заготовки 6. Затем пуансон 3 с находящимися на нем поллой заготовкой внутреннего слоя и опорной втулкой 4 осуществляют вытяжку с утонением плоской заготовки 7 наружного (твердого) слоя изделия через матрицу 1, смонтированную в кольце 8, установленном на нижней плите 9. При движении пуансона втулка 5, опираясь на коническую поверхность 5, смещается вдоль ее оси. После входа заготовки 7 в рабочий поясок матрицы 1 бурт втулки 5 доходит до выступа центрирующей

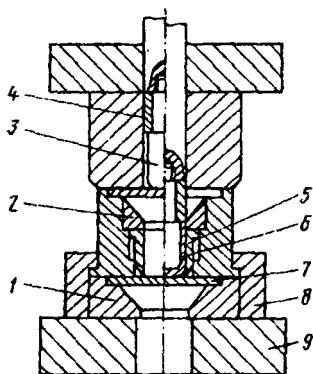


Рис. 1. Схема штампа для послойной вытяжки двухслойных изделий

втулки. и втулка 5 прекращает движение.

При этом пластическая деформация заготовки внутреннего (мягкого) слоя предотвращается поверхностями втулок 4, 5 и заготовки 7 наружного (твердого) слоя, в силу чего пластически деформируется только заготовка 7 твердого слоя.

Анализ листоштамповочного пресса-автомата с кривошипно-рычажным механизмом и самоподачей ленты

Овчинников П.С.

Белорусский национальный технический университет

В данном исследовании рассмотрены кинематическая схема и устройство пресса автомата с самоподачей ленточного материала. Принцип работы автомата следующий. Эксцентриковый вал коренными цапфами в подшипниках скольжения устанавливается в станину, приводится муфтой включения от привода с маховиком и проходит сквозь ползун прессы. К ползуну крепится верхняя половина штампа. Нижняя половина его крепится к рычагу, направляющие которого охватывают ползун. Нижний конец рычага, длина которого равна десяти радиусам кривошипа, шарнирно крепится к станине.

При вращении эксцентрикового вала кривошипная цапфа его совершает круговое движение вокруг центра коренных цапф вала. Ползун, охватывающий эксцентриковый вал, тоже будет описывать круговое движение вокруг указанного центра, рычаг же совершает качательные движения. Половины штампа будут перемещаться возвратно - поступательно относительно друг друга. Штмп, устанавливаемый на прессе, должен иметь подпружиненный прижим – съемник. Во время сближения половин штампа в некоторый момент прижим съемник прижимает ленту к матрице и лента движется вместе со штампом. одновременно происходит штамповка ленты, поскольку пуансон и матрица штампа сближаются. Завершается штамповка в крайнем нижнем положении ползуна. Далее половины штампа будут расходиться, лента освобождается от зажима штампом. В этот момент из-за значительной инерционности лента должна удерживаться тормозным устройством. При повороте кривошипного вала от 90° до 270° штамп переходит для следующего захвата ленты. Шаг подачи не может быть больше двух радиусов кривошипа.

Таким образом, автомат не имеет специального узла подачи, что конструктивно упрощает машину, уменьшает металлоемкость и трудоемкость изготовления, ремонта и обслуживания. На 20% уменьшается мощность электродвигателя прессы.

Установлены зависимости изменения пути, скорости и ускорения ползуна от угла поворота кривошипного вала, получено выражение для расчета приведенного плеча крутящего момента, что позволяет находить крутящий момент на кривошипном валу.

Материаловедение в машиностроении

Повышение эксплуатационных свойств вакуумных нитридных покрытий упрочнением подложки из конструкционной сталиКомаров Ф.Ф.², Ткаченко Г.А.¹, Ковальчук А.В.¹, Пилько В.В.²¹Белорусский национальный технический университет²Белорусский государственный университет

Целью проведенной работы являлась проверка предположения о повышении эксплуатационных свойств топокомпозита триботехнического назначения из нитрида титана и углеродистой стали за счет упрочнения стальной подложки химико-термической обработкой и оценка эффекта от уменьшения градиента твердости между покрытием и подложкой.

Материалы подложек – армко-железо и сталь 12Х18Н10Т. Упрочняющая обработка – низкотемпературная нитроцементация с получением только диффузионной зоны. Покрытие – TiN толщиной 1 мкм. Проведены дюрOMETрические и триботехнические испытания.

По результатам дюрOMETрических испытаний построены зависимости твердости покрытий на различных подложках от величины прикладываемой нагрузки. Установлено, что на образцах с модифицированной подложкой твердость существенно выше и увеличение ее с уменьшением нагрузки больше, чем на «сырой» подложке. Т.е. на упрочненных подложках покрытие продавливается при больших нагрузках, что подтверждают значения твердости при нагрузках до 0,25 Н и не характерные для данных подложек. Разница в твердости покрытия на модифицированной и «сырой» подложках армко-железа и стали 12Х18Н10Т при нагрузке 1 Н составила 6,2 и 13,8 раз соответственно.

Триботехнические испытания проводились на машине Шкода-Савина со схемой сухого трения скольжения «диск-плоскость», время испытания 90 мин, сдвигающая нагрузка 2 г. Оценка износостойкости образцов велась по величине объемного износа. Установлено, что модифицирование подложек армко-железа и стали 12Х18Н10Т соответственно в 2,1 и 2,5 раза позволило повысить износостойкость топокомпозитов.

Предварительная нитроцементация увеличивает время до появления остаточной деформации в подложке и несколько нивелирует влияние разности в твердости между подложкой и покрытием на эффективную твердость топокомпозита, а сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое подложки увеличивают время до появления усталостных трещин. Также при наступлении начала последовательного разрушения покрытия модифицированная подложка тормозит процесс развития очага разрушения и при полном разрушении покрытия под контртелом работает дольше «сырой» подложки.

Исследование структуры боридных слоев

Мельниченко В. В., Стройкина А. С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из эффективных способов поверхностного упрочнения деталей машин и инструментов является борирование, позволяющее повысить твердость, износостойкость, коррозионную стойкость и т.д. Боридные слои имеют высокие характеристики. Микротвердость слоя достигает 2200 кг мм^2 , причем эти значения микротвердости могут сохраняться до $T=600-700^\circ\text{C}$, что позволяет применять борирование для повышения износостойкости изделий, работающих при высоких температурах. Электросопротивление стали при борировании увеличивается в 2 раза.

Некоторые узлы современных машин, работающие в условиях трения, подвергаются повышенным вибрациям. Процессы, приводящие к износу деталей в таких условиях эксплуатации называются фреттинг-коррозией. Борирование является эффективным методом борьбы с этим явлением.

Следует отметить перспективы применения борирования в реакторостроении, т.к. бор имеет большую величину поперечного сечения захвата нейтронов.

Наряду с указанными высокими (механическими и др.) свойствами, боридные слои имеют и недостатки. Главным недостатком боридных слоев является их повышенная хрупкость. Повышенная хрупкость и склонность к образованию трещин и сколов объясняется анизотропией теплового расширения боридных фаз (FeB и Fe_2B). Абсолютные значения коэффициентов теплового расширения фаз диффузионного слоя, основы и характер их изменения от температуры, влияют на величину и распределение по глубине слоя временных и остаточных напряжений.

Строение и свойства боридных слоев определяются методом и способом борирования. Многообразие методов и способов борирования определяет большое разнообразие структур диффузионных борированных слоев. Но наибольший интерес представляют одно- и двухфазные боридные слои. Они обладают максимальной твердостью, коррозионной стойкостью, повышенной окалинностью.

Двухфазные ($\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$) борированные слои формируются при газовом и электролизном борировании из порошков карбида бора и аморфного бора; в обмазках на основе карбида бора.

Боридные слои эвтектического типа получают путем кратковременного нагрева однофазных и двухфазных слоев до температуры 1100°C в вакууме.

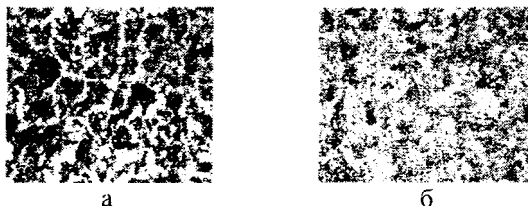
Влияние ультразвуковой обработки на структурообразование стали 40Х в процессе перлитного превращения

Кукин С.Ф.¹, Синиченко Т.Н.²

¹РУП «Минский тракторный завод»

²Белорусский национальный технический университет

Влияние ультразвуковых колебаний на сталь во многом зависит от температурных условий обработки. Ультразвуковая обработка (УЗО) при температурах минимальной устойчивости аустенита в перлитной области и амплитуда деформации выше пороговых инициирует образование Ф-II составляющих, повышает их дисперсность и равномерность распределения, следствием чего является повышение твердости.



а – после нормализации; б – после УЗО при перлитном превращении. 30 с с амплитудой 28 мкм, $\times 1000$

Рисунок – Микроструктуры образцов после различных режимов ультразвуковой обработки

Сопоставляя структуру перлита, представленную на рисунке, можно заметить, что в контрольных образцах зерна перлита состоят из колоний, внутри которых ферритоцементитная смесь четко располагается в виде в виде параллельных пластин. После УЗО сохраняются перлитные колонии, однако пластины цементита имеют либо извилисто-зубчатое строение, либо уже превратились в изомерные кристаллики различных размеров. В некоторых участках наблюдаются скопления сфероидизированных кристалликов цементита.

Таким образом, ультразвуковое воздействие при перлитном превращении стали 40Х вызывает разбиение и сфероидизацию кристалликов цементита.

Применение УЗО в процессе термической обработки сталей дает возможность снизить энергетические затраты за счет замены улучшения стали 45 на нормализацию стали 40Х с регламентируемым химическим составом в сочетании с УЗО.

Анализ основных факторов влияющих на хладостойкость сталей

Галимский А.И.*, Семенов Д.А.

Белорусский национальный технический университет*, ОАО «БМЗ»

Под хладостойкостью сталей понимают их способность противостоять
пкному разрушению при низких температурах.

Хрупкость сталей при комнатной и повышенной температурах связана
в основном с интеркристаллитным разрушением (например, при отпуск-
ной хрупкости). При отрицательных температурах, в большинстве случаев,
происходит хрупкое транскристаллитное разрушение. Это связано с тем,
что с понижением температуры прочность связи между кристаллитами на
границе снижается медленнее, чем прочность межатомных связей внутри
зерна. Поэтому одним из путей повышения хладостойкости сталей являют-
ся измельчение зерна при помощи термической (ТО) или термомеханиче-
ской обработки (ТМО).

Однако следует иметь в виду, что местами зарождения трещин являют-
ся препятствия - дефекты структуры, такие как неметаллические включе-
ния, поры и др., у которых скапливаются дислокации при их скольжении в
теле зерна. При пониженных температурах роль таких препятствий играют
сегрегированные на границах зерен атомы примеси – в первую очередь
серы и фосфора.

Функция легирования твердого раствора в хладостойких сталях состоит
в измельчении зерна и увеличении прочности межатомных связей в фер-
рите, т.е. повышении работы распространения хрупкой трещины.

Известно, что марганец, который является компонентом низколегиро-
ванных сталей для газопроводных труб большого диаметра, измельчает
зерно феррита и повышает (до определенной концентрации Mn) пластич-
ность, что приводит к понижению порога хладноломкости.

Микролегирование ниобием в сочетании с контролируемой прокаткой
приводит к сильному измельчению зерна; это позволяет повысить содер-
жание марганца до 2,8%, что в комплексе понижает порог хладноломко-
сти.

Таким образом, было выявлено три основных фактора, влияющих на
хладостойкость стали:

- содержанием “вредных” примесей, в первую очередь серы и фос-
фора;
- легированием, в том числе микролегированием, которое, с одной
стороны, устраняет или снижает влияние вредных примесей, а с другой
стороны повышает прочность межатомных связей в матрице (феррит);

- термическая или термомеханическая обработка, которая обеспечивает создание оптимальной структуры стали.

УДК 621. 785

Получение нанокристаллической структуры в углеродистых сталях при закалке

Бетень Г.Ф., Андрушевич А.А.

Белорусский государственный аграрный технический университет

Одним из наиболее перспективных и востребованных подходов в получении изделий из конструкционных материалов с уникальным сочетанием их служебных свойств является получение наноструктурного строения. Такой подход по существу находится на начальном этапе освоения. Для его реализации необходимо проведение исследований, направленных на обоснование и выбор исходной марки стали, разработку технологии термической обработки формирования объёмной нанокристаллической структуры в деталях и изучение их принципиально новых свойств, присущих наномасштабному уровню.

Замена дорогостоящих легированных сталей представляет актуальную задачу ресурсосбережения, которая может быть выполнена только при повышении прочностных свойств углеродистых конструкционных сталей до уровня легированных.

Решение этой технологической задачи связано с созданием в стальном изделии высокой плотности дислокаций (до 10^{12} см⁻²) и получении сверхмелкого зерна с дисперсностью конечной структуры вплоть до наноразмерного уровня.

Формирование ультрадисперсных структур за счёт фазового превращения на этапе охлаждения в процессе термической обработки сталей требует прецизионного выбора специальных режимов охлаждения (определённые температура аустенизации и степень переохлаждения, высокая скорость охлаждения), которые традиционными методами закалки (например, погружением в воду) не достижимы.

При закалке углеродистых сталей пониженной прокаливаемости потоками жидкости под давлением 0,1 - 0,5 МПа экспериментальными исследованиями установлена возможность формирования развитой фрагментированной структуры мартенсита (разориентированных микрообластей - *фрагментов* игл мартенсита при мартенситном превращении) в результате интенсивного водяного охлаждения со скоростями закалки выше 10000 град/с.

Влияние борокарбозотирования на стойкость металлорежущего инструмента, эксплуатирующегося в условиях МТЗ

Ситкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

С целью повышения долговечности металлорежущего инструмента, эксплуатирующегося в условиях Минского тракторного завода, проведены работы по применению процессов диффузионного упрочнения с использованием порошковых смесей для борокарбозотирования. В базовом варианте инструмент преимущественно изготавливают из стали Р6М5 и подвергают закалке с температуры 1220 °С с последующим трехкратным отпуском при температуре 560 °С. В некоторых случаях для изготовления режущего инструмента используются быстрорежущие стали Р18, Р9 и другие. В условиях Минского завода СИИТО, входящего в производственное объединение «МТЗ», процессу борокарбозотирования подвергают отдельные позиции полностью термообработанных долбяков, метчиков, сверл, зенкеров, фрез без последующей термообработки. Диффузионное насыщение проводят в контейнерах из углеродистых сталей при температуре 520-540 °С. Проведенные диаметрические исследования показали, что на образцах из стали Р6М5 микротвёрдость рабочих поверхностей в результате борокарбозотирования становится 14,3 ГПа. В случае использования стали Р18 микротвёрдость поверхностных слоев составляет 14,5 ГПа. Микротвёрдость поверхностных слоев после борокарбозотирования стали Р9 составляет 14,2 ГПа. В тоже время без химико-термической обработки после закалки и отпуска микротвёрдость исследованных сталей не превышает 8,5 ГПа. Диффузионноупрочненные партии деталей металлорежущего инструмента поступают в эксплуатацию в различные механические цеха МТЗ. Проведенные цеховые наблюдения показывают, что в результате использования ХТО обеспечивается повышение стойкости режущего инструмента более чем в 2 раза с одновременным увеличением эксплуатационных периодов, приводящих к уменьшению объемов работ, необходимых для замены вышедшего из строя инструмента на новый.

Модифицирование серого чугуна на перлитной основе

Слуцкий А.Г., Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Модифицирование играет важнейшую роль при получении качественных чугунных отливок. В модифицированном чугуне повышается проч-

ность и пластичность, снижается твердость, формируется более однородная микроструктура, обеспечивается понижение склонности чугуна к усадке при его кристаллизации и отбелу. Получение требуемых свойств готовых отливок достигается за счет того, что в чугун непосредственно перед разливкой в формы вводят модифицирующую присадку (бор или алюминий). В результате в расплаве формируется достаточное количество включений (потенциальных центров кристаллизации графита), на которых растворенный в чугуне углерод осаждается в виде графита, а не в виде карбидов (цементита). Ввод чистых металлов в расплав сопровождается их угаром (до 80%), что снижает эффективность обработки расплава. Поэтому как альтернатива традиционным способам модифицирования использовалась стальная диффузионно-легированная проволока, содержащая в поверхностном слое бориды (FeB , Fe_2B) или алюминиды (FeAl).

По результатам клиновой пробы установлено, что алюминий уменьшает склонность чугуна к отбелу в 2 раза относительно чугуна без модифицирующей добавки, а относительно бора в 1,8 раза. Результаты механических испытаний на сжатие (ГОСТ 25.503-97) показали, что модифицированный чугун бором сопротивляется сжатию с большим усилием (563 ± 10 МПа) и обладает большей текучестью материала. Повышение прочности исходного чугуна (500 ± 10 МПа) за счет введения бора или алюминия обусловлено увеличением дисперсности пластин графита с 150 мкм (исходный чугун) до 50 мкм (добавка бора), а также сохранением перлитной основы. Твердость чугунных отливок составила 85 ± 3 HRB вне зависимости от модифицирующего элемента.

Использование борированной проволоки непосредственно перед разливкой металла обеспечивает наилучшие технологические и механические свойства чугунной отливки.

УДК 621.785.5

Исследование формирования структуры цементованного слоя на низколегированных сталях

Стефанович А.В., Борисов С.В., Стефанович В.А., Борисов В.Г.
Белорусский национальный технический университет

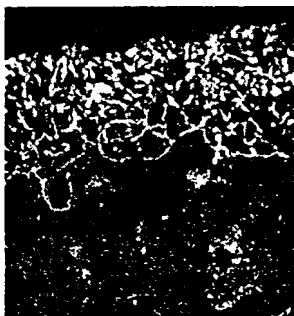
Процесс цементации широко применяется для повышения износостойкости высокохромистых сталей таких, как 20X13, X12M, 4X5MФС. При насыщении углеродом данных сталей цементованный слой состоит из большого количества мелкодисперсных карбидов в продуктах распада аустенита. После закалки и низкого отпуска твердость цементованного слоя на высокохромистых сталях составляет 66...68 HRC. Данную структуру и

твердость цементованного слоя возможно получить в сталях с содержанием хрома более 4...5%.

Целью данной работы является разработка карбюризатора для цементации низколегированных сталей с содержанием хрома менее 1,5% с формированием на поверхности цементованного слоя зоны карбидов.

Основными компонентами при разработке насыщающих смесей являются: бондюжский карбюризатор, соли углекислой и органических кислот, твердые углеводороды. Насыщение проводилось в герметичных контейнерах с плавким затвором при температурах 1000...1050°C и времени выдержки 6...8 часов, затем проводилась закалка с низким отпускком. Оптимизация состава карбюризатора позволила получить на стали 18ХГТ структуру цементованного слоя, состоящего из двух зон: первая зона с включениями карбидов толщиной 0,16...0,2 мм и вторая зона толщиной

Рисунок 1 - Структура цементованного слоя. $\times 500$



2,0...2,2 мм, имеющая эвтектоидную структуру (рис.1). Измерение микротвердости цементованного слоя после закалки с $t = 780^\circ\text{C}$ и низко отпуска позволило установить, что микротвердость в зоне с карбидными включениями изменяется от 10800 до 9400 МПа (69...70 HRC) и далее уменьшается до 7000...7200 МПа (60...61 HRC). Сердцевина имеет микротвердость 2800...3000 МПа.

УДК 621.762

Влияние предварительного диффузионного легирования медных отходов кабельной промышленности на эксплуатационные свойства получаемых из них фильтрующих материалов

Щербаков В.Г.,¹ Чугаев П.С.²

¹Белорусский национальный технический университет, ²Белорусский государственный аграрный технический университет

Работа машин и механизмов без использования соответствующих смазочных материалов невозможна. Одним из методов очистки смазочных материалов является фильтрование. Для этого используют фильтрующие материалы, изготовленные из медных волокон прессованием. Пресуемость

в основном зависит от пластичности волокон, их размеров и состояния их поверхности.

Для исследования были выбраны медные отходы кабельной промышленности с фракцией 0,315 и 0,400 мм. Шлифы медных волокон готовили в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302 – 88. Морфологию и структуру изучали с помощью оптического металлографического микроскопа МИ – 1. МикродюрOMETрические исследования проводили на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999-75. Прессуемость волокон определяли по ГОСТ 25280-82. Исследования проводили на испытательной машине модели 1195 (фирма «Instron», Англия) по ГОСТ 18228-72, рассчитанной на максимальное усилие 0,1 МН.

Диффузионное легирование проводилось во вращающемся герметизированном контейнере в порошковой насыщающей среде по двум режимам: 90% Cu + 10% Zn (фр. 0,315 и 0,400 мм) и 60% Cu + 40% Zn (фр. 0,315 и 0,400 мм). температура 420 °С, время обработки 30 мин.

В дальнейшем проводилось прессование данных волокон и спекание в печи. Прикладываемые усилия уплотнения были выбраны в диапазоне 0...20 кН. Для проведения исследований использовалась пресс-форма для двухстороннего прессования с внутренним отверстием диаметром 10 мм. Анализ полученных результатов показывает что наилучшей пресуемостью обладают образцы с наличием цинка на поверхности 90...95 % от массы волокна.

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%.

УДК 621.78

Исследование искробезопасности некоторых покрытий из диффузионно-легированных сплавов

Дашкевич В.Г., Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в Республике Беларусь действует большое количество предприятий, которые имеют взрывоопасные производства. Применяющиеся в производственных процессах горючие жидкости или газы на таких предприятиях могут выделяться в атмосферу и в результате их соединения с кислородом, образовывать взрывоопасную смесь. На таких

производствах, как правило, введены ограничения на использование искробразующих материалов.

Высокая температура фрикционных искр обусловлена в первую очередь тепловыделением при их окислении кислородом воздуха. В тоже время, если рассматривать температуру искр, образующихся при истирании образцов вращающимся абразивным диском то, как правило, она падает в пределах температуры плавления металлов. Поэтому в качестве искробезопасного материала для получения искробезопасного покрытия, могут рассматриваться диффузионно-легированные сплавы с температурой плавления ниже стали (т.е. ниже 1300°C). Например диффузионное легирование цинком у которого температура плавления $t_{\text{пл}} = 419^{\circ}\text{C}$ или алюминием $t_{\text{пл}} = 660^{\circ}\text{C}$ должно способствовать повышению искробезопасности по отношению к стальным изделиям. Тем не менее, разработка составов искробезопасных материалов и покрытий целью применения в производственных условиях связана с их лабораторными испытаниями.

По проведенным исследованиям при истирании образцов вращающимся абразивным диском низкое искробразование наблюдалось у ряда диффузионных покрытий, например для борированных покрытий на стали 45 с температурой плавления $t_{\text{пл}} = 1389^{\circ}\text{C}$ (Fe_2B) и 1540°C (FeB) и удельной теплоемкостью при нагреве менее $1,26 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, практически отсутствовало искробразование. По нашему мнению наиболее вероятной причиной является образование при нагревании на воздухе борного ангидрида с низкой температурой плавления $t_{\text{пл}} = 480^{\circ}\text{C}$. Также низкое искробразование наблюдалось у цинковых и карбонитридных покрытий диффузионного типа.

По результатам испытаний согласно СТБ 11.05.04 – 2007 вышеуказанные диффузионные покрытия были признаны искробезопасными и рекомендованы для применения в помещениях категории А по взрывопожарной и пожарной опасности.

УДК 669.14.018.295:621.78.014.5

Особенности формирования структуры и свойств сильнодеформированной стали 90 при скоростном нагреве

Крылов-Олефиренко В.В., Серегин А.Ю.
Физико-технический институт НАН Беларуси

В общем случае технологический цикл производства сталей и сплавов после выплавки-разливки состоит из горячей обработки давлением, холодной обработки давлением, промежуточного разупрочняющего отжига для восстановления способности материала к дальнейшему формоизменению и заключительного отжига для придания сплаву требуемых физических

и/или механических свойств. При необходимости этот цикл может прерываться после любой операции или добавляться одной или несколькими операциями холодной прокатки или волочения с промежуточными разупрочняющими отжигами.

Сочетание интенсивных механических воздействий, кратковременности процесса, высокой скорости деформации и больших степеней обжатия при промышленных операциях волочения и прокатки может приводить и приводит к определенным особенностям в поведении деформируемых материалов во время пластического течения, других операций технологического цикла производства изделий и при эксплуатации. Получаемое в результате состояние характеризуется очень высоким уровнем, близким к насыщению, плотности дефектов кристаллической решетки и степени деформационного упрочнения, а также рядом других особенностей.

Широкое распространение в последние десятилетия для разупрочнения сильнодеформированных сталей и сплавов получила технология непрерывного отжига в проходных печах. Используемые режимы являются очень кратковременными и высокоскоростными с регулируемым охлаждением. Протекающие при этом структурные и фазовые превращения развиваются в соответствии с основными закономерностями превращений при скоростном нагреве.

Установлено влияние скорости нагрева, длительности изотермической выдержки при максимальной температуре, скорости охлаждения до температуры изотермической закалки и температуры закалки при патентирующем непрерывном отжиге на структуру и свойства сильнодеформированной стали 90. Показано, что изменение скорости нагрева в субкритическом интервале температур может приводить к изменению получаемых свойств. Предложены оптимальные режимы патентирующего отжига для данной стали.

УДК 669.14.018.262:621.78.014.5

Влияние температуры и скорости нагрева на структуру и свойства сверхнизкоуглеродистой автолистовой стали

Крылов-Олефиренко В.В., Кирильчик А.А.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Сверхнизкоуглеродистые автолистовые стали с содержанием углерода порядка 0,007 % были разработаны приблизительно двадцать лет назад с целью обеспечения автомобильной промышленности материалом с высокой штампуемостью. Они предназначены для получения кузовных деталей очень сложной формы методами глубокой вытяжки.

В связи с недавней разработкой эти стали являются еще недостаточно изученными, в частности, в плане особенностей состояния после больших пластических деформаций (сильнодеформированного состояния) и влияния скоростных методов термической обработки, реализуемых на промышленных агрегатах непрерывного отжига и агрегатах горячего цинкования, на формирование структуры и свойств в процессе рекристаллизации и фазовых превращений.

В данной работе поставлена цель определить закономерности развития процессов рекристаллизации и фазовых превращений при скоростном нагреве и регулируемом охлаждении в условиях, приближенных к режимам отжига на промышленных агрегатах непрерывного отжига и горячего цинкования.

Для получения такой информации проводился скоростной нагрев со скоростью 6,5 °С/с, близкой к скорости, которая может быть реализована в промышленном агрегате непрерывного горячего цинкования. Область температур нагрева была равна 500 – 900 °С для нагрева без изотермической выдержки и 700 – 900 °С при нагреве с выдержками 10, 20 и 40 с. После завершения режима нагрева охлаждение образцов осуществлялось как в воде (чтобы зафиксировать полученное после нагрева состояние), так и с регулируемой скоростью.

Определялись значения твердости для оценки состояния стали после указанных режимов нагрева, а также изучалась микроструктура полученных образцов. Значения твердости измерялись по Суперроквеллу по шкале HR15N из-за низкой прочности и очень высокой пластичности стали после ряда режимов нагрева и из-за малой толщины материала.

Установлены закономерности разупрочнения при рекристаллизации и упрочнения при фазовом превращении, а также изменения состояния при регулируемом охлаждении. Подтверждено наличие последовательного влияния параметров нагрева и охлаждения на свойства стали.

УДК 621.794.61

Влияние формы импульса на структуру и свойства алюмооксидной керамики, полученной методом высоковольтного электрохимического оксидирования

¹Паршуто А.А., ²Соколов Ю.В., ¹Сергеенко С.Е., ¹Багаев С.И.

¹НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

Согласно самой наглядной физико-геометрической модели Келлера в первые секунды анодирования на алюминии образуется барьерный слой, сначала формирующийся в активных центрах на поверхности металла. Из

этих зародышей вырастают полусферические линзообразные микрочаечки, срастающиеся затем в сплошной барьерный слой. При соприкосновении с шестью окружающими ячейками образуется форма гексагональной призмы с полусферой в основании. Под влиянием локальных воздействий ионов электролита в барьерном слое зарождаются поры (в центре ячеек), число которых обратно пропорционально напряжению.

Для формирования пленок, согласно модели Келлера, был создан блок управления источника питания работающий по аналоговой схеме на тиристорной основе. Формирующиеся импульсы тока представляют пилу с максимальным напряжением на пике 520В, диапазон регулировки выходного тока 0 – 5 А, при периоде следования 3-10 мсек, длительностью 1-3 мс. Для сохранения режимов процесса без перехода в микродуговое окислирование, использовался балласт который забирал на себя излишки энергии, в результате до 50% уходило в тепло. После модернизации блока управления получилось изменить характеристики установки. В результате чего более 30% энергии пошло на формирование пленок алюмооксидной керамики, произошло снижение затрат электроэнергии процесса и стабилизации работы источника.

Напряжение питания комплекса, промышленная трех фазная сеть 380 В с частотой 50 – 60 Гц. Мощность источника питания, выделяемая в нагрузке не менее 2,5кВ·А, максимальный рабочий ток 5 А, максимальное выпрямленное напряжение 520В, диапазон регулировки выходного тока, 0 – 5 А, диапазон выходного напряжения 15 – 520 В при периоде следования 3-10 мсек, длительности 1-3 мс.

Таким образом, модифицирование блока управления источника питания высоковольтного электрохимического окислирования позволило сократить токовые потери при проведении процесса, увеличить энергию импульсов, стабилизировать работу блока управления, что сказалось и на повышении качества получаемых пленок алюмооксидной керамики.

УДК 669.58

Перспективы применения термодиффузионного цинкования для антикоррозионной защиты стальных упругих элементов

Константинов В.М., Гегеня Д.В., Булойчик И.А.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время, не смотря на наличие серьезной производственной базы в сфере термической обработки изделий, Республика Беларусь не может в полной мере обеспечить себя всеми необходимыми видами упругих элементов. Так, например, существует необходимость импорта пружинных шайб из России или Украины с целью их последующей реализа-

ции на территории Республики Беларусь. Следовательно, перспективу представляет разработка импортозамещающих производств, с применением эффективных энергосберегающих технологий изготовления элементов данного типа с учетом их последующей антикоррозионной обработки.

Одним из альтернативных направлений в сфере получения защитных цинковых покрытий на упругих элементах является термодиффузионное цинкование в порошковых насыщающих средах (ТДС). Особенностью данного метода цинкования является обеспечение диффузионного взаимодействия между насыщаемой поверхностью и насыщающим веществом, в результате чего происходит формирование интерметаллидных диффузионных слоев, обладающих значительно более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с покрытиями из чистого цинка.

В большинстве случаев, нанесение защитных покрытий на упругие элементы производится непосредственно после окончательной термообработки деталей. Стандартные операции термической обработки элементов данного типа заключаются в закалке и проведении среднего отпуска, с целью формирования оптимальной структуры, обеспечивающие необходимые упругие свойства. Учитывая температурные режимы протекания процесса термодиффузионного цинкования (таблица 1), существует обобщенная возможность замены стандартных операций отпуска данным видом химико-термической обработки.

Применение технологий термодиффузионного цинкования совместно с процессами основной термической обработки пружинных элементов, позволит повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку, а так же обеспечит создание собственной эффективной технологии производства на территории Республики Беларусь.

УДК 669.771:621.774.32

Исследование кинетики, фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок

Удот А.Ю., Копытко А.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является исследование кинетики образования фазового состава и свойств оксидных слоев на сталях, используемых для изготовления прошивных оправок.

Во время работы оправки подвергаются длительному циклическому воздействию высокой температуры (поверхность оправки разогревается до 800... 1000 °С) и значительного давления, поэтому материал оправок дол-

жен обладать высокой прочностью, термостойкостью и повышенной теплопроводностью. Даже при высокой прочности материала, но при недостаточной его термостойкости и теплопроводности носик оправки быстро разогревается, теряет форму, и оправка выходит из строя.

На стойкость оправок существенно влияет большое количество факторов: химический состав материала и режим термообработки оправок, их калибровка, марка прокатываемой стали, качество нагрева заготовок, режимы прокатки и условия охлаждения оправок в процессе эксплуатации. Покров окислов выполняет роль изолирующей прослойки между рабочей поверхностью оправки и металлом заготовки и предотвращает сваривание оправки и заготовки. Слой окислов обладает примерно в 20 раз меньшей теплопроводностью, чем металл, и предохраняет оправки от разогрева до высоких температур, уменьшая склонность их к свариванию.

На поверхности оправки образуются оксидные слои, состоящие из различных оксидов. В основном оксидный слой состоит из оксидов железа: FeO (вюстит), Fe₂O₃ (гематит) и Fe₃O₄ (магнетит).

Режимы оксидирования проводились на сталях 20ХН4ФА, 6ХВ2С, Р18. В результате отработки различных режимов на сталях получился хороший оксидный слой, прочносцепленный с основой. Поверхность плотная без разрывов и изъянов. Контроль качества проводился с помощью микролюбометрического и металлографического анализов.

Толщины оксидных слоев и их фазовый состав зависят от режимов высокотемпературного оксидирования, времени выдержки, температур выдержки, марки стали, количества легирующих элементов. С увеличением содержания в стали таких элементов как С, W, Cr и др. л.э. толщина оксидной плёнки уменьшается при одинаковых температуре и времени выдержки.

УДК 669.771:621.774.32

Строение, фазовый и химический состав оксидных слоёв на прошивных оправках отечественного и зарубежного производства

Константинов В.М., Пучков Э.П., Авдеев С.В., Удот А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является исследование строения, фазового и химического состава оксидных слоев на прошивных оправках отечественного и зарубежного производства, используемых для изготовления прошивных оправок.

В ходе работы комплексному анализу подвергались оправки следующего производства - ООО «БелГЕЛИО», ЗАО «Никопольский завод технологической оснастки», «SmS Meer» и ОАО «Завод «Легмаш».

Строение защитного покрытия оправки ООО «БелГЕЛИО» характеризуется следующими особенностями:

Оправка имеет повышенное содержание Si, Mn и Cr по сравнению с ближайшим аналогом сталью 20ХН3А; Стальная основа имеет твердость 34 - 35 HRC; Покрытие состоит из трех зон и под ним присутствует незаметный обезуглероженный слой.

Строение защитного покрытия оправки ЗАО «Никопольский ЗТО» характеризуется следующими особенностями:

Оправка изготовлена из стали 20ХН4ФА и имеет небольшую толщину защитного покрытия (не более 0,4 мм); Стальная основа имеет твердость - 28 HRC; Покрытие состоит из двух зон и присутствует развитая связь оксидного покрытия со стальной основой.

Строение защитного покрытия оправки фирмы «SmS Meer» характеризуется следующими особенностями:

Оправка изготовлена из стали с высоким содержанием W (6,48 %) (ближайший аналог в СНГ - сталь 4Х2В5МФ); Стальная основа имеет твердость 37 - 40 HRC; Покрытие имеет сложную многослойную структуру и состоит из трех зон.

Строение защитного покрытия оправки ОАО «Завод Легмаш» характеризуется следующими особенностями: наличие обезуглероженного слоя (2,0-2,5 мм); недостаточная горячая твердость стальной основы; отсутствие металлургической связи оксидного слоя с основой, наличие отслаивания оксидного слоя; относительно низкие защитные свойства оксидного слоя; недостаток или отсутствие в стальной подложке и защитном слое специальных легирующих элементов, обеспечивающих устойчивое воспроизведение защитного слоя при работе прошивки.

УДК 621.785.5

Сравнительные характеристики диффузионных слоев, получаемых на стали 20 при цементации в псевдооживленном слое и при традиционном печном нагреве

Галынская Н.А., Протасевич В.Ф., Басалай И.А.
Белорусский национальный технический университет

Процесс цементации стали 20 из порошковых сред осуществляли при температуре 930 °С в течение 4 часов двумя способами: при традиционном печном нагреве в печи с силитовыми нагревателями в контейнере с плавким затвором и в псевдооживленном слое, получаемым механической вибрацией. После цементации образцы охлаждали в масле.

Микроструктуры стали 20, цементованной двумя вышеуказанными способами идентичны. На поверхности образцов можно различить тонкую

зону карбидов (несколько микрон), под ней находится диффузионная зона толщиной около 200 мкм, а далее следует переходная зона толщиной 0,5 мм. Твердость после охлаждения в масле в обоих случаях составляла ~ 54 - 55 HRC. Распределение микротвердости по толщине слоя приведено на рисунке 1.

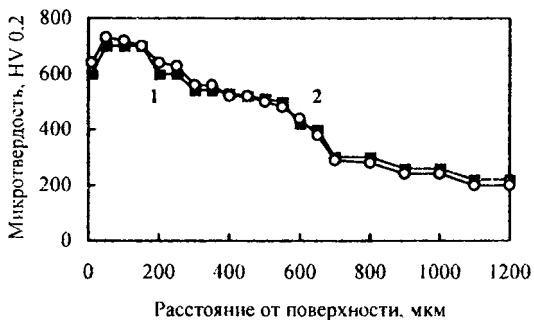


Рисунок 1 – Распределение твердости по толщине диффузионного слоя
1- традиционный печной нагрев;
2- нагрев в псевдооживленном слое

Таким образом, при цементации стали 20 из порошковой среды при традиционном печном нагреве и в виброкипящем слое получены идентичные результаты по структуре слоя, его толщине и твердости. При этом время прогрева в порошковой смеси образцов до температуры химико-термической обработки в виброкипящем слое составляет всего лишь 3 минуты, в то время как при традиционном печном нагреве – 60 минут. Расход порошковой смеси для проведения цементации в виброкипящем слое в 10 раз меньше, чем при традиционном нагреве.

УДК 621.785.5

Свойства углеродистых и легированных сталей, диффузионно-упрочненных из порошковых сред на основе бора, азота и углерода в псевдооживленном слое и при традиционном печном нагреве

Стасевич Г.В., Протасевич В.Ф., Басалай И.А.

Белорусский национальный технический университет

Анализ существующих способов твердофазного насыщения показал, что обработка в псевдооживленных средах относится к числу современных технологий скоростного диффузионного нагрева.

Выбор технологии псевдооживления для использования в химико-термической обработке (ХТО) связан с ее уникальными свойствами, среди которых можно отметить: резкая интенсификация процесса, активация

обрабатываемой поверхности, ускоренный подвод диффундирующего элемента, быстрый нагрев садки, отсутствие перепадов температур в рабочем пространстве, равномерный нагрев обрабатываемых изделий независимо от их размеров и формы, возможность проведения ХТО в негерметизированной камере, легкая адаптация устройства при изменении вида обработки (ТО ↔ ХТО), широкий диапазон рабочих температур.

Для проведения термодиффузионных процессов - цементации, нитроцементации и борирования были опробованы следующие схемы псевдооживления: аэродинамическое псевдооживление с использованием инертного или химически активного газа, псевдооживление механической вибрацией, а также совмещение этих схем. На основании изучения технологических характеристик используемых порошковых сред и проведенных экспериментов для осуществления процесса борирования был выбран аэродинамический способ псевдооживления с использованием азота в качестве флюидизирующего газа, а для цементации и нитроцементации - псевдооживление механической вибрацией.

С использованием метода конечных элементов было рассчитано и экспериментально подтверждено время достижения на обрабатываемых в порошковых средах изделиях рабочей температуры печи при печном нагреве и при использовании псевдооживления. В первом случае время достижения рабочей температуры на изделиях составляет от 1 до 1,5 часа в зависимости от вида насыщающей смеси. Во втором - от 1,5 до 2 минут.

Микротвердость и твердость стали 20 после проведения цементации и нитроцементации в псевдооживленном слое с использованием вибрации и при традиционном печном нагреве идентичны. Проведение борирования сталей 20, 4Х5МФС, Х12МФ аэродинамическим псевдооживлением с использованием азота не позволило достичь результатов по твердости и толщине слоя, получаемых при традиционном печном нагреве.

УДК 621.785.5

Структура и химический состав диффузионных слоев на основе бора, получаемых из синтезированных порошковых сред

Кухарева Н.Г., Галынская Н.А., Петрович С.Н.
Белорусский национальный технический университет

Насыщающие борлирующие среды на основе боридов железа и тугоплавких металлов были получены в процессе внепечной алюмотермии по принципу СВС – процесса. Установлено, что на углеродистых и легированных сталях при обработке из синтезированных сред в зависимости от их состава формируются как однофазные (Fe_2B), так и двухфазные ($FeB + Fe_2B$) слои. Сравнительный анализ термодинамических расчетов и резуль-

татов экспериментальных данных подтвердил результаты, полученные ранее: фазовый состав боридного слоя определяется интенсивной, а не экстенсивной концентрацией бора, которая характеризует мощность диффузионного источника, то есть фазовый состав боридного слоя определяется, главным образом, видом борсодержащего вещества в насыщающей среде, а не долей бора в ней.

Термодинамическое моделирование синтеза порошковых сред позволило установить вещества и их сочетания, которые при последующем проведении химико-термической обработки могут являться источниками атомов бора. Установлено, что такими соединениями в исследованных порошковых средах могут быть AlB_{12} , AlB_2 , CrB_2 , CrB , ZrB_2 , Ni_4B_3 , FeB .

Структуры диффузионных слоев, полученных из синтезированных сред на основе бора имеют характерное игольчатое строение, на легированных сталях ($4X5M\Phi C$, $X12M\Phi$ и др.) игольчатое строение значительно менее выражено. Толщина диффузионных слоев на углеродистых и легированных сталях в 1,2 - 1,8 раза превосходит толщину слоев, полученную на этих сталях из традиционных алюмотермических сред. При этом толщина диффузионных слоев на углеродистых сталях на порядок выше, чем на инструментальных.

Микротвердость полученных диффузионных слоев значительно выше и ее значения внутри каждой из фаз не постоянны, а меняются от минимальных до максимальных значений.

По результатам микрорентгеноспектрального анализа исследуемых диффузионных слоев на основе бора количество бора в ней изменяется в пределах от 8 до 35 %, что позволило высказать предположение о возможности образования в этих слоях высокобористых твердых растворов на основе решетки β -ромбического бора, либо соединения FeB_2 , имеющего гексагональную структуру типа B_{27} .

УДК 621.785.5

Карбонитрация в кипящем слое

Кухарева Н.Г., Петрович С.Н., Стасевич Г.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс термодиффузионной карбонитрации из порошковых сред достаточно широко применяется в промышленном производстве для повышения эксплуатационной стойкости металлорежущего инструмента и прессоштамповой оснастки. Снижение материалоемкости данного процесса упрочнения изделий может быть достигнуто использованием термодиффузионной обработки в кипящем слое.

Процесс термодиффузионной карбонитрации осуществляли при температуре 580 °С в течение 2 часов на сталях 4Х5МФС и Х12МФ из порошковых сред, содержащих оксиды хрома и алюминия, железистосинеродистый калий, уголь и бикарбонат натрия. Псевдоожигение достигалось использованием механической вибрации. Время прогрева порошковой засыпки и образцов до температуры проведения процесса (580 °С) составляло 3 минуты.

При вышеуказанных условиях на стали 4Х5МФС формировался диффузионный слой, состоящий из зоны карбонитридов толщиной ~ 16 мкм и следующей за ней диффузионной зоны толщиной 50 мкм. Поверхностная твердость составила 980 HV_{0,2}. Увеличение продолжительности процесса карбонитрации с 2 до 4 часов практически не повлияло на толщину поверхностной зоны карбонитридов: в обоих случаях она составляла около 16 мкм. Общая толщина диффузионной зоны при этом увеличилась соответственно с 50 до 100 мкм. Увеличение продолжительности процесса с 2 до 4 часов привело к увеличению поверхностной твердости стали 4Х5МФС, соответственно с 980 до 1100 HV_{0,2} и к более плавному изменению микротвердости по толщине карбонитридного слоя от поверхности к сердцевине образца.

На стали Х12МФ диффузионный слой также состоял из двух зон толщиной, соответственно, 15 и 45 мкм при продолжительности процесса насыщения равном 2 часа и, соответственно, 25 и 120 мкм при 4-х часовом процессе. Поверхностная твердость карбонитрированной стали Х12МФ не изменилась от увеличения времени насыщения и составила 1120 HV_{0,2}.

По данным анализа EDS содержание азота в поверхностной зоне карбонитрированного слоя на сталях 4Х5МФС и Х12МФ с повышением температуры и времени выдержки увеличивается.

Проведенные исследования показали, что структура и микротвердость карбонитридных слоев, формирующихся при обработке в кипящем слое, аналогичны слоям, формирующимся при традиционном печном нагреве.

УДК 621.785

Влияние циклических фазовых превращений на дисперсность конечной структуры

Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Традиционная термоциклическая обработка с печным нагревом (скорость 5 °С/с) направлена на измельчение зерна стали и не имеет ограничений по количеству циклов. Мелкодисперсное строение получают много-

кратными фазовыми превращениями ферритоперлитной структуры в аустенит с последующим распадом в ферритокарбидную смесь. Чем больше количество превращений, тем выше дисперсность конечной структуры.

В условиях индукционного циклического нагрева (до 100 °С/с) происходит измельчение микроструктуры стали, карбидной фазы, но за меньшее число циклов. Перегретая структура материала при печном нагреве измельчается до 11 баллов за 6...8 циклов, а при индукционном нагреве необходимо 2...4 цикла.

Интенсивное уменьшение размера зерна обусловлено особенностью фазовых превращений в условиях скоростного нагрева, заключающейся в повышении температуры начала превращения и сокращении продолжительности образования зародышей аустенита. В результате скорость зарождения центров преобладает над скоростью роста зерна, что приводит к мелкодисперсной структуре.

Особенность индукционного нагрева заключается в том, что длительное термоциклирование (от 4 циклов) не приводит к увеличению дисперсности микроструктуры стали, а наоборот на поверхности проявляется разнородность, которая сопровождается увеличением диаметра отдельных зерен (с 8 до 90 мкм) и снижением твердости (с 178 ± 10 HV до 157 ± 10 HV). Такое явление было вызвано фазовыми напряжениями, которые непрерывно возникали и релаксировали путем микропластической деформации зерен. В результате произошла вторичная рекристаллизация зерен.

Установлено, что при термоциклической обработке цементованного слоя происходит измельчение карбидов (с 15 мкм до 2 мкм) и увеличение их количества в 1,5 раза. Это обусловлено выделением цементита во время охлаждения и ограниченной растворимостью при максимальной температуре из-за высокой скорости нагрева и непродолжительной выдержки.

УДК 621.785

Исследование структуры диффузионных слоев при насыщении углеродом коррозионностойких сталей

Стефанович В.А., Белько О.С., Борисов С.В.
Белорусский национальный технический университет

Насыщение высокохромистой стали углеродом широко используется при изготовлении штампов для холодной ОМД. В результате цементации и последующей закалки с низким отпуском формируется диффузионный слой состоящий из мартенсита с включениями карбидов, обладающих высокой твердостью (65-68HRC) и износостойкостью. Обычно цементацию

высокохромистых сталей проводят в порошковых смесях, недостатком которых является низкая насыщающая способность.

Целью данных исследований является разработка порошкового карбюризатора высокой активности для цементации высокохромистых сталей.

Для оптимизации состава карбюризатора был применен последовательный симплекс метод планирования эксперимента. В качестве факторов, входящих в карбюризатор, были выбраны следующие компоненты: - цементирующая смесь – 85% угля+15%NaHCO₃; - хромирующая смесь, полученная методом алюмотермии; - легкоплавкие добавки Cu, Zn, Sb и оксиды Mo, Co. Всего было использовано 8 факторов. В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие параметры: толщина диффузионного слоя, твердость поверхности после насыщения, твердость после закалки, количество твердых частиц в слое.

В результате выполненных опытов было получено оптимальное соотношение компонентов в карбюризаторе, обеспечивающее экстремальные значения параметров оптимизации. Структура диффузионных слоев включает три зоны. Поверхностная зона состоит из большого количества включений карбидов зернистой формы и мартенсита. Толщина данной зоны находится в пределах от 100 мкм до 600 мкм. Во второй зоне уменьшается количество карбидов, появляются остатки карбидной сетки по границам зерен. увеличивается количество мартенсита. Толщина второй зоны может достигать 500 мкм. Структура третьей зоны состоит из мартенсита, аустенита и следов сетки карбидов. При этом скорость формирования карбидного слоя увеличилась в 1,8-2,2 твердость после закалки данного слоя составила 9000-10500 МПа (68-70HRC).

УДК 669.018:621.793

Применение высоких плотностей тока для формирования покрытий на различных типах подложек

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

Для выявления результата варьирования плотностью подводимой энергии были исследованы три распространенных типа материала: низкоуглеродистая, инструментальная и нержавеющая сталь изготовленные из проволоки диаметром 1 мм. Минимальность объема была вызвана необходимостью подать максимальную мощность на единицу поверхности. Сила тока в эксперименте составляла порядка 160 А на дм².

Как и предполагалось изначально, наибольшая толщина покрытия оказалась на низкоуглеродистой стали, а наименьшая на нержавеющей.

Следует отметить, что при работе с высокими плотностями энергии и, как результат, высокими скоростями роста наблюдается на некоторых образцах и такой нежелательный момент как послойность роста покрытий: данный эффект особенно хорошо наблюдается на низкоуглеродистой стали (рисунок 1).

Однако материалы типа инструментальной и нержавеющей стали обладают меньшей толщиной покрытия, что объясняется меньшей скоростью роста, и как результат осаждённое на них покрытие обладает высокой плотностью без видимых слоёв роста. Данный тип покрытия хорошо виден на рисунке 2, где представлено покрытие, нанесённое на инструментальную сталь при тех же условиях.

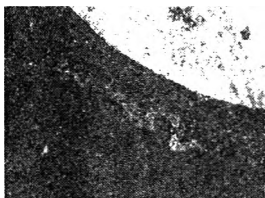


Рисунок 1 – Покрытие осаждённое на низкоуглеродистой стали при увеличении $\times 200$.



Рисунок 2 – Покрытие осаждённое на инструментальной стали при увеличении $\times 200$.

УДК 669.018:621.793

Оптимизация процессов осаждения покрытий

Калининченко В.А., Кожемякина А.С.

Белорусский национальный технический университет

Результатом конечной цели наших исследований должна быть получена технология осаждения толстых плёнок с наименьшими энергозатратами. В качестве аналогов были выбраны процесс электрохимического осаждения плёнок никель-бор и высокоэнергетический процесс нанесения толстых медных плёнок.

Было выявлено что электрохимическое осаждение плёнок никель-бор и никель-кобальт бор проводили на медную или латунную подложку в галь-

ваностатическом режиме при плотности тока 2 А/дм^2 и температуре 300°С [1]. Применение данной технологии для наших условий оказалось не приемлемым в результате высокой температуры разогрева образца и малой скорости роста: 1-2 мкм/час. Испытание данной технологии на железных проволоках (вышеупомянутых типов) показали образование тонкой отслаивающейся фольги на поверхности образцов.

Более сходным с нашим процессом оказался процесс скоростного нанесения толстых медных плёнок [2]. При данном типе процесса скорость роста плёнок составляет около 20 мкм/час плотность тока 15 – 20 А (в редких случаях достигает 50) и используются сульфатные, пирофосфатные и этилен-диаминовые электролиты. Однако и в данном случае разрабатываемый нами процесс имеет более высокие характеристики. Это объяснимо следующими параметрами:

во-первых, для его протекания не требуются столь дорогие электролиты;

во-вторых, процесс свободно протекает без предварительного подогрева электролита;

в-третьих, при таких низких токовых нагрузках основная масса осажённого покрытия диффундирует из электролита, а не с растворимого электрода.

По результатам исследований был сделан вывод о продолжении дальнейших исследований на базе разрабатываемой технологии с вариациями в концентрате электролита и снижении токовой нагрузки.

Литература

1. Бекеш, Ю.Н. Особенности структуры и свойства электрохимически осажённых плёнок никель-бор и никель-кобальт бор / Ю.Н.Бекеш, В.А. Кукареко, Л.С. Цыбульская и др. – Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин. Сб. науч. трудов 6 МНТК. 24-26.04.2007. Новополоцк. – С. 95-98.

2. Рева, О.В. Скоростное осаждение из кремнефтористых электролитов / О.В. Рева и др. – Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: Сб. науч. трудов 7 МНТК. 29-30 Апрель 2009. Новополоцк. – С. 92-96.

Теория механизмов и машин

УДК 681.3

Применение пакета Solid Works в исследовании структуры рычажных механизмов

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М., Ратников А.В.
Белорусский национальный технический университет

Начиная учебу в инженерном заведении, значительная часть студентов сталкивается с существенными трудностями, связанными с восприятием излагаемого материала, посвященного новым образным понятиям, таким как деталь, звено, механизм, машина. Это особенно ощущается теми, кто поступает учиться непосредственно после школы, где не были заложены основы проекционного черчения, недостаточно развивалось образное мышление. Абстрактное представление материала на лекциях, недостаток моделей не порождает интереса, развития творческого восприятия изучаемых дисциплин и даже желания стать инженером.

На кафедре теории механизмов и машин БНТУ компьютерные технологии применяются достаточно давно в курсовом проектировании, при контроле знаний. Для облегчения понимания структуры механизмов разработана обучающая программа, которая демонстрирует условные обозначения звеньев, механизмов, принципы образования механизмов. На основе разработанных алгоритмов показывается преобразование движения звеньев механизмов с использованием двумерной графики. Несомненно, что анимация движения способствует развитию понимания и интереса к изучаемой дисциплине. Однако приходится признать, что плоской графики недостаточно.

Картина резко меняется, когда в процесс вводится трехмерная визуализация с помощью компьютерного моделирования на основе системы виртуальных образов (3D –моделей).

Анализ применения CAD–систем (систем компьютерной поддержки проектирования) показал, что наиболее подходящей для использования является система SolidWorks. Система была использована для проектирования структурных и кинематических схем сложных механизмов 3-го класса, анализ и синтез которых традиционными методами сложен. В процессе структурного синтеза выполнена сборка механизмов путем традиционного присоединения нулевых структурных групп Асура, а затем разборка - сборка, что помогает студентам легко вычертить схему механизма.

Ценность системы заключается также в том, что с ее помощью далее можно выполнить последующий комплексный кинематический и динамический анализ механизмов, учесть трение в кинематических парах.

Исследование кинематики и динамики манипуляторов

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М., Чернов В.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Для манипулятора с тремя степенями свободы ($B \perp B \parallel B$), работающего в ангулярной системе координат, получены дифференциальные уравнения движения звеньев в форме уравнений Лагранжа второго рода. Для этого решается прямая задача кинематики методом преобразования координат в матричной форме. Далее составляются выражения кинетической энергии звеньев манипулятора и транспортируемого объекта. Обобщенная движущая сила Q_i , соответствующая обобщенной координате q_i , складывается из обобщенной движущей силы Q_d (управляющего момента по координате q_i), а также из слагаемых от потенциальных сил (сил тяжести). Обобщенными координатами являются углы относительного поворота звеньев. Полученная система из трех дифференциальных уравнений второго порядка путем понижения порядка приводится к системе из шести дифференциальных уравнений первого порядка. Эти уравнения могут быть использованы для решения следующих задач: 1) известны обобщенные координаты и их производные (например, из заданного закона движения схвата вдоль траектории); требуется определить движущие моменты приводных двигателей; 2) известны движущие моменты, требуется определить обобщенные координаты и их производные, а также соответствующий им закон движения схвата вдоль траектории. В первом случае решается система алгебраических уравнений, а во втором – выполняется численное интегрирование систем дифференциальных уравнений.

Рассмотрены различные трехчастковые законы движения схвата вдоль траектории. Из геометрических соотношений, вытекающих из схемы манипулятора, получены выражения для определения обобщенных координат в зависимости от текущих координат траектории схвата. Тем самым решается обратная задача кинематики манипулятора.

Задача об определении погрешностей позиционирования схвата решается в следующей последовательности: 1) определяются движущие моменты приводных двигателей путем решения задачи кинетостатического расчета манипулятора; 2) путем интегрирования системы дифференциальных уравнений движения находятся обобщенные координаты и их производные; 3) определяется траектория движения схвата путем решения прямой задачи кинематики; 4) производится оценка отклонения полученной траектории от заданной.

Перспективы применения программных пакетов САД-моделирования для решения задач теории механизмов и машин

Авсиевич А.М., Балышева Н.О., Климчук А.О., Конон И.И.

Белорусский национальный технический университет

Развитие программного обеспечения для решения инженерных задач в машиностроении идет в направлении от систем автоматизации построения графических образов проектируемых объектов (САД-пакеты) до САЕ-систем, обеспечивающих помимо разработки чертежей и трехмерных моделей выполнение различных инженерных расчетов. При этом графические построения, выполненные в САД-пакетах, импортируются в САЕ-системы и являются основой построения динамических моделей. К наиболее развитым современным САД/САЕ-системам автоматизированного проектирования и расчетов следует отнести пакеты ADAMS, ANSYS, MSC Dynamic Designer, Pro/Engineer. Постоянное совершенствование программных продуктов различных производителей позволяет перейти на новый уровень решения многих задач, относящихся к теории механизмов и машин. При использовании САЕ-систем представляется возможность моделирования движения компонентов сборки, минуя или существенно сокращая этап проработки механизмов на уровне кинематических схем.

Наибольшее внимание в САЕ-системах уделено автоматизированному выполнению кинематического и динамического анализа механизмов. При задании пользователем внешних усилий на звеньях и кинематических связях программа автоматически рассчитывает перемещения, скорости и ускорения компонентов сборки, силы инерции, силы реакции в сопряжениях, моменты в шарнирах с последующим определением напряженного состояния материала деталей. Легко автоматизируется решение задачи уравнивания, связанное с нахождением центра масс вращающихся звеньев сложной формы. В САЕ-системах предусмотрены программные модули для проведения специальных расчетов: моделирования трения, ударных взаимодействий, исследования колебаний и вибраций элементов конструкции и др. Во всех пакетах предусмотрена возможность создания пользователем собственных модулей с использованием современных языков программирования. Это создает предпосылки для самостоятельного совершенствования расчетных моделей, проведения многофакторных виртуальных исследований влияния различных конструктивных и динамических параметров на эффективность работы машин и механизмов. САД/САЕ-системы позволяют совмещать углубленный анализ машин и механизмов с разработкой конструкторской документации на их изготовление.

Горавский С.Л.

УП «Минский электротехнический завод имени В.И. Козлова»

Электрогидравлический сервораспределитель представляет собой быстродействующее устройство, состоящее из электромеханического преобразователя и гидроусилителя. Сервораспределитель в гидроприводе обеспечивает направление потока рабочей жидкости к соответствующему исполнительному механизму. Выбор рациональных конструктивных параметров сервораспределителя, имеющего определенную структурную схему, обеспечивает создание гидропривода с заданными статическими и динамическими свойствами.

Математическая модель процесса функционирования сервораспределителя составлена с учетом влияния инерционности и нелинейной гидравлической проводимости распределительных элементов, а также индуктивности электромеханического преобразователя на динамику сервораспределителя, что позволяет на этапе проектирования конструкции выявить закономерности протекания процессов распределения рабочей жидкости. При этом в структурную схему сервораспределителя наряду с впускным золотником, перепускным клапаном и клапаном плавности входит клапан форсирования, обеспечивающий быстродействие срабатывания перепускного клапана. Использование сервораспределителя с клапаном форсирования позволяет снизить частоту включения питающего насоса, обеспечивая, таким образом, снижение напряженности функционирования гидропривода и повышение его эффективности.

Для определения конструктивных параметров сервораспределителя выполнен многофакторный анализ интерполяционной модели в локальной области вычислительного эксперимента. Результаты показали, что на линейность расходной характеристики сервораспределителя наибольшее влияние оказывает количество дросселирующих пазов впускного золотника. Полученное уравнение регрессии позволяет определить величину нелинейности расходной характеристики сервораспределителя при любом сочетании конструктивных параметров.

Указанный комплексный подход к разработке опытных образцов распределительных устройств позволяет на этапах абстрактного синтеза и экспериментальной доводки образцов анализировать процесс их функционирования и вносить в конструкцию или структурную схему необходимые изменения, что значительно сокращает сроки и стоимость создания образцов новой техники.

Состояние и перспективы развития наземных пусковых установок беспилотных летательных аппаратов

Пилипчук А.П.

Военная академия Республики Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) являются перспективными, динамично развивающимися системами военного и гражданского назначения. Для взлёта малоразмерных БЛА используются пусковые устройства типа катапульты, позволяющие обеспечить эффективный взлёт с неподготовленных площадок, сократить время старта и расход топлива. Взлет БЛА «по-самолетному» под малым углом требует значительного участка для набора высоты и большому расходу бортового запаса горючего. Старт с помощью мощной гидравлической катапульты обеспечивает максимальную дальность полета 125 км, что на 25 км больше, чем у БЛА аэродромного старта этого класса. Сравнение пусковых установок показывает, что лучшие характеристики имеют гидропневматические пусковые установки.

Основными элементами катапульт являются: направляющая, стартовая тележка, механическая трансмиссия и собственно привод (источник энергии). По типу источника энергии различают пневматические, гидравлические, инерционные катапульты, катапульты с упругими элементами и катапульты с реактивными разгонными блоками. Перспективным направлением развития пусковых установок является разработка устройств на основе использования новых физических принципов, в частности разработка электромагнитной катапульты. При этом динамика разгона БЛА на стартовом участке зависит от принципа создания тягового усилия, а также механических свойств элементов катапульт. Фаза ввода в полет критична для всех БЛА, поэтому установление законов создания тягового усилия катапульт является важным условием, соблюдаемым при проектировании комплексов с БЛА. Целью проектирования является придание БЛА необходимой скорости схода при допустимых значениях стартовой перегрузки на наименьшей длине направляющей. Значение стартовой перегрузки ограничивается свойствами бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО), прочностью конструкции и особенностями двигательной установки. Превышение перегрузки на 10...15% от допустимого значения может привести к срыву полетного задания по причине отказа БРЭО.

В связи с интенсивным развитием комплексов с БЛА в Республике Беларусь в рамках государственных научных программ актуальна задача разработки математических моделей функционирования пусковых установок и методик расчета основных конструктивных элементов.

Прогнозирование и обеспечение ресурса работы вращательных кинематических пар в механизмах

Авсиевич А.М., Осипович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Наличие в механизмах различных видов кинематических связей, переменных передаточных функций и непостоянных по величине и направлению внешних сил обуславливает значительное изменение мгновенных значений напряжений и пути трения на элементарных участках поверхностей вращательных пар. Это приводит к неравномерному изнашиванию различных участков поверхностей, усталостному разрушению материалов, а также фреттинг-изнашиванию кинематически неподвижных сопряжений в парах подвижных звеньев, например посадок колец подшипников.

Прогнозирование ресурса работы вращательных пар может осуществляться на основе динамического анализа механизма, включающего определение реакций в кинематических парах и напряжений на контактирующих поверхностях в каждый момент цикла их работы, а также удельного скольжения, характеризующего путь трения для элементарных участков поверхностей трения. Показателями, определяющими процесс фреттинг-изнашивания, являются частота, величина и направление виброперемещений, возникающих в неподвижных сопряжениях из-за изменений величины и направления реакций в кинематических парах. Такой анализ позволит выявить участки с предполагаемой максимальной интенсивностью изнашивания и вероятностью возникновения усталостного разрушения. Для определения количества циклов нагружения до появления предельного износа или усталостной трещины необходимо сопоставлять расчетные значения факторов разрушения с экспериментальными данными, либо проводить эксперимент с точным воспроизведением динамики изменения сил скоростей относительных перемещений.

Увеличение ресурса работы вращательных кинематических пар обеспечивается применением оптимальных конструкторских решений на основе исследования зависимостей факторов износа от варьируемых конструктивных параметров. Такое исследование предполагает большой объем вычислений и требует создания комплекса специальных программ для ЭВМ. К технологическим методам увеличения долговечности пар трения относится локальное упрочнение наиболее нагруженных участков, выявленных в результате динамического анализа. Возможные способы упрочнения – локальная обработка лучом лазера и нанесение покрытий с распределением толщины и свойств по поверхности согласно расчетной эпюре износа.

Применение пакета Solid Works в курсовом проектировании по теории механизмов и машин

Кудин В.В., Жуковский А.С., Хартанович В.Н.
Белорусский национальный технический университет

Курсовое проектирование по ТММ основано на динамическом исследовании машинного агрегата автомобиля, трактора и т.д. Однако объем проектирования не позволяет исследовать все механизмы и в особенности механизмы трансмиссии, что создает определенные трудности восприятия привода ведущих колес в целом.

В БНТУ студентам АТФ сделана попытка восполнить выше означенный пробел используя для этого компьютерные возможности на базе пакета Solid Works 2012. Современная версия программы Solid Works 2012 является популярным приложением трехмерного компьютерного моделирования; является программным комплексом САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической проработки проекта. Обеспечивает разработку изделий любой сложности и назначения. Работает в среде Microsoft Windows.

Использование Solid Works в курсовом проекте по ТММ позволяет создать анимацию движения автомобиля на прямых участках дороги и при повороте автомобиля направо либо налево. Анимация движения автомобиля состоит из следующих этапов: 1) воспроизводится преобразование движения поршня во вращательное движение коленчатого вала (кривошипа) ДВС; 2) создание механизма коробки передач как трехвальной ступенчатой зубчатой передачи с возможностью переключением передачи изменять частоту вращения выходного вала; 3) создание механизма редуктора со встроенным дифференциалом и полуосями заднего моста автомобиля, которые соединены с ведущими колесами. Для сборки анимационных файлов используется пакет программ «Power Point», доступных для любого компьютера. Помещаем анимационные файлы с комментариями в поле слайдов, задаем анимацию переходов слайдов и текстов, время показа каждого слайда. Затем их озвучиваем. Просматриваем презентацию и затем сохраняем. Во время воспроизведения режима движения можно сделать паузу анимации, перейти на следующий слайд либо закончить просмотр. Программа позволяет отследить движение всей трансмиссии от двигателя до ведущих колес.

Разработанная программа может быть рекомендована для просмотра на лекциях, практических занятиях по ТММ и специальным дисциплинам автотракторного профиля.

Корреляционно-регрессионный анализ и его применение в теории механизмов и машин

Кудин В.В., Николаев В.А., Лебедев Е.П.

Белорусский национальный технический университет

Задачей проектирования кулачкового механизма является определение координат центрального и действительного профилей кулачка по заданному закону движения выходного звена (толкателя) механизма. Таким образом, основным этапом в проектировании кулачковых механизмов является выбор закона движения толкателя. Анализ применяемых законов движения показал, что даже синусоидальный закон характеризуется в 1,57 раза большим максимальным значением ускорения, чем параболический закон. Кроме того усложнение закона изменения ускорения с целью приближения его к требованиям практики ведет к более сложной математической модели описания такого закона.

Предлагается, в выборе закона движения толкателя кулачкового механизма, использовать корреляционно-регрессионный анализ, разработанный при исследовании различных зависимостей между статистическими рядами. В отличие от функциональной, корреляционная зависимость не является строго определенной. Так в парном корреляционно-регрессионном анализе при линейной и нелинейной зависимостях их удобно описать параболой различного порядка.

Учитывая эту возможность, предлагается задать кинематическую диаграмму $S'_T(\varphi)$ табличным способом, в которой будут учтены все требования, предъявляемые на этапе выбора $S_T(\varphi)$. Затем с помощью корреляционно-регрессионного анализа описывается зависимость $S'_T(\varphi)$ уравнением вида $S'_T = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$, где n -порядок параболы, $b_0, b_1, b_2 \dots b_n$ - коэффициенты, определяемые либо методом наименьших квадратов, либо методом максимального правдоподобия. Если закон распределения системы случайных величин не является нормальным, то функция регрессии будет нелинейной. Для нашего случая, когда аналог ускорения $S'_T(\varphi)$ не является случайной величиной, то он подчиняется нормальному закону распределения. При этом решается задача с любой наперед заданной точностью.

Дальнейшие вопросы проектирования кулачкового механизма всех типов остаются традиционно прежними без изменений. В заключении следует отметить, что подобный подход к проектированию кулачковых механизмов расширяет возможность задавать любой закон движения толкателя.

Снижение энергозатрат колесного трактора с помощью маховичного рекуператора

Астахов Э. И., Шкурко С. С.

Белорусский национальный технический университет

Проблема снижения энергозатрат и динамической нагрузки машин является всегда актуальной, и особенно в настоящее время при использовании более мощной энергонасыщенной техники. Наиболее актуальными вопросы снижения энергозатрат являются в сельском хозяйстве, где большинство сельскохозяйственных машин создано на базе колесных или гусеничных тракторов с дизельными двигателями, работающими, как известно, на органическом топливе, которое в основном импортируется в нашу Республику. Задачей работы является исследование возможностей снижения энергозатрат колесного трактора с помощью маховичного рекуператора.

В рассмотренном варианте маховичный рекуператор выполнен в виде добавочного маховика, который приводится во вращение от вала отбора мощности трактора через обгонную муфту и ускоряющую планетарную зубчатую передачу. Обгонная муфта отрегулирована на режим запаса кинетической энергии: при угловой скорости ω_1 ведущего вала большей заданной скорости $\omega_{\text{н}}$ маховика (т. е. $\omega_1 > \omega_{\text{н}}$) муфта подключает маховик рекуператора на раскрутку, и маховик с моментом инерции $J_{\text{н}}$ запасает кинетическую энергию $T = J_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}}^2 / 2$. Также промежутки запаса кинетической энергии при работе тракторного агрегата с сельхозорудиями будут при холостом пробеге трактора с переездом на другое место работы, при работе на поле под уклон, на малых участках ускоренной езды. Когда $\omega_1 < \omega_{\text{н}}$ при перегрузке трактора, обгонная муфта подключает вал маховика к валу двигателя, добавляя запас кинетической энергии накопленной ранее.

Как показали результаты предварительных расчетов по экспериментальным кривым изменения момента $M_{\text{о}}$ на валу двигателя трактора МТЗ-80 при работе с сельскохозяйственным оборудованием, подобный рекуператор позволит сгладить пиковые значения случайных колебаний момента $M_{\text{о}}$ и тем самым повысить долговечность элементов и узлов трансмиссии трактора, а также позволит сэкономить 10-15% общих затрат энергии на технологические операции.

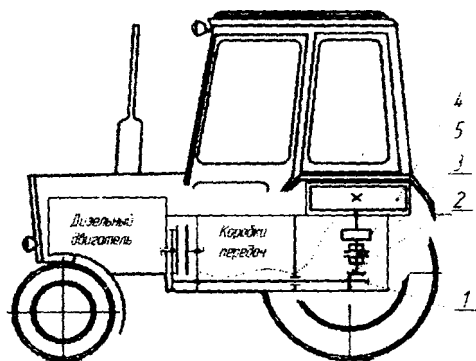
Кинематика мобильной машины колесного трактора с маховичным рекуператором

Шкурко С. С., Астахов Э. И.

Белорусский национальный технический университет

Среди мобильных машин, изменяющих свое положение в пространстве, особую роль играют тракторы и тракторные агрегаты для работы вне дорог, по пересеченной местности. Подавляющее большинство тракторов снабжено дизельными двигателями, потребляющими дорогое органическое топливо. Ранее в работах авторов показано использование маховичных (инерционных) двигателей для легковых автомобилей, работающих без органического топлива. В данной работе исследуются особенности кинематики трансмиссии колесного трактора с маховичным рекуператором.

Общий вид одного из вариантов колесного трактора с маховичным рекуператором показан на рисунке. От вала отбора мощности 1 трактора (базовая модель МТЗ-80) через коническую передачу 2 и обгонную муфту 3 вращение



предается на вертикальный вал маховика рекуператора 4. Вертикальное расположение вала маховика позволяет уменьшить влияние гироскопических моментов на управляемость трактора. Для обеспечения большого запаса кинетической энергии необходима как можно

большая угловая скорость маховика, для чего между выходным валом обгонной муфты 3 и маховиком 4 поставлена соосная ускоряющая планетарная передача 5. Передаточное число этой передачи равно отношению максимальной частоты вращения маховика в режиме раскрутки и накопления энергии к номинальной частоте вала отбора мощности трактора. Указанное на рисунке расположение маховика (под сидением водителя сзади) позволяет иметь наибольший диаметр маховика (до 1,5 м) при сравнительно невысокой частоте вращения (около 6000 об/мин). Показанный вариант расположения маховика и его привод от вала отбора мощности трактора позволяет, существенно не изменяя конструкции базовой модели трактора, создать опытный образец нового более экономичного трактора.

Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент

Пути совершенствования параметров работоспособности червячных зуборезных фрез

Ажар А.В.

Белорусский национальный технический университет

Основными критериями, определяющими работоспособность червячных зуборезных фрез, являются: производительность обработки, стойкость инструмента, качество обработанной поверхности. Существующие методы повышения параметров работоспособности червячных фрез можно разделить на: конструктивные, организационно-эксплуатационные (оптимизация режимов резания и регламента замены инструмента), кинематические (метод двух подач – вертикальной и осевой, периодическая осевая передвижка против направления вращения обрабатываемого колеса, зубофрезерование за два рабочих хода, попутное фрезерование), технологические. К основным элементам конструкций современных червячных фрез, которые влияют на параметры работоспособности и подвергаются оптимизации, относятся: наружный диаметр, длина режущей части, число заходов фрезы, шаг зубьев, форма передней и задней поверхности, углы заточки, модификация профиля с целью реализации прогрессивных схем резания. Анализ существующих технических решений и методов оптимизации конструкций выявил возможность увеличения длины инструмента и числа стружечных канавок. Тенденция увеличения длины связана с совершенствованием технологии изготовления фрез когда, стоимость инструмента не увеличивается в прямой пропорции от ее длины, а также организации различных стратегий осевого смещения инструмента (пошаговая, непрерывная) существенно увеличивающих стойкость фрез. Однако при исследовании конструкций стандартных фрез установлено, что расчетный ресурс инструментов уменьшается в 2,9 раза при увеличении модуля от 1 до 20 мм, что указывает на необходимость введения корректирующего коэффициента увеличения длины в расчетные зависимости по определению габаритов фрез. Увеличение числа стружечных канавок сокращает время обработки, уменьшает износ и увеличивает число огибающих. С учетом ограничений на полезную длину зуба и минимальный объем канавки возможно увеличение числа зубьев от 20 до 30. Таким образом, на сегодня наиболее актуальными являются цельные «многозубые» фрезы увеличенной длины без посадочного отверстия с короткими цилиндрическими или коническими хвостовиками с обеих сторон из порошковой быстрорежущей стали с покрытиями из карбонитрида титана. При использовании прогрессивных схем резания наилучшие показатели у фрез с закругленной вершиной зуба и чередующимися заууженными на сторону и завышенными зубьями.

Структурно-параметрическая оптимизация конструкций и условий резания сборных торцовых фрез

Ажар А.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из путей улучшения параметров работоспособности сборных торцовых фрез является структурно-параметрическая оптимизация их конструкций и условий резания. К оптимизируемым конструктивным параметрам фрез относятся: диаметр, количество зубьев, геометрические параметры режущей части (форма зуба, углы резания). Структурную оптимизацию можно обеспечить изменением схемы срезания припуска, в частности, применением групповых схем резания. Эксплуатационная оптимизация традиционно обеспечивается назначением оптимальных режимов резания (глубины, подачи, скорости, допустимого износа).

С учетом повышенных требований к производительности, обеспечения требуемого уровня стойкости и экономии энергоресурсов разработана модель и программное обеспечение для структурно-параметрической оптимизации торцовых фрез методом итерационной максимизации целевой функции - объема материала удаляемого в единицу времени, с учетом ограничений, накладываемых условиями эксплуатации (стойкость), характеристиками инструмента (максимальное число зубьев; максимальная подача на зуб; угол в плане; число зубьев в секции и число секций; максимально допускаемая деформация инструментального блока) и оборудования (частота вращения шпинделя; максимальная мощность резания). В результате проведенной оптимизации установлено, что наибольшую производительность обеспечивают фрезы групповой схемы резания с числом секций равным количеству зубьев, т.е. по одному зубу в секции с подачей на зуб равной оборотной подаче. Сравнение фрез при обработке плоскости в детали из стали 20 шириной $a_c=100\text{мм}$, длиной $L=250\text{мм}$ с припуском 15 мм показало, что многопроходная обработка фрезой Sandvik Coromant CoroMill 245 с $D=125\text{мм}$, $Z=12$, $\varphi=45^\circ$ и расчетными параметрами $f_z=0.2\text{ мм/зуб}$, $a_p=5\text{мм}$, $n=500\text{ об/мин}$ уступает однопроходной фрезе со ступенчатой схемой резания, спроектированной на основе проведенной оптимизации, с характеристиками: $D=125\text{мм}$, $Z=12$, $\varphi=10^\circ$, $f_z=0.17\text{ мм/зуб}$, $a_p=15\text{ мм}$, $n=560\text{ об/мин}$. При равной стойкости $T=300\text{ мин}$ рост производительности новой конструкции фрезы составляет 95 % и достигает $976\text{ мм}^3/\text{мин}$ при сокращении штучного времени в 3.1 раза и мощности резания в 1,8 раза, составляющей 15 кВт. На основе предложенного подхода разработан ряд конструкций сборных фрез модульного типа с возможностью регулирования вылета кассет с пластинами в радиальном, осевом, и угловом положении.

Тенденция развития технологий высокопроизводительной лезвийной обработки

Бачанцев А.И.

Белорусский национальный технический университет

На современных предприятиях методы получения заготовок постоянно совершенствуются, стремясь оставлять как можно меньше припуска на последующую обработку. Но до настоящего времени литьё иковка широко используются на производстве из-за их относительной простоты и дешевизны. Лезвийная обработка на подавляющем большинстве машиностроительных предприятиях была и остаётся основным способом черновой обработки. Припуски под лезвийную обработку после литья и штамповки достаточно велики, поэтому черновая обработка занимает значительное время в технологическом процессе изготовления детали. Необходимо стремиться повышать её эффективность. Большинство производителей современного инструмента рекомендуют операции чернового точения осуществлять при режимах резания с большой глубиной и увеличенными подачами. И для этого выпускают сменные пластины для глубин до 20 мм и более. Такие режимы очень увеличивают мощность резания. Современная тенденция станкостроения – объединить всю лезвийную обработку в один станок. Следовательно, при большой мощности станка, на получистовых и чистовых операциях, которые занимают большее время обработки, будет большая недогрузка по мощности. Грубые расчёты показывают, что при загрузке оборудования на 15% потери составляют 75% от полезной мощности, при загрузке на 25% потери 50%.

С возникновением твёрдых сплавов «скоростное» направление в области повышения производительности победило «силовое». Сейчас разрабатываются новые сплавы, но анализ источников за последние 30 лет показал, что скорость резания для сталей группы V при черновом точении (подача 0,8 мм/об) в среднем увеличились со 120 до 270 м/мин. За последние 8 – 10 лет скорость увеличилась в среднем на 10 - 15%. Это говорит о том, что резерв увеличения производительности за счёт увеличения скорости практически исчерпан.

Известно, что на повышение производительности в большей степени влияет подача, но рекомендуемая подача для черновой обработки выросла за 30 лет в среднем только на 10%. Расчёты и эксперименты показывают, что при увеличении подачи и обработке за несколько проходов можно добиться увеличения производительности до 70%.

О возможности исследования процесса деформации срезаемого слоя

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

Белорусский национальный технический университет

При сверлении, как и при других видах обработки, в зависимости от условий резания получают стружки различных типов (сливная, надлома и т.д.). Для изучения процесса стружкообразования широко используется металлографическое исследование корней стружек, полученных при мгновенном прекращении процесса резания.

При сверлении в зависимости от обрабатываемого материала, режимов резания и геометрии режущей части сверла изменяется характер и форма получаемой стружки. Изменение режимов резания угла наклона винтовой канавки сверла и другие факторы существенно влияет на процесс деформации срезаемого слоя и стружкообразования. Показателем деформации снимаемого слоя металла является его усадка, т.е. размерные изменения, которые испытывает слой металла переходящий в процессе резания в стружку. Величину усадки стружки можно определить в зависимости от геометрических параметров переднего угла инструмента и угла сдвига.

Существуют методы экспериментального изучения пластической деформации при резании металлов, предусматривающие сохранение стружки при резании в том виде, в каком шел процесс ее образования, с целью определения действительного угла сдвига.

Исследование процесса пластического деформирования срезаемого слоя производится с помощью устройств для получения корней стружек при одновременном вращении инструмента и образца.

Устройство для получения образца при исследовании процесса резания предлагаемое авторами, устраняет известные недостатки, выгодно отличается от существующих устройств и может быть использовано при сверлении, расверливании, зенкерования и развертывании.

Такое устройство обеспечивает мгновенное прекращение процесса резания при вращающемся инструменте и неподвижном изделии.

С этой целью инструмент закреплен в расположенных на оправке подпружиненных прихватах, взаимодействующих с подпружиненными упорами. Упоры установлены во вращающемся вместе со шпинделем гильзе и фиксируют прихваты при взаимодействии с внутренней стенкой, закрепленной ша шпинделе и охватывающей гильзу втулки, имеющей переменную величину.

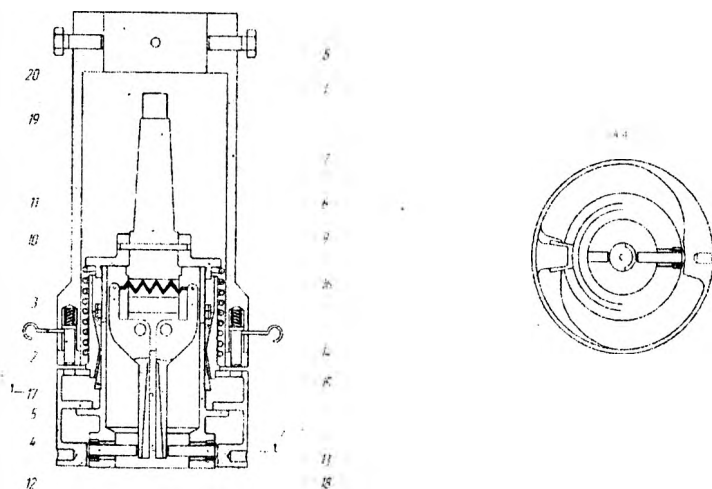
Устройство для исследования процесса резания

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

Белорусский национальный технический университет

Для исследования процесса резания в случае встречного вращения инструмента и детали может применяться специальное устройство для получения образца стружки.

При включении станка все устройство получает вращательное и поступательное движение от шпинделя 19, кроме гильзы 1, которая совершает только поступательное движение от гильзы 20. Вращение инструменту от шпинделя 19 передается через оправку 8 и прихваты 9 и 10. Предлагаемое устройство работает следующим образом. Во время процесса резания чеку 3 вынимают, освобождая подпружиненный фиксатор 2, который перемещается вниз. Он входит в отверстие на втулке 4 и останавливается вместе с выступом 5, а гильза 14 с упорами 12 и 13 продолжает вращение. Когда упоры 12 и 13 пройдут участок максимальной толщины втулки 4, прихваты 9 и 10 под действием пружины 11 освобождают хвостовик инструмента, и резанием прекращается. Одновременно с осевым перемещением упоров 12 и 13 от центра к стенке с минимальной толщиной втулки 4, выступ 5 скользит по выступу 15 до полного разъединения, и под действием пружины 6 втулка 4 с выступом перемещаются вниз до соприкосновения. Затем станок выключают.



Тенденции развития технологий быстрого изготовления

Колесников Л.А., Манжуло Г.П., Якимович А.М.
Белорусский национальный технический университет

Альтернативный путь развития отечественного машиностроения – не догонять развитые страны, а обогнать их, широко используя принципиально новые технологии, такие, как «быстрое прототипирование» (Rapid Prototyping, RP) или «аддитивные технологии» (Additive Techniques). Более 40% установок для быстрого прототипирования находятся в США и Канаде, примерно 24% – в странах ЕС, 16% – в Японии, Южной Корее и на Тайване. Российская Федерация имеет чуть более 1%, Китай – чуть менее 8% таких установок.

Наиболее широко эти технологии используется при производстве потребительских товаров и электроники – 28%, в автомобильной промышленности – 20%, в аэрокосмическом и индустриальном машиностроении – 15%, в медицине – 13% (изготовление протезов и имплантатов) и в образовании – более 10%.

В настоящее время рынок технологий быстрого прототипирования составляет около \$1.5 миллиардов и развивается со среднегодовым темпом более 26%. Предполагается, что к 2016 году он вырастет до \$3.1 миллиардов и до \$5.2 миллиардов к 2020 году.

Перечислены перспективные направления развития этой отрасли, а также проведен анализ факторов, препятствующих широкому использованию технологий аддитивного производства в отечественных условиях. Приведены возможные пути преодоления этой ситуации, включающие организацию отечественного центра компетенции в области быстрого прототипирования. Показано, что к задачам такого центра можно отнести разработку учебных программ и проведение обучения для конечных пользователей в промышленности, сертификации установок и материалов для быстрого изготовления, создание сообщества специалистов для исследований в этой области, а в перспективе – организация коллективной работы с промышленными установками для быстрого прототипирования.

Поскольку технологии быстрого прототипирования имеют огромное будущее, а количество участников этого рынка и его объем еще очень небольшие, их широкое использование в отечественном машиностроении создает для него уникальный шанс реализовать свой интеллектуальный потенциал и выйти на мировой рынок с действительно прибыльными товарами и услугами.

Математическое моделирование износа и стойкости при вибрационном точении

Мищенко С.Н., Туромша В.И.

Белорусский национальный технический университет

При токарной обработке ряда материалов возникает необходимость в нахождении путей повышения обрабатываемости, улучшения качественных показателей обработанной поверхности: шероховатости, твердости поверхностного слоя и так далее. При обработке ряда материалов, таких как мягкая сталь, медь, латунь, свинец, олово, образуется сливная стружка, создавая необходимость в применении стружколомов или остановки процесса резания для прекращения образования стружки.

Точение с вибрациями в осевом направлении позволяет добиться надежного дробления стружки, а также повысить обрабатываемость за счет некоторого уменьшения возникающих в процессе резания сил и снижения мощности.

Обработка резанием с вибрациями также может рассматриваться как возможность добиться повышения виброустойчивости системы при точении. Кроме того, необходимо учитывать целесообразность применения данного вида обработки для формирования эксплуатационных характеристик детали, так как применение вибраций может вызывать появление наклепа в поверхностном слое за счет сжимающих либо растягивающих напряжений.

Точение с вибрациями в общем случае сопряжено с переходными процессами, которые возникают при врезании и выходе инструмента и приводит к изменению процесса пластической деформации. При обработке с вибрациями возникает необходимость в оценке таких параметров, как сила резания, затрачиваемая мощность, период стойкости и ожидаемый износ инструмента, а также шероховатость получаемой поверхности, выделяемое количество теплоты и интенсивность тепловыделения, что существенно в большей степени для прерывистого процесса резания.

В работе приводятся основные виды вибрационного резания: прерывистое, непрерывное, ударно-прерывистое, кинематика процессов резания с осевыми вибрациями синусоидальной формы, представлены теоретические зависимости для определения износа и стойкости инструмента при прерывистом и непрерывном характере вибраций. Произведено сравнение показателей производительности при обработке с вибрациями по сравнению со стационарным процессом, а также значения

износа и стойкости. Производится прогнозирование величины шероховатости обработанной поверхности при разных режимах.

УДК 621.024

Моделирование шнековых сверл

Дечко Э.М.

Белорусский национальный технический университет

Применение методов компьютерного моделирования позволили исследовать некоторые параметры транспортирующей и режущей частей шнековых при изменении нагрузок в процессе резания. Спиральные сверла при исследовании принято рассматривать как стержни естественной завитости, защемленные с одной стороны. Сверла находятся под воздействием крутящего момента, осевой силы и испытывают одностороннее кручение, сжатие и продольный изгиб. Теоретически и экспериментально доказано, что процесс резания сопровождается низкочастотными колебаниями [1-4]. Кроме того, при врезании спираль сверла раскручивается, и сверло удлиняется на величину до 0,5 подачи.

Модель шнекового сверла была разработана в пакете Solid Works. Твердотельная 3D модель сверла допускает добавление, изменение различных параметров для исследования влияния нагрузок на режущую и транспортирующую части сверла, инструмент и зону резания.

Применение метода конечных элементов (пакет ANSYS Workbench) позволило получить новые результаты по деформационным процессам и напряжениям в транспортирующей и режущей частях сверл; рассчитать минимальное сечение транспортирующей части; увеличение диаметра сверла при раскручивании спирали; показать изменение температур и положения режущей кромки при нагрузках по направлению к уголку; объяснить увеличение износа сверла по задней поверхности по направлению к ленточкам.

Литература

1. Дечко, Э.М. Сверление глубоких отверстий в сталях. – Мн.: Выш. школа, 1979. – 232 с.
2. Костюкович, С.С., Дечко, Э.М., Долгов, В.И. Точность обработки глубоких отверстий. Мн., «Высшая школа», 1978. – 144 с.
3. Дечко, Э.М., Колесников, Л.А., Брилевский, В.В. Деформация шнековых сверл. // Машиностроение. – вып. 24, т. 2, БНТУ, 2009. – С. 108...111.
4. Дечко, Э.М., Воронович, А.В. Влияние сил резания на деформации и напряжения в шнековых сверлах // Инновационные технологии в машиностроении. Материалы международной научно-технической конференции. ПГУ, 2011. – С.1 33... 136.

Глубинное шлифование с непрерывной правкой шлифовального круга

Корниевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

Под термином «непрерывная правка» понимается метод профилирования алмазным роликом фасонных шлифовальных кругов в процессе шлифования. Этот метод является одним из последних достижений в области глубинного шлифования. Одно из его основных преимуществ, достигаемых непрерывной правке круга, является повышение скорости схема металла по сравнению со скоростью схема при периодической правке. Также повышается размерная точность и точность формы обрабатываемых деталей, уменьшается тепловое воздействие на изделие при уменьшении и стабилизации сил шлифования. Кроме того, непрерывная правка круга снимает ограничения налагаемые при периодической правке на длину шлифования износом круга, что позволяет обрабатывать методом глубинного шлифования детали недоступной ранее длины, или несколько коротких изделий за один проход.

Для проведения непрерывной правки станок оснащается приспособлением, смонтированным на шлифовальной бабки, подающей алмазный ролик на шлифовальный круг со скоростью, равной скорости износа шлифовального круга, что обеспечивает параллельность обработанной поверхности направлению движения стола станка. Рекомендуемая подача алмазного ролика – 1...2 мкм на оборот круга, при скорости шлифования 30...33 м/сек.

Например, при обработке быстрорежущей стали Р6М5 (HRC 66) кругом из электрокорунда при подаче 0,002 мм/оборот и скорости стола 1 м/мин, скорость съема составила около 50 см³/мин. При непрерывной правке круг изнашивается быстрее, чем при периодической; при описанных условиях скорость износа круга достигала 0,39 мм на 100 мм длины шлифования. Однако, значительно возрастает производительность. Так, при обработке вязкой никелевой стали двукратному повышению скорости износа круга сопутствует десятикратное повышению скорости съема. По оценкам экспертов, реализация непрерывной правки круга при глубинном шлифовании может повысить производительность обработки более чем на 100% при снижении себестоимости от 30 до 70%.

Единственный недостаток глубинного шлифования с непрерывной правкой круга по сравнению с периодической – ухудшение шероховатости обработанных поверхностей, объяснимое отсутствием затупленных зерен

и засаливания круга. При необходимости шероховатость может быть уменьшена введением дополнительного выхаживания.

УДК 629.735

Влияние формы и ориентации сферических фрез на регулярную шероховатость обработанной поверхности

Кочергин А.И., Ратько Е.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Проблематика. Данная работа направлена на исследование формы и ориентации сферических борфрез и их влияние на регулярную шероховатость обработанной поверхности.

Цель работы. Количественное определение размера регулярной шероховатости обработанной поверхности для простых и сложных поверхностей. Получение оптимальной величины микронеровности в зависимости от ориентации и периодической подачи сферической фрезы.

Объект исследования. Сферические фрезы малых диаметров, работающие с высокими частотами вращения. Рассмотрены наиболее распространенные случаи, определяющие характер перемещения сферических фрез, – прямолинейные и криволинейные поверхности. Криволинейные поверхности, в свою очередь, делятся на поверхности с постоянной и переменной кривизной, при этом все поверхности могут быть выпуклыми и вогнутыми или частично выпуклыми, а частично вогнутыми.

Полученные научные результаты и выводы. Разработана методика получения оптимальной величины микронеровности в зависимости от ориентации и периодической подачи сферической фрезы. Регулярная шероховатость при обработке сложных поверхностей, хотя и имеет много общего с неровностями, возникающими при обработке простых поверхностей, но отличается от них по величине и по форме. А количественное определение шероховатости поверхности в таком виде, как оно применяется для простых поверхностей, неприменимо для сложных. На основе полученной модели произведено исследование влияния угла наклона сферической фрезы на величину регулярной шероховатости при различных подачах и диаметрах режущего инструмента.

Практическое применение полученных результатов. Полученная математическая модель в дальнейшем может послужить основой для написания управляющих программ для станков с ЧПУ при обработке сферическими фрезами по критерию минимума величины микронеровностей обработанной поверхности.

Горные машины

Описание кривых течения сапропелевой суспензии

Кислов Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Цель заключалась в оценке влияния реологического фактора на процессы переноса сапропелевой суспензии при ее гидротранспорте и определении напряжений сдвига в зависимости от концентрации. Эти данные необходимы для оценки энергозатрат на гидротранспорт суспензии.

По данным д.т.н. Лопотко М.З. оптимальное содержание твердого (концентрация) $\mu_{\text{опт}}$ в сапропелевой пульпе зависит от ее зольности A . При изменении A от 30 до 70 % величина $\mu_{\text{опт}}$ увеличивается в пределах $3 \div 8$ %. На практике пульпа содержит только 50-70 % твердого от оптимальной концентрации. В итоге реально ожидаемая концентрация $\mu_{\text{р}}$ может составить 2,15-5,40 %. Эксперименты подтвердили эти данные. Так, для озера Мотольское $\mu_{\text{р}} = 4,84$ %. В результате обработки опытных данных установлено, что $\mu_{\text{опт}} = f(A)$ подчиняется закономерности $\mu_{\text{опт}} = 0,02 + 2,3 \cdot 10^{-3} e^{3,6 \cdot A}$ ($\mu_{\text{опт}}$ и A в долях единицы).

Определение реологических характеристик сапропелевой суспензии озера Мотольское выполнено методом трубной вискозиметрии (зольность $A = 67,7$ %, $\mu_{\text{р}} = 1,26 \div 5,08$ %). Оказалось, что кривые течения близки к степенной зависимости со свободным членом. Это позволило отнести суспензию к неньютоновской жидкости, а ее реологическое состояние описать моделью Балкли-Гершеля, которая при $\mu_{\text{р}} = 0,0126 \div 0,0508$ принимает вид: $\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n = \tau_0 - 4 \cdot 10^{-4} (1 - \mu_{\text{р}}) \cdot \dot{\gamma}^{1,8}$, где τ – напряжение сдвига; τ_0 – предел текучести; $\dot{\gamma} = d\dot{\gamma}/dr$ – градиент скорости сдвига; k – коэффициент разжижения суспензии; n – характеристика отклонения свойств суспензии от ньютоновской жидкости. При этом предел текучести подчиняется закономерности $\tau_0 = 0,02 \cdot \exp[81\mu_{\text{р}}]$. Коэффициент разжижения суспензии $k = 0,0004$ по мере увеличения $\mu_{\text{р}}$ в пределах $0,0126 \div 0,0508$ кг/кг незначительно влияет на τ . Величина τ_0 с увеличением $\mu_{\text{р}}$ возрастает почти в 22 раза, то есть суспензия в состоянии покоя обладает значительно большим сцеплением чем несущая среда.

Зависимости $\tau = f(\dot{\gamma}, \mu_{\text{р}})$ необходимы для моделирования процесса массопереноса при течении сапропелевой суспензии в системах гидротранспорта и оценки затрат мощности.

Оценка статической устойчивости шагающего отвалообразователя

Казаченко Г.В., Басалай Г.А., Ярмолинская А.А., Неверовская Я.Б.
Белорусский национальный технический университет

Отвалообразователь – полноповоротная горнотранспортная машина, предназначенная для перегрузки и складирования в отвал сыпучих материалов. При производстве калийных удобрений они используются при складировании отходов обогатительных фабрик. На ОАО «Беларуськалий» применяются два типа шагающих отвалообразователей: с длиной отвальной консоли 110 м и 75 м. Машины работают при неблагоприятных горно-геологических условиях. Во-первых, технологические площадки, где работают отвалообразователи, расположены на верхних уровнях солеотвалов, т.е. на значительной высоте по отношению к окружающему рельефу земной поверхности. Это сопровождается существенным воздействием на них ветровых нагрузок, особенно во время дождя или снега, которые могут вызвать потерю устойчивости машины. Во-вторых, отличительной особенностью машины является то, что она опирается элементами движителя на сыпную недостаточно уплотненный грунт. В-третьих, ленточный конвейер представляет собой массивную и сложную динамическую систему.

При этих условиях приобретают исключительное значение вопросы долговечности, и устойчивости работы машин. Кроме того, необходимо учитывать, что простой этих машин связаны с большими убытками. Выход из строя одного агрегата вызывает простой всего комплекса машин, занятых на формировании солеотвалов, вплоть до остановки обогатительной фабрики.

При работе отвалообразователя ветровые нагрузки могут существенно изменяться как по величине, так и по направлению, что приводит к динамическим колебаниям системы, которые также способствуют потере устойчивости. Анализируя устойчивость отвалообразователя целесообразно рассматривать две ее формы: статическую и динамическую. В настоящей работе рассматривается статическая устойчивость, т.е. устойчивость при действии постоянных нагрузок. Для оценки статической устойчивости рационально использовать методику проф. Ф.А. Опейко, основанную на недопустимости работы отвалообразователя с неполным использованием опорной поверхности его базы. Условие надежной устойчивости будет соблюдаться, когда координаты центра давления машины на опорное основание не выходят за пределы ядра сечения. В противном случае будет использоваться не вся площадь опорной базы, что влечет уменьшение площади опорной поверхности и вызывает существенное перераспределение давления по площади пятна контакта. Как следствие – увеличение значений давления и прогрессирующий рост деформации опорного основания.

Влияние свойств сырья на энергозатраты при обогащении

Березовский Н.И., Лесун Б.В., Нагорнов В.Н., Драгун Е.С.
Белорусский национальный технический университет

Влажность, зольность, дисперсность, плотность являются наиболее определяющими факторами при оценке эффективности обогащения твердых горючих ископаемых. Основные физико-механические показатели твердых горючих ископаемых тесно связаны с категорией минерального сырья и зависят от ботанического состава, степени разложения и других факторов месторождения. Для оценки характеристик месторождения и предприятия нами использовался метод имитационного моделирования, который состоит в многократном воспроизведении функционирования исследуемой системы на основе анализа математической модели.

Полученные результаты представляют собой выборки случайных величин, характеризующих функционирование исследуемой системы. Имитационное моделирование как статистический эксперимент отличается от обычного лабораторного эксперимента тем, что его полностью можно провести на ЭВМ. При его реализации систем со случайными исходами часто применяют метод статистических испытаний. Вместо того чтобы описывать процесс с помощью аналитического аппарата, производится розыгрыш случайного явления с помощью специально организованной процедуры, включающей в себя случайность и дающей случайный результат. Множество таких исходов используют как статистический материал для получения математического ожидания и дисперсии случайных величин.

Методом имитационного моделирования получены средние значения программы для торфобрикетного завода «Усяж», равные 220000 тонн, площадь $F = 564$ га, сезонный сбор $Q_c = 350$ т/г. Если данные расчеты выполнить по средним значениям исходных данных, то $P = 225000$ т, $F = 490$ га, $Q_c = 511$ т/га. Поэтому расчет по средним значениям дает завышенные значения Q_c и заниженные F и P .

Эти расчеты показали, что расчетные значения программы предприятия зависят от точности определения запасов залежей. В нашем случае оценка запасов с ошибкой в 15-20 % приводит к неправильному определению числа лет стабильной работы предприятия. Моделирование позволяет оценить влияние вариабильности характеристик залежи на результат определения необходимой производственной площади. Расчет по средним характеристикам залежи может привести к ошибкам, достигающим 30 %, что приведет к неправильной оценке объема работ, плановых заданий.

Организация усреднительных складов

Березовский Н.И., Березовский С.Н., Драгун Е.С., Лесун Б.В.
Белорусский национальный технический университет

Для дробильно-сортировочных заводов (ДСЗ) очень важным фактором являются характеристики поступающего минерального сырья, в частности, насколько они отличаются от проектных. Установлено, что, если перерабатываемая гравийно-песчаная смесь (ГПС) содержит на 10% больше или меньше гравия, чем предусмотрено в проекте, производительность ДСЗ уменьшается значительно больше, чем на 10%. При поставке минерального сырья, качество которого не соответствует технологическому регламенту, не только уменьшается производительность оборудования, но ухудшается и качество разных видов продукции, повышается удельный расход сырья, увеличиваются затраты на переработку. Следовательно, состав минерального сырья, доставляемого из карьера на переработку, нужно регулировать. То есть, нужна система управления качеством по всем процессам производства, как в карьере, так и на перерабатывающем комплексе.

Одним из приемов, создающих условия для поставки горной массы заданного состава, является селективная выемка разносортного сырья и его усреднение. Селективная выемка применяется на некоторых карьерах нашей страны, а усреднение ГПС в карьерах не применяется. Такое положение сложилось из-за стремления экономить средства за счет строительства усреднительных сооружений, хотя затраты на их устройство небольшие, особенно на склады полузакрытого типа. На зарубежных карьерах получили распространение усреднительные склады между отделениями первичного и вторичного дробления.

Организация промежуточного склада может увеличить мощность и экономичность работы предприятия за счет: увеличения чистого времени работы комплекса добычного оборудования и ДСЗ; обеспечения равномерной и по возможности максимальной загрузки технологического оборудования ДСЗ; возможности усреднения качества поставляемого на ДСЗ сырья (должно быть 40 – 50 % гравия и валунов в сырье); концентрации горных работ во времени, введения двухсменного, а в ряде случаев односменного режима работ в карьере с увеличением единичной мощности горнотранспортного оборудования. На целесообразность организации промежуточных складов указывает опыт российских и зарубежных предприятий нерудной промышленности, а также смежных отраслей горнодобывающей промышленности. Вместимость и тип промежуточного склада зависят от производительности ДСЗ.

К вопросу определения коэффициента трения материала о стенки пневмотранспортного трубопровода

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Коэффициент λ_m сопротивления перемещению частиц транспортируемого материала зависит от реализуемой в каждом конкретном случае пневмотранспорта совокупности текущих режимных параметров -- размерно-плотностных и аэродинамических характеристик частиц, размеров и геометрии пневмотранспортного трубопровода, массовых производительностей по воздуху и материалу. Поэтому λ_m не может служить константой, характеризующей транспортируемый материал.

Урбан [1] показал, что при установившемся режиме пневмотранспорта коэффициент $\lambda_m = k_m \varepsilon$, где k_m -- коэффициент трения частиц о стенки трубопровода, зависящий вида материала, степени шероховатости и материала стенок; $\varepsilon = \mathcal{Q}_{mk} / \mathcal{Q}_0$ -- коэффициент относительного скольжения воздушной и твердой фаз; \mathcal{Q}_0 и \mathcal{Q}_x -- действительные скорости воздуха и витания новившемся режиме, $\mathcal{Q}_{mk} = \mathcal{Q}_0 - \mathcal{Q}_x$ -- конечная скорость частиц материала.

Получено выражение для определения k_m при установившемся режиме пневмотранспорта по известным действительным скоростям

$$k_m = 2 \frac{gD}{\mathcal{Q}_x^2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^2} - 2 \frac{gD}{\varepsilon^2} \cdot \frac{\mathcal{Q}_x^2}{\mathcal{Q}_0^2} \sin \alpha,$$

где D -- диаметр пневмотранспортного трубопровода; g -- ускорение свободного падения; α -- угол наклона трубопровода к горизонту.

В вертикальном трубопроводе коэффициент k_m будет постоянен и может использоваться как константа, характеризующая транспортируемый материал.

В наклонном и горизонтальном трубопроводах k_m будет приближенно постоянен при больших скоростях несущей воздушной среды.

Литература

1. Урбан, Я. Пневматический транспорт. / Пер. с чешс./ Я. Урбан. М.: Машиностроение, 1967. -- 256 с.

Зависимость коэффициента сопротивления материала при пневмотранспорте от относительного скольжения фаз

Петренко С.М.

Белорусский национальный технический университет

Относительное скольжение между несущей воздушной фазой и частицами распределенной в ней твердой фазы является своеобразным «регулятором» истинной объемной концентрации транспортируемого материала как результата изменения условий силового взаимодействия в объеме движущейся аэросмеси при изменении любого режимного параметра процесса пневмотранспорта. Относительное скольжение фаз является интегральной оценкой совокупности реализуемых режимных параметров пневмотранспорта и оценивается коэффициентом относительного скольжения $\varepsilon = \mathcal{Q}_m / \mathcal{Q}_a$, где \mathcal{Q}_m и \mathcal{Q}_a – действительные скорости частиц материала и воздуха. Поэтому при математическом моделировании процесса пневмотранспорта целесообразно использовать зависимость коэффициента λ_m сопротивления транспортируемого материала от коэффициента относительного скольжения ε и легко регистрируемых в опытах расходных режимных параметров – приведенных (отнесенных ко всему поперечному сечению трубопровода) скоростей V_a несущей среды и V_m витания частиц, расходной массовой концентрации μ .

Из анализа силового взаимодействия в движущемся объеме аэросмеси получена зависимость

$$\lambda_m = 2 \frac{gD}{V_m^2 \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2\right)^3} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2 \left(\frac{\mu\rho_a + \varepsilon\rho_m}{\varepsilon\rho_m}\right)^7}{\varepsilon^2} - \frac{gD}{V_a^2} \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_m}\right) \sin \alpha \cdot \frac{\rho_m^2}{(\mu\rho_a + \varepsilon\rho_m)^2} +$$

$$+ \frac{0,3164}{\left(\frac{V_a D}{\nu} \cdot \frac{\mu\rho_a + \varepsilon\rho_m}{\varepsilon\rho_m}\right)^{0,25}} \cdot \frac{\rho_a}{\varepsilon^2 \rho_m},$$

где ρ_a и ρ_m – плотности воздуха и частиц; ν – кинематическая вязкость воздуха; d – эквивалентный диаметр частиц; D – диаметр трубопровода; α – угол наклона трубопровода к горизонту; g – ускорение свободного падения.

Метод решения системы динамических уравнений движения фрезформовочного тракторного агрегата

Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Математическое описание динамической системы фрезформовочного колесного тракторного агрегата для добычи кускового торфа осуществляется с помощью системы нелинейных дифференциальных уравнений, включающих в себя математическую модель дизельного двигателя, трансмиссии, фрикционных элементов, взаимодействия дисковой фрезы с залежью и перерабатывающего пресса. Некоторые значения сил и моментов, действующих на фрезформовочный агрегат, ограничены по своей величине. Так, касательная сила тяги и крутящий момент ведущего колеса ограничены силами сцепления колеса с грунтом, тем самым имеют ограничения и пиковые динамические моменты в трансмиссии трактора. Момент сопротивления на валу шнекового формователя ограничен максимально возможным развиваемым нормальным давлением, зависящим не только от свойств материала. В зависимости от состояния фрикционных элементов изменяется число уравнений в исходной системе дифференциальных уравнений. Рассмотренные особенности системы дифференциальных уравнений потребовали разработки методики решения динамических уравнений, описывающих движение фрезформовочного тракторного агрегата, как в транспортном режиме, так и при совершении технологической операции.

Согласно различным рекомендациям динамика движения тракторного агрегата рассматривалась, начиная с процессов его трогания и разгона до установившейся скорости. Контроль правильности задания начальных условий для исходной системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику фрезформовочного тракторного агрегата на базе конкретного трактора, начиная с процесса его трогания и разгона, осуществлялся на основе кинематической схемы базового трактора и фрезформовочного оборудования. Также особенностью задания начальных условий является то, что хотя бы одно начальное условие не должно равняться нулю (остальные могут иметь нулевые значения).

Таким образом, метод решения системы динамических уравнений движения фрезформовочного тракторного агрегата сводится к следующим основным этапам: решение исходных дифференциальных уравнений относительно старших производных; понижение порядка исходных дифференциальных уравнений до первого; установление начальных условий; выбор шага интегрирования исходной системы дифференциальных уравнений; решение исходной системы дифференциальных уравнений.

Устройство для регулирования интенсивности перерабатывающей способности шнекового формователя

Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Для поиска средств управления качеством кускового торфа с различными физико-механическими свойствами проведен анализ конструкции шнекового формователя, что позволило рассматривать следующие пути организации средств регулирования интенсивности его перерабатывающей способности: изменение частоты вращения вала, шага витков, числа витков, радиуса шнека, длины формователя, диаметра формователя, числа формователей. Выявленные параметры можно проанализировать с помощью известных расчетных зависимостей, полученных такими учеными как Опейко Ф.А., Килов Н.В. и др., в которые входят значения величин, изменяемых с помощью регулирования или настройки. Анализ данных зависимостей свидетельствует о том, что размеры формователя оказывают значительное влияние на развиваемое нормальное давление, так как шнековый пресс развивает такое давление, которое необходимо для преодоления противодавления в формователе. Т.е. изменяя параметры формователя можно управлять развиваемым давлением в шнековом прессе снижая его значение от максимального до необходимого значения, а, следовательно, и управлять интенсивностью перерабатывающей способности.

С целью обеспечения возможности регулирования интенсивности перерабатывающей способности предлагается конструкция шнекового пресса, который дополнительно содержит устройство регулирования площади проходного сечения, состоящее из двух дисков с отверстиями, которые могут проворачиваться друг относительно друга и изменять площадь проходного сечения отверстий. Устанавливая данное устройство между шнековым прессом и формователем, появляется возможность плавного регулирования противодавления формования и перерабатывающей способности пресса за счет изменения площади проходного сечения.

Также планируется проведение лабораторных исследований на установке, которая позволяет определять давление формования переработанного вязко-пластичного торфа. Используя вышеописанное устройство, предполагается экспериментально установить зависимость изменения давления формования при изменении площади проходного сечения отверстий. Сравнение результатов расчета с опытными данными позволит подтвердить возможность регулирования интенсивности перерабатывающей способности шнекового формователя, а, следовательно, и возможность настройки на торфяную залежь с определенными свойствами.

Причины шума и вибраций технологического оборудования

Тарасов Ю.И., Лютко Г.И.

Белорусский национальный технический университет

К причинам изменения вибрационного состояния машин можно отнести: изменение взаимного расположения вращающихся валов; повреждением или износом подшипников качения и скольжения; дефектами сопряжений, в том числе зубчатых передачах и т.д.

При распространении звуковых волн происходит перенос энергии. В условиях свободного звукового поля интенсивность звука (I) измеряют средним количеством энергии, происходящей в единицу времени через единицу поверхности, нормальной направлению распространения звука.

Между интенсивностью и звуковым давлением существует зависимость:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}, \text{ Вт/м}^2,$$

где p – мгновенное значение звукового давления, Па;

$\rho \cdot c$ – удельное акустическое сопротивление среды (для воздуха $\rho \cdot c = 410$ Па·с/м). ρ – плотность среды, кг/м³, c – скорость звука в среде, м/с.

Уровень звукового давления (УЗД) определяется по формуле

$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{p}{p_0}\right), \text{ дБ}$$

где p – измеренное значение звукового давление, Па.

В производственных помещениях находятся обычно несколько источников шума, каждый из которых оказывает влияние на общий уровень шума рабочего места. Суммарный уровень шума:

$$L_c = 10 \cdot \lg(10^{0.1 \cdot L_1} + \dots + 10^{0.1 \cdot L_n}),$$

где $L_1 \dots L_n$ – УЗД создаваемое каждым источником в расчетной точке.

При $L_1 = L_2 = L_n$ – суммарный шум:

$$L_c = L_n + 10 \cdot \lg n,$$

где L_n – уровень шума одного из n источников.

На рабочих местах измерение шума по рассмотренным параметрам должно выполняться для оценки шумового режима рабочего места и сравнения фактических данных с допустимыми значениями, установленными санитарными нормами, а также при проведении санитарно-технической паспортизации объектов и разработке мероприятий по снижению шума.

**Экологические аспекты освоения месторождений
полезных ископаемых**

Тарасов Ю.И., Арабей М.А.

Белорусский национальный технический университет

Добыча полезных ископаемых неизбежно затрагивает вопросы взаимосвязи проблем охраны недр с задачей рационального использования минеральных ресурсов, минимизации вредного экологического воздействия горного производства на окружающую среду и на человека.

Старобинское месторождение калийных солей – одно из крупнейших в мире и второе по величине на территории СНГ.

Богатства Старобинского месторождения представлены сильвинитом (калийная соль), карналитом (магнезильная соль) и каменной (пищевой) солью. Калийные соли располагаются внутри пластов каменной соли.

Горнодобывающее и перерабатывающее предприятие ОАО «Беларуськалий» расположено на большой территории и имеет довольно крупные горные отвалы в пользовании, поэтому нагрузка на них и на окружающую среду также велика.

Изымая огромные по объему массы породы, вмещающие полезное ископаемое, меняется геологическая среда, что приводит к ослаблению горного давления внутри напряженного массива; формированию полостей окисления природных агентов; образованию провалов земли на дневной поверхности; активизации эрозии почв; нарушению первичных природных условий окружающей среды.

Установлено, что от исходных компонентов природного ландшафта и внесенных в них изменений при формировании техногенного ландшафта зависит выбор направления последующего использования земель. В свою очередь установленное направление рекультивации нарушенных земель определяет требования к их качеству и, следовательно, к технологии вскрышных, отвальных и рекультивационных работ, т. е. существует прямая и обратная связь между технологией горных работ, определяющей характеристику техногенного ландшафтного комплекса и направлением рекультивации.

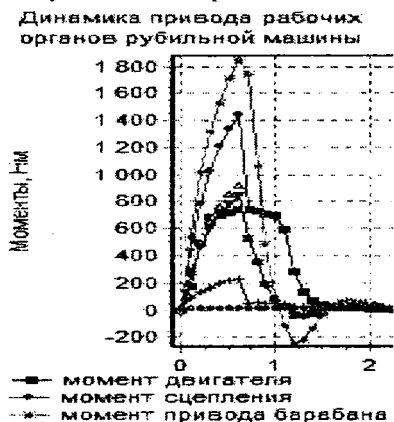
Подход к рекультивированным землям как к одному из видов продукции горного предприятия, производство которого планируется и контролируется, существенно определяет эффективность и качество горного производства в целом, существенно снижает его негативное воздействие на окружающую среду, имеет большое социальное и экономическое значение.

К оценке адекватности модели неустановившихся процессов движения горного оборудования

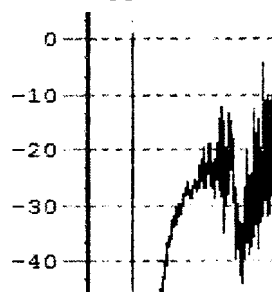
Таяновский Г.А., Гушин Э.П., Хамицевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Подтверждение адекватности разработанной механико-математической модели неустановившихся режимов движения горного оборудования представляет определенную сложность. Пример моделирования динамики привода рубильной машины приведен на рисунке слева. На рисунке справа представлена осциллограмма ускорений торможения многоканатного скипа, полученная экспериментально.



осциллограмма боковых ускорений большегрузного скипа



В обоих случаях процессы переходные, однако на основе подобных «пар» расчетных и натурных осциллограмм, полученных в одинаковых условиях, можно произвести оценку адекватности математической модели машины.

Суть подхода состоит: 1) в натурной записи осциллограмм некоторой физической величины машины с n -кратной повторностью ($n \geq 5$); 2) в получении аналогичной модельной осциллограммы; 3) в определении координат точек осциллограмм через равные промежутки времени (точек в пять раз больше, чем наибольшая частота колебаний на натурной осциллограмме); 4) по ординатам для каждого «сечения процесса по времени» вычисляются значения дисперсии воспроизводимости и адекватности; 5) вычисляют значение критерия Фишера как их отношение и сравнивают с табличным для выбранного числа измерений, если первое значение меньше, то модель адекватна [Алиев Т.А. Экспериментальный анализ. — М.: Машиностроение, 1991. -272 с.].

Особенности движения многоканатных неопроксидных скипов

Таяновский Г.А., Гушин Э.П.

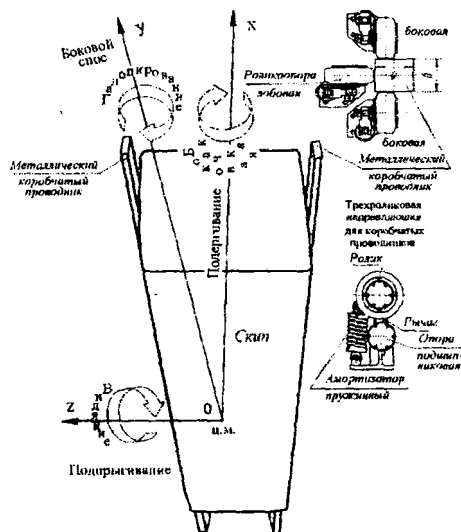
Белорусский национальный технический университет

В практике шахтного подъема на калийных шахтах используют металлические полые проводники прямоугольного сечения. Обеспечение их долговечности возможно только с применением совершенных упругих роликовых направляющих устройств с раздельной подвеской роликов.

Из-за нарушений геометрии стволов проводники имеют достаточно большое количество участков по глубине ствола с местными искривлениями профиля и нарушениями параллельности, что является причиной возникновения нештатного ударного взаимодействия башмаков с проводниками. Необходимость устранения этого явления требует его изучения путем моделирования динамики скипа, участвующего в сложном пространственном движении

(рисунок 1), и проведения работ по усовершенствованию конструкции направляющих.

Рисунок 1 – Движения скипа в стволе по направляющим



При этом математическая модель движения скипа должна позволять рассчитывать динамические нагрузки в опорах скипа, который участвует одновременно в различных по характеру движениях: лобовом нормальном колебании, боковом сносе, продольном

подергивании, поперечном вилянии, продольном галопировании и боковой качке. Модель скипа должна учитывать: эксцентricность загрузки скипа; изменения аэродинамического сопротивления при сложном пространственном движении скипа; неточности установки осей роликов; упругие и демпфирующие свойства канатов; дополнительное боковое усилие на скип при большой длине канатов из-за действия вращения Земли.

**Аспекты обеспечения эффективности получения топливной щепы
из пневой древесины торфоразработок**

Хамицевич М.В.*

Белорусский национальный технический университет

Топливную щепу возможно получать на дисковых, шнековых и барабанных рубильных машинах. Барабанные рубильные машины в меньшей степени чувствительны к неоднородному материалу, чем дисковые рубильные машины, поэтому их и применяют для переработки скорчеванной пневой древесины в условиях торфопредприятий.

Отечественной промышленностью выпускаются несколько моделей рубильных машин разных производителей, а также комплекс машин для производства топливной щепы минского тракторного завода. Комплекс включает: прицепные к тягачам МТЗ рубильные машины с приводом от ВОМ трактора и с гидроманипулятором для подачи древесного материала на рубку – «Беларус» МР-25-02 и МР-25-03 – с теоретической производительностью 25 м³/ч насыпных; рубильную машину «Беларус» МР-40 (40 м³/ч) со своим дизелем; полуприцеп с гидроманипулятором – сборщик древесного материала для рубки «Беларус» МПТ-466.1; контейнерный полуприцеп-доставщик топливной щепы «Беларус» ПК-12.

Система производства топливной щепы из пневой древесины включает последовательность отдельных операций по переработке ее в коммерческое топливо и по транспортировке от места переработки до предприятия пользователя.

Основными этапами процесса производства и поставки щепы являются корчевка торфяного поля, внедорожная транспортировка пня к складочным местам, предварительная разделка негабаритов под размер приемного порта рубильной машины, измельчение в щепу возле склада пня, загрузка в транспортный модуль, вторичная транспортировка уже щепы до предприятия-потребителя, разгрузка у потребителя. Система должна включать организацию, техническое обеспечение, логистику, средства контроля производственного процесса, процедуры ценообразования и поддержки производителя топливной щепы, как это делается за рубежом. Пока такая система у нас не создана, поэтому обеспечение рентабельности производства щепы достигается только в рамках внутреннего производства щепы на торфопредприятии и собственного потребления ее на энергетические нужды за счет минимальных транспортных расходов, рационализации операции предварительной разделки пня и повышения полноты загрузки имеющихся на торфопредприятии тракторов и прицепов.

*Работа выполнена под руководством Таяновского Г.А.

Особенности экстракции гуминовых веществ из торфа при различных условиях

Смирнова В. В., Немкович А. С., Бровка Г. П.
ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»

Известно, что из одного и того же торфа при различных технологических режимах и условиях выделения можно получить гуминовые препараты, отличающиеся как количественными характеристиками (общий и удельный выход, концентрация), так и различными свойствами. Целью настоящей работы было получение новых данных о влиянии условий экстракции гуминовых веществ (ГВ) на технологические показатели процесса экстракции ГВ, в частности, при более высокой температуре (125 °С).

Оценка показателей процесса экстракции ГВ выполнена по параметрам: выход ГВ из сырья, концентрация раствора ГВ, расход сырья, воды, щелочи и тепла на получение 1 кг сухих ГВ в зависимости от концентрации щелочи от 0,4 до 5 %, температуры экстракции (18–20, 96–98, 125 °С) и модуля (1:5, 1:10, 1:50).

При исследовании влияния температуры экстракции на выход ГВ очевидно, что выход ГВ из торфа при 18–20 °С существенно ниже, чем при 96–98 °С как для верхового, так и для низинного типов торфа. Экстракция ГВ из торфа проводилась 2 % NaOH при модуле 1:10. Можно полагать, что ГВ, извлекаемые при комнатной температуре, находятся в торфе в свободном состоянии, а дополнительно экстрагируемые при 96–98 °С, химически связаны с другими компонентами торфа, и они переходят в раствор только после разрушения химических связей при щелочном гидролизе. Дальнейшее повышение температуры до 125 °С не привело к ожидаемому увеличению выхода ГВ, что можно объяснить параллельным протеканием реакций конденсации растворенных ГВ с образованием нерастворимых осадков, данные процессы, по-видимому, превалируют над реакциями щелочного гидролиза при 125 °С. Наибольшие удельные расходы сырья, воды и экстрагента наблюдались при экстракции ГВ при 18–20 °С, а наименьшие – при 96–98 °С. Увеличение температуры до 125 °С не приводит к снижению расходов на получение 1 кг ГВ. С точки зрения энергетики наиболее выгоден процесс экстракции при 18–20 °С, т. е. он протекает без нагревания реакционной смеси. Наибольший расход тепла на получение 1 кг ГВ получается при экстракции ГВ при 125 °С. Представленные новые данные однозначно указывают на нецелесообразность увеличения температуры экстракции ГВ с 96–98 до 125 °С. Это позволит не только минимизировать процессы конденсации ГВ, но и существенно сократить расход энергии на получение ГВ.

Концентрация ГВ в получаемых щелочных растворах зависит от качества сырья, концентрации NaOH в экстрагенте, модуля. Установлено, что для получения концентрации ГВ в растворе порядка 3 % из низинного торфа достаточно использовать 2 %-ный раствор едкого натра, а из верхового – 2,5–3 %, для получения концентрации ГВ около 5 %. Дальнейшее увеличение концентрации NaOH в экстрагенте нецелесообразно, однако при организации производства для конкретного вида сырья следует экспериментально уточнять концентрацию NaOH.

Дальнейшее увеличение концентрации раствора ГВ возможно при снижении модуля до 1:7–1:6. При модуле 1:5 концентрация ГВ в растворе составляет 6,0 % для низинного торфа и 7,3 % для верхового. Однако в данном случае потери ГВ существенно возрастают и составляют около 60 %.

УДК 622.7+631.41

Условия получения жидкого концентрированного медь-цинк-гуминового удобрения

Коврик С.И., Соколов Г.А.

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»

В современном сельском хозяйстве для получения высоких и устойчивых урожаев с хорошим качеством растительной продукции помимо азотных, фосфорных и калийных удобрений обязательно используют микроудобрения и биологически активные препараты.

В представленной работе рассматриваются условия получения устойчивого жидкого концентрированного удобрения, содержащего в качестве биостимулятора роста растений гуминовые вещества (ГВ), выделенные при щелочной экстракции торфа, и два микроэлемента: медь и цинк.

При взаимодействии ГВ торфа с двух- и трехвалентными ионами металлов в зависимости от соотношения Me:ГВ могут образовываться как растворимые, так и нерастворимыми металл–гуминовые комплексы (МГК). Так, в щелочной среде при соотношении Me:ГВ > 1 образуются нерастворимые МГК. Для обработки семян и опрыскивания растений используют только растворимые МГК. Последние образуются при взаимодействии щелочных растворов ГВ с катионами только тогда, когда соотношение ГВ:Me > 1,5–2. Это соотношение компонентов является неблагоприятным для растений, поэтому в сельском хозяйстве применяют препараты, в которых масса микроэлементов больше массы ГВ в 5–10 раз.

Нами установлено, что для получения устойчивых концентрированных удобрений, содержащих по 25 г/л катионов меди и цинка и 5 г/л ГВ, необходимо использовать 370 мл/л 25 %-ного водного раствора аммиака и 350

г. л трилона Б. Если аммиак или трилон Б вводить меньше или больше этого количества, то рабочие растворы не могут быть использованы для обработки семян и растений по одной из двух причин:

– комплексное Cu–Zn–гуминовое удобрение получается без осадка, но при его разбавлении водой часть катионов меди, цинка и ГВ в рабочем растворе выпадает в осадок;

– после хранения в течение 5–6 месяцев в комплексном Cu–Zn–гуминовом удобрении образуется осадок.

УДК 541.182+631.436

Применение композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов для ускорения деградации нефти в почве

Цыганов А. Р., Томсон А. Э., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е.

Хрипович А. А., Пехтерева В. С.¹, Самсонова А. С.²

Институт природопользования НАН Беларуси¹

Институт микробиологии НАН Беларуси²

На современном уровне развития нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности не представляется возможным исключить загрязнение нефтью и нефтепродуктами почвенного покрова, поэтому возникает необходимость разработки новых и совершенствование существующих технологий рекультивации нефтезагрязненных почв.

Практика использования ряда микробных препаратов для удаления нефтяных загрязнений во многих странах подтвердила перспективность применения для этих целей активных штаммов микроорганизмов-деструкторов нефти, иммобилизованных на твердом носителе для повышения их биохимической активности и скорости деструкции загрязняющих веществ. Выбор торфа в качестве носителя для иммобилизации микроорганизмов-деструкторов нефти определяется не только его высокой нефтепоглощающей способностью, но и свойством сорбировать на своей поверхности клетки микроорганизмов-деструкторов, обеспечивая тем самым тесный контакт их с субстратом.

На территории экспериментальной базы «Свислочь» НАН Беларуси был заложен мелкоделяночный опыт по оценке эффективности применения композиционного материала на основе торфа и микроорганизмов-деструкторов нефти для ускорения деградации нефти в почве.

Результаты полевого опыта убедительно доказывают высокую эффективность применения композиционного материала в сочетании с микроорганизмами-деструкторами нефти для рекультивации нефтезагрязненных земель. За период наблюдений (2 месяца) степень деградации нефти составила 61,7 %, что на 29,2 % выше, чем в фоновой нефтезагрязненной почве.

Изменение растворимости и оптических свойств гуминовых веществ в процессе гидродинамической кавитации торфа

Цвирко Л. Ю., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.
ГНУ «Институт природопользования» НАН Беларуси

Кавитация является эффективным методом преобразования физических и химических свойств веществ разного происхождения, однако по превращению органического вещества торфа имеется большой дефицит знаний. Целью настоящей работы является получение данных по изменению растворимости и оптических свойств гуминовых веществ (ГВ) в процессе гидродинамической кавитации торфа. Объекты исследования: низинный древесно-тростниковый торф степенью разложения ($R = 35-40\%$, $A = 8,4\%$, $pH\ 5,6$); верховой магелланикум-торф ($R = 20\%$, $A = 9,9\%$, $pH\ 3,2$). Состав суспензии и условия кавитации: для низинного торфа – 1 кг торфа + 3,5 л воды; для верхового торфа – 0,5 кг торфа + 4 л воды. Пробы кавитированного торфа в виде суспензии отбирали через 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90 минут кавитации. Далее определяли количество углерода органического вещества ($C_{ГВ}$), переходящего в раствор 2 % NaOH при 96-98 °С в течение 2 часов, величину оптической плотности растворов.

Таблица – Выход органического вещества ($C_{ГВ}$), растворимого в 2 % растворе NaOH при 96-98 °С, и коэффициенты цветности растворов.

Продолжительность кавитации, мин	$C_{ГВ}$ % на СВ		Q 440/670	
	низинный торф	верховой торф	низинный торф	верховой торф
0 (исходный торф)	22,10	28,99	7,37	8,12
5	25,03	36,95	4,06	7,00
10	24,60	37,24	4,06	8,08
15	26,79	39,70	7,08	8,01
20	28,51	28,34	7,01	7,97
30	20,93	27,40	7,12	7,85
40	38,65	53,66	6,74	8,32
50	41,02	50,05	6,66	8,08
60	44,31	51,12	6,71	8,15
70	–	49,33	–	8,29
90	43,34	–	6,64	–

Заметное снижение выхода $C_{ГВ}$ после 20-30 минут кавитация связано с процессами конденсации, образованием новых нерастворимых органических структур, которые со временем кавитации снова распадаются и переходят в раствор.

Коэффициент цветности ГВ верхового торфа имеет большее численное выражение, чем низинного торфа. Это свидетельствует о том, что в моле-

кулах ГВ исследуемого верхового торфа содержится больше алифатических и меньше ароматических фрагментов, чем в молекулах ГВ низинного торфа. Изменение коэффициента цветности наступает гораздо раньше, чем происходит уменьшение выхода $C_{ГВ}$, т. е. процессам конденсации предшествует процесс деструкции молекул ГВ, после чего продукты деструкции взаимодействуют между собой, и оптическая плотность возрастает до исходного значения.

Гидродинамическая кавитация торфа является эффективным методом преобразования органического вещества с удвоением количества щелочно-растворимых веществ в течение 40-60 минут, что может быть использовано для обоснования новых технологий химической переработки торфа.

УДК 622.6.2

Задачи совершенствования машин непрерывного действия

Прушак В.Я., Миранович О.Л.

Солигорский Институт Проблем Ресурсосбережения с ОП

Основным направлением развития горной промышленности предусматривается создание высокопроизводительных транспортных машин. Одним из наиболее прогрессивных видов транспорта, обеспечивающих высокую производительность и технико-экономическую эффективность при больших грузопотоках, является конвейер. В современном массовом и крупносерийном производстве конвейеры являются неотъемлемой частью технологического процесса, они регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность, способствуют повышению производительности труда и увеличению выпуска продукции, позволяют решать вопросы комплексной механизации и автоматизации транспортно-технологических процессов. Непосредственная связь конвейерных машин с общим технологическим процессом производства предъявляет к ним особые требования в отношении качества.

Ленточные конвейеры являются основой транспортного комплекса ОАО «ПО «Беларуськалий». Их численность на шахтах и солеотвалах объединения превышает 800 единиц, а общая длина - около 330 км. Стоимость одного конвейера достигает 250 тыс. у. е., при этом 40 - 70 % этой суммы составляет стоимость конвейерной ленты. Наряду с высокой стоимостью ленты, свыше 50 % аварийных простоев конвейеров обусловлено ее выходом из строя. Отсюда очевидна актуальность исследований, направленных на повышение прочности и надежности конвейерных лент.

Создание конвейеров предусматривает увеличение нагрузки на ролик и скорости движения транспортирующей ленты, что приводит к значительному снижению долговечности роликоопор. При высоких скоростях осо-

бую значимость приобретают эксцентриситет роликов и барабанов, точность и шаг их установки на ставе конвейера, фракционный состав транспортируемого груза, поскольку именно эти параметры определяют динамическую нагрузку на ролики. Так, при переходе от транспортировки мелкокусковых пород к крупнокусковым долговечность роликов снижается на 1-2 порядка, в то же время, в шахтных условиях экономически выгодны добыча и измельчение породы до состояния, когда 60 -70 % общей массы составляют крупные куски размером 200 - 300 мм и более. Если учесть, что стоимость роликов составляет 25-30 % стоимости конвейера и на их долю приходится около 40 % затрат на обслуживание и ремонт, то становится очевидной актуальность исследований динамических нагрузок на ролики и проблемы повышения долговечности роликоопор и барабанов ленточных конвейеров, транспортирующих крупнокусковую сальвинитовую руду.

Поэтому проектируемые конвейеры должны быть достаточно прочными, надежными, долговечными и экономичными в эксплуатации, а изготовление их следует осуществлять с наименьшими затратами материалов и труда. Это требует проведения всесторонних теоретических и экспериментальных исследований и на базе их результатов - дальнейшего совершенствования конвейеров.

УДК 622.6.2

Исследование роликоопор ленточного конвейера при транспортировании кусковых грузов

Миранович О.Л.

Солигорский Институт Проблем Ресурсосбережения с ОП

Исследованию динамических нагрузок на ролики ленточных конвейеров посвящено значительное количество работ. Работы В.С. Бондарева посвящены определению величин максимальных нагрузок, при которых происходит повреждение или пробой ленты, а также установлению амортизирующей способности ленты при транспортировании крупнокусковых грузов ленточными конвейерами с роликовыми опорами различных типов. Большое внимание уделено методам определения контактных усилий при взаимодействии транспортируемого груза с лентой и роликом.

Используя положения теории Герца для описания процессов соударения и экспериментальную зависимость приложенной силы от глубины местного сжатия контактирующих тел при статическом нагружении, получены формулы для определения величины контактной силы P_g и глубины внедрения a

$$P_r = \beta\alpha^3 + b\alpha, \quad (1)$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{-0,5b \pm \sqrt{0,25b^2 + 10\beta \frac{mv_y^2}{2}}}{0,5\beta}}, \quad (2)$$

где v_y - скорость удара груза о ролик; m - приведенная масса роликовой опоры; b, β - экспериментально определяемые коэффициенты, зависящие от упругих свойств ленты и формы падающего штампа.

С помощью полученных зависимостей (1) и (2) проведены расчеты нагрузок в опорах загруженной линейной части ленточного конвейера, оборудованного шарнирными и гибкими роликоопорами. Приведены графики зависимости силы удара от скорости и натяжения ленты. Определена точка соударения крупного куска груза с роликом через ленту по рассчитанной кривой прогиба ленты от распределенной, сосредоточенной и центробежной нагрузок. Производительность конвейера рекомендуется находить из теоретически определенной скорости движения, при которой отсутствует повреждение ленты. Установлено, что ударная прочность ленты не зависит от натяжения. Анализ показал, что при транспортировании крупнокусковых грузов роликовые опоры линейных секций воспринимают значительные динамические усилия, вызванные тем, что в момент наезда на опору скорости куска и ленты имеют различные направления, повышение натяжения в ленте уменьшает динамические нагрузки.

УДК 622.363

Оценка эксплуатационных показателей проходческих комбайнов

Горноста́й М.С.

Белорусский национальный технический университет

Цель работы - оценка эксплуатационных показателей проходческих комбайнов «Урал-10А» и ПКС-8М на основе результатов работы комбайновых бригад Второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» и сравнение с расчетными теоретическими показателями. Основой для первичной информации явились книга нарядов на одном из технических участков 2РУ, а также сводная таблица с показателями работы бригад за 2009 г. За основные показатели взяты: посменная проходка; суточная выработка; среднегодовые показатели с учетом различных видов работ. Оценка эксплуатационных показателей проходческих комбайнов по результатам анализа посменной динамики проходки (п.м /смену) ПКС-8М, а также посуточной выработки (т/сутки) «Урал-10А» сведены в таблицу.

— Эксплуатационные показатели работы комбайновых бригад

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	ПКС-8М, подготовка	«Урал-10А»	
				подгот.	очистн.
1.	Среднесуточный план	т	1021	1238	1616
2.	Среднесуточный факт	т	1200	1400	1800
3.	Среднегодовой план	тыс.т	122	200	
4.	Среднегодовая выработка	тыс.т	128	212	

Фактическая производительность даже в передовых бригадах в 2,5 раза ниже, а средние показатели ниже почти в четыре раза по сравнению с техническими возможностями машин. Причинами различия являются простои комбайнов в связи с цикличностью процесса доставки руды, большие затраты времени на отгоны и перегоны, работа комбайнов с низкой минутной производительностью при зарубке камер, расширении и подрубке с неполным использованием сечения рабочего органа. Эти резервы производительности могут быть реализованы за счет: перехода на большегрузные самоходные вагоны; разделения процессов отбойки и транспортировки руды и повышения ритмичности при применении технологии с магазинированием руды и челноковых схем выемки для рудников с устойчивыми вмещающими породами; предварительной зарубки камер при подготовке панелей; устройства участковых аккумулирующих бункеров; правильного выбора типа комбайна с целью соответствия его размеров размерам камер и мощности пласта для исключения работы с большой величиной наложения ходов, как при расширении, так и при подрубке камер.

Заключение. На отечественных и зарубежных рудниках накоплен значительный опыт эффективного использования комбайновых комплексов. Основными путями повышения эффективности комбайновой выемки являются: разработка и внедрение технологических схем с применением средств непрерывной доставки руды (поточная технология); модернизация исполнительных органов комбайнов и повышение эффективности фрезерования горной породы; создание и внедрение новых, более производительных машин; совершенствование организации труда.

УДК 629.331

Влияние физико-механических параметров торфяной залежи на загрузку пневматического колеса

Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность эксплуатации колесных тракторов в агрегате с технологическими машинами на осушенном торфяном месторождении в значительной степени зависит от конструктивных параметров движителей и до-

пустимых нагрузок на опорное основание. Рабочая зона взаимодействия пневматического колеса, оснащенного развитыми грунтозацепами, с деформируемым основанием может быть определена графически или на основе решения системы уравнений $p = f(h)$; $p = f(P_z, S_z)$ где p - давление в пятне контакта, кПа; h - деформация залежи, м; P_z - нормальная нагрузка на колесо, кН; S_z - площадь пятна контакта, м². Рабочая зона находится в области пересечения семейства кривых, характеризующих деформационные свойства залежи с несущей способностью p_0 с кривыми, отражающими изменение давления p в пятне контакта от текущего значения деформации залежи h_i при определенной нормальной нагрузке P_z соответственно гладкого колеса или колеса с плотным рисунком протектора ($\gamma > 0,40$) и колеса с развитыми грунтозацепами при $\gamma \leq 0,40$ и при одинаковых наружных параметрах D и B . Экспериментальными исследованиями по вдавлению различных штампов установлено, что на величину несущей способности залежи p_0 определяющее влияние оказывают их размеры и конфигурация. Однако, если влияние относительного показателя P/S , т.е. периметра P к площади S штампа, учтено в формуле С.С. Корчунова, то рекомендации по влиянию S на p_0 в абсолютном выражении весьма относительны. Например, рекомендуемые допускаемые давления для гусеничного хода торфяных машин, как отмечается в работах Ф.А. Опейко, для колесных движителей следует принимать в 2-3 раза больше, т. к. площадь опорной поверхности у последних значительно меньше.

В данной работе изучены распределение напряжений на глубине торфяного массива в зависимости от физико-механических свойств залежи, от формы и размеров пятна контакта, а также от степени загрузки штампа, т.е. от давления, создаваемого этими штампами на поверхности, для правильного выбора допускаемого давления движителя на залежь и последующего определения тягово-сцепных свойств колесных тракторов на осушенной торфяной залежи. Для этого использованы данные из физики горфа по распределению влажности торфа по глубине залежи и связанными с ней предельными напряжениями сжатия σ_0 и сдвига t_0 , торфяную залежь рассматривается в виде трехслойного массива, расположенного на плотной грунтовой основе. Разделение слоев принимается по границе с явным переходом торфа от упруго-пластичного состояния к его состоянию с преобладанием вязкотекучих свойств, которое, в основном, определяется влажностью и в первом приближении совпадает с показателем нормы осушения или глубиной залегания грунтовых вод. На поверхности торфяной залежи выделяется еще один слой с резко переменными физико-механическими свойствами, который образуется при интенсивном воздействии метеорологических и технологических факторов.

Строительные и дорожные машины

Пути получения топливной щепы для энергоустановок ЖКХ

Вавилов А.В., Бойко С.А., Бугрим К.В.,
Лапёнок В.В., Шиманская Е.П., Высоцкий А.Н., Муратов А.А.
Белорусский национальный технический университет

Чаще всего топливную щепу для энергоустановок ЖКХ производят из нежелательной древесной растительности лесного комплекса республики, а также заготавливаемой при расчистке полос отвода дорог, объектов мелiorативного строительства и т.д.

Для срезания, пакетирования и сбора нежелательной древесной растительности эффективно использовать сменный валочно-пакетирующий рабочий орган к многофункциональным базовым машинам, которые уже имеются в организациях ЖКХ. Это прежде всего универсальные однокоровые экскаваторы. Из собранной в небольшие кучи древесной растительности формируется воз с помощью погрузочно-транспортных машин. Сформированный воз этими машинами доставляется на специально подготовленную площадку и выгружается. Все последующие выгрузки осуществляются таким образом, чтобы древесная растительность интенсивней подсыхала и была возможность производительно работать прибывающей сюда мобильной рубильной машине «Беларус» МР-25-02.

Преимуществом предлагаемой машины является наличие собственного бункера-накопителя-перегрузчика для накопления и перегрузки производимой ею топливной щепы. При заполнении бункера щепой она перегружается в съёмные контейнеры топливовоза, оставленные на площадке. Топливозов доставляет контейнеры после их заполнения щепой к установкам.

Применение предлагаемой технологии и технических средств получения топливной щепы из древесных отходов позволит более чем в 3 раза снизить затраты на получение энергии из щепы по сравнению с импортируемым природным газом.

Иногда удаляются деревья с большими диаметрами. Чаще всего из-за сердцевинной гнили или кривизны их можно использовать только на топливо. Так как для измельчения крупных деревьев требуются рубильные машины большой мощности (несколько сот киловатт), что неэффективно, предлагается такие деревья после удаления боковых ветвей раскалывать вдоль ствола на куски с помощью специальных сменных раскалывающих рабочих органов к уже упоминавшейся ранее многофункциональной машине-экскаватору. После раскалывания крупных стволов и получения кусков размером в сечении около 20 см, их можно измельчать на рубильных машинах мощностью, не превышающей 160 кВт.

Автоматические выключатели

Антоневич А.И.

Белорусский национальный технический университет

Выключатели автоматические предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках или недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей.

Применение автоматических выключателей вместо плавких предохранителей дает следующие преимущества. Во-первых, устраняется возможность работы электродвигателя в неполнофазном режиме, так как при перегрузках и коротких замыканиях отключаются сразу три фазы. Во-вторых, значительно снижаются простои электрооборудования, так как на включение сработавшего автомата требуется меньше времени, чем на замену перегоревшего предохранителя. И, наконец, в третьих, время-токовые характеристики защиты от перегрузок автоматов более соответствуют защищаемому электрооборудованию, чем время-токовые характеристики предохранителей.

Автоматические выключатели (АВ) классифицируются: по роду тока главной цепи; по конструкции; по величине напряжения; по числу полюсов главной цепи; по наличию токоограничения; по видам расцепителей; по характеристике выдержки времени максимальных расцепителей тока; по наличию свободных контактов; по способу присоединения внешних проводников: по виду привода; по наличию и степени защиты выключателя от воздействия окружающей среды и от соприкосновения с находящимися под напряжением частями выключателя и его движущимися частями; по способу установки

Автоматические выключатели характеризуются следующими нормируемыми техническими характеристиками: номинальным током выключателя; номинальным рабочим током; номинальным кратковременно допустимым током; калибруемым значением номинального рабочего тока расцепителя; уставкой по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания; временем несрабатывания; максимальным временем отключения; временем срабатывания в зоне короткого замыкания; номинальным напряжением; номинальным напряжением изоляции; номинальным импульсным выдерживаемым напряжением; электрической и механической износостойкостью; максимальной частотой включений; рабочим диапазоном; тепловыми потерями; номинальной частотой; рабочей и предельной отключающей способностью; включающей способностью на короткое замыкание; степенью защищенности; классом селективности.

В развитых странах более половины электроэнергии потребляют электроприводные устройства, основным элементом которых является электродвигатель. Правильно спроектированный привод последних позволит значительно снизить непроизводительные затраты мощности и достигнуть хорошего экономического эффекта. В настоящее время для включения/выключения двигателя применяются электромагнитные контакторы, которые решают в основном проблемы, связанные с коммутацией. При этом наблюдаются значительные пусковые токи, превышающие номинальный ток в 6-10 раз и колебательный затухающий момент двигателя. Большой пусковой ток приводит к просадке напряжения сети, что может отрицательно сказываться на работе электроустановок и вызывать быстрое старение изоляции электропроводов. Колебание момента в свою очередь ужесточает работу механики. Вышеупомянутые недостатки можно значительно снизить, если применять устройства плавного пуска.

На сегодняшний день преобразовательная техника позволяет: обеспечить плавное нарастание напряжения сети питания электродвигателя при постоянной частоте сети (формирование кривой скорости) и частотное регулирование скорости двигателя. Первое обеспечивается применением плавных пускателей - тиристорных регуляторов напряжения, а второе использованием преобразователей частоты. Последние являются достаточно дорогими изделиями, но они позволяют также повысить $\cos \varphi$ электросети и обеспечить разгон двигателя при пусковом токе равном номинальному. Устройства плавного пуска (УПП) позволяют сформировать кривую нарастания напряжения, прикладываемого к статорной обмотке двигателя. В УПП применяются задатчики линейного нарастания напряжения, с возможностью задания и регулирования темпа его нарастания некоторые или осуществляют ограничение пускового тока двигателя (2-5 кратное значение). Недостатком таких УПП является значительное ограничение пускового момента двигателя, что может создать большие проблемы при пуске устройств со значительным моментом сопротивления при трогании с места (конвейеры, транспортеры, мешалки и т.д.). Интерес представляют УПП, которые кроме вышеперечисленных возможностей, реализуют «квазичастотное» регулирование. Благодаря чему удается повысить пусковой момент двигателя без необходимости дополнительной начальной форсировки тока двигателя. Такие устройства позволяют также осуществлять реверсирование и контролируемый процесс торможения механизма.

О траектории движения управляемых колес трактора

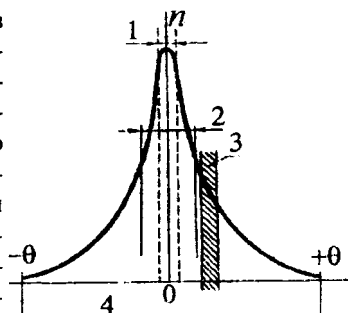
Зелёный П.В., Яцкевич В.В., Щербакова О.К.

Белорусский национальный технический университет

Основной принцип, которому отвечают конструкции существующих рулевых управлений мобильных машин, - обеспечение равновесного состояния механической системы в положении, соответствующем прямолинейному движению машины в идеальных условиях. В реальности это является причиной самопроизвольных колебаний колёс в пределах зазоров и податливостей в рулевом механизме из-за случайных сопротивлений качению направляющих колёс. Поэтому водитель вынужден постоянно поворачивать (перекладывать) рулевое колесо в противоположном направлении. Это обуславливают не строго прямолинейную, а синусоидальную траекторию прямолинейного движения машины.

Отказ от принципа уравнивания моментов от сил сопротивления качению колёс на рулевой трапеции, позволит повысить устойчивость прямолинейного движения. Наиболее просто реализовать такое нагружение путём неравенства плеч обката. Тогда вся механическая система управления будет нагружена моментом одного знака, который уравновешен водителем на рулевом колесе за счет некоторого допустимого по величине физического усилия. Тем самым будет исключена причина явления «рыскания» машины относительно прямолинейной траектории.

Рис. 1. Распределение частоты и поворотов направляющих колёс в различных диапазонах при поддержании прямолинейного движения рабочего хода агрегата: 1 - недопустимая с точки зрения точности вождения по прямолинейной траектории зона расположения зазоров и податливостей в рулевом управлении; 2 - диапазон поворотов направляющих колёс, используемый при точном вождении по прямолинейной траектории; 3 - допустимая зона расположения зазоров, расположенная за пределами диапазона поворота колёс, используемого при прямолинейном движении; 4 - полный диапазон поворотов направляющих колёс относительно нейтрального положения (от $-θ$ до $+θ$)



Согласно расчетам, колесные тракторы класса 0,6... 1,4 сохраняют неравенство действующих на направляющие колёса моментов в диапазоне их поворотов до 12 град при плечах обката от 0,005 до 0,05 м.

Минимизация радиуса поворота трактора за счёт трансформации колесной формулы 4К4 в 4К3

Яцкевич В.В., Зелёный П.В., Щербакова О.К.

Белорусский национальный технический университет

Известные колесные транспортные средства со всеми ведущими колесами имеют дифференциальный привод передних управляемых колес. Дифференциальный механизм повышенного трения содержит две полуосевые конические шестерни, соосные оси вращения корпуса, и кинематически связывающие их конические шестерни-сателлиты, расположенные между ними радиально, и фрикционные дисковые муфты для блокирования полуосевых конических шестерен с корпусом. Последние во внешних осевых направлениях опираются на корпус через диски муфты, а в противоположных направлениях поджаты к шестерням-сателлитам упругими элементами.

Такая конструкция привода трактора «Беларус» класса 14 кН с продольной межосевой базой 2760 мм и колеей задних колес длины 1600 мм обеспечивает поворот на 360° на площади круга диаметром 10,2 м по наружному следу переднего колеса.

Для минимизации радиуса поворота предложен усовершенствованный привод. Его особенность заключается в том, что известная конструкция дополнена двумя управляемыми фрикционными муфтами и тормозными механизмами для их блокирования с остовом. При этом один фрикционный диск каждой муфты закреплен на валу, связанном с передним колесом, а второй связан с полуосевой конической шестерней с возможностью осевого перемещения. Фрикционный диск каждого тормозного механизма установлен на остова с возможностью осевого перемещения и опирается в одном осевом направлении на полуосевую коническую шестерню, а в другом осевом направлении – на подвижный фрикционный диск муфты.

Указанная в названии цель достигается путем принудительного увеличения скорости вращения одного из колес переднего ведущего моста в два раза при одном отключенном вследствие свойств дифференциального механизма. Таким образом, на повороте колесная формула 4х4 трансформируется в 4х3 при активизации внешнего или внутреннего управляемого колеса.

Для минимизации радиуса поворота передний мост работает в ведущем режиме только одним колесом внешним (или внутренним).

Литература

Патент №14104 на изобретение Республики Беларусь от 28.02.2011.

Асимметричный клин

Передня Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Стальные канаты, как тяговые органы грузоподъемных машин, являются одними из основных элементов, обеспечивающих их безопасную эксплуатацию. Одновременно они наиболее быстроизнашивающие детали конструкции крана. Исходя из этого и определены требования к установке канатов: надежность крепления и возможность быстрой замены при износе.

Основные способы концевой заделки канатов проверены многолетней практикой. Конструкции узлов заделки достаточно просты и надежны. Вместе с тем при работе кранов не исключаются случаи разрушения узлов крепления каната. И это связано не только с нарушениями инструкций по монтажу, но и недостаточной обоснованностью отдельных рекомендаций, в том числе, и рекомендаций заводов-изготовителей кранов.

Наиболее часто при изготовлении кранов применяют крепления каната с использованием болтовых зажимов и крепления в клиновой втулке. Клин соединения – асимметричный плоский установочный с углом уклона 1:4.

Надежность заделки каната зависит от качества и точности изготовления деталей соединения, соответствия размеров клина и втулки, от правильности сборки и от заглабления клина во втулку. Перед монтажом клин и втулка должны осматриваться, для того чтобы убедиться в отсутствии дефектов. Важно чтобы клин и втулка были одинаковых размеров, соответствующих размеру закрепляемого каната.

Слишком большой клин или клин с неправильным углом недостаточно заглабляется во втулку, для того чтобы создать надежное соединение. Слишком малый клин, создавая большую местную нагрузку на втулку, может привести к разрыву или деформации втулки и к вырыву из нее каната.

Для повышения надежности концевых заделок стальных канатов грузоподъемных машин целесообразно следующее.

1. При изготовлении клиновой втулки и клина на них попарно наносить маркировку клинового соединения с указанием его номера и диаметра каната, для крепления которого предназначено данное клиновое соединение.

2. Не рекомендуется комбинировать применение втулки и клина разных производителей, не допускается комбинировать клин и втулку, предназначенных для канатов разных диаметров.

3. При монтаже клинового соединения не рекомендуется соединять свободную ветвь, выходящую из клиновой втулки, с рабочей ветвью зажимом.

Двухдвигательный механизм подъема

Передня Л.И.

Белорусский национальный технический университет

НИЧ БНТУ (сектор «Подъемные сооружения») выполнена экспертиза двух мостовых электрических двухбалочных опорных кранов, изготовленных фирмой БАЛКАНСКОЕ ЭХО, Болгария. Экспертиза выполнялась в связи с неоднократными выходами из строя электродвигателей механизмов подъема по причине перегорания фазных обмоток.

Краны однотипны по конструкции и отличаются только грузовыми тележками. На одном из них установлена тележка грузоподъемностью 10 т, на другом – 15 т. Краны использовались для перегрузки металлопроката и были оборудованы траверсами с грузовыми электромагнитами.

Проведенное исследование позволило установить две основные причины выхода из строя электродвигателей, одна из которых является следствием конструкторской недоработки, вторая - следствием ошибки при изготовлении крана.

Конструктивной особенностью кранов является выполнения механизма подъема в виде двух спаренных электроталей. Грузовой канат с двукратной запасовкой и уравнительным блоком одним концом закреплен на барабане одной из талей, а вторым – на барабане другой тали. Жесткая кинематическая связь барабанов конструкцией не предусмотрена. При применении лебедок с независимыми барабанами для выравнивания усилий в ветвях каната необходимо применять специальные электросхемы синхронизации оборотов электродвигателей путем смягчения их характеристик. В данных кранах система синхронизации вращения валов отсутствовала, а установленные электродвигатели талей имели жесткие характеристики. Отсутствие выравнивающих устройств приводит к возникновению значительных токов и крутящих моментов при несинфазном положении роторов в момент включения электродвигателей. Проведенные наблюдения показали, что в момент пуска двигателей уравнительный блок полиспаста всегда поворачивается на некоторый угол, что свидетельствует о разных скоростях барабанов электроталей. При отсутствии выравнивающих устройств обеспечить одинаковую загрузку двигателей при принятой конструктивной схеме механизма подъема не представляется возможным. А это приводит к перегрузке одного из двигателей. Для защиты электродвигателей при перегрузке принципиальной электрической схемой кранов предусмотрена, как это и требуют нормативные документы, установка теплового реле. Однако при изготовлении тепловую защиту электродвигателя не установили, что и явилось непосредственной причиной перегорания обмоток двигателя.

Краноманипуляторные установки Z и L-образного исполнения

Савицкий В.П.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь с 19 января 2005 года действуют Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов, далее, - Правила. В эти Правила впервые включены краноманипуляторные установки (КМУ), см. Приложение 1, п. 4.1...4.5.

Приведенные схемы КМУ шарнирно-сочлененной конструкции принято относить к Z-образным.

Не так много времени прошло с момента ввода в действие Правил, как большой популярностью стали пользоваться L-образные КМУ с прямой телескопической стрелой и с канатной подвеской грузового крюка. Такой грузоподъемный кран работает при вылетах более 7м быстрее Z-образного.

КМУ с лебедкой оказывается до 40% дешевле гидроманипуляторов с шарнирно-сочлененной стрелой.

Американская фирма Iowa Mold Tooling приводит новую линейку КМУ с телескопической стрелой г/п 3,4...6,3 т. с дистанционным радиоуправлением.

Манипуляторы TADANO работают с вылетом более 15м, грузоподъемностью – 3,1т, имеют высоту порядка 17м; телескопическую стрелу с гибкой подвеской крюка. Рабочая зона имеет $\alpha=360$ градусов.

Особенности:

- опускание груза обеспечивается строго вертикально по прямой;
- складывание крюка в транспортном положении.

Широко известна в мире корпорация Cargotek. На рынок выведена новая серия мощных КМУ с тросовой подвеской грузозахватного органа, телескопической стрелой, мощной лебедкой с большим барабаном. ООО «Карготек РУС», имеет тросовый кран манипулятор.

Тросовая КМУ на максимальном вылете 19,4 м способна перемещать груз массой 400кг; максимальная высота подъема составляет 20,5м; рабочая зона, - угол $\alpha=360$ градусов.

В дальнем зарубежье краноманипуляторные установки (КМУ), вытесняют с рынка автомобильные краны небольшой полезной грузоподъемности (порядка 15...20 т), поскольку КМУ мобильнее и дешевле.

В первую очередь все это происходит из-за большей по сравнению с автомобильными кранами эффективности грузопереработки, поскольку необходима одна машина вместо двух.

Проектирование гидропривода мобильных машин

Савицкий В.П., Нестеренков Д.В.

Белорусский национальный технический университет

В действующих Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов имеются краноманипуляторные установки (КМУ), см. Приложение 1. При проектировании гидропривода мобильных машин можно выделить два направления.

Первое. Вопросы выбора потребного давления. Поскольку такие установки, как мобильные, должны иметь допустимые габариты, проектирование КМУ реализовывалось при известной тенденции, - увеличение давлений масла. В современных краноманипуляторных установках давление рабочей жидкости находится в пределах от 25 до 33 МПа. В таких условиях плотность масла при нормальных условиях от величины, например, 860 кг/м^3 , будет находиться в пределах $872,8... 876,8 \text{ кг/м}^3$ (при давлении 25 МПа) и $882,3... 877,0 \text{ кг/м}^3$ (при давлении 33 МПа). В то же время для большинства действующих КМУ и при наиболее распространенных величинах давлений масла 16 МПа, плотность его составит $868,1... 870,6 \text{ МПа}$.

Становится понятным, почему в современных рекламных материалах приводится следующая информация, «... давление в гидросистеме снижено до 20 МПа, что приводит к увеличению долговечности работы гидрооборудования...».

Второе направление.

Вопросы уточнения расчетов при проектировании объемного гидропривода. Между прочим, указанная тенденция относится к расчетам всей подъемно-транспортной техники, поскольку вся эта техника до выхода в свет действующих с 19 января 2005 года Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов была сконструирована без учета грузоподъемности брутто.

В то же время, что мы имеем сегодня? Потребная мощность насоса рассчитывается, например, с учетом принятого давления в гидросистеме $p_n=16,32 \text{ МПа}$ и потерь в напорной гидролинии $\Delta p=0,5 \text{ МПа}$. Величина потерь между прочим зависит от выбора скоростей движения рабочей жидкости в трубопроводах и гидроаппаратах.

Инновационным в проектировании гидропривода КМУ является следующая информация «...длительный ресурс работы гидросистем достигнут за счет увеличенных сечений магистралей КМУ, соединяющих гидроприводы и резервуары с рабочей жидкостью, препятствующих нагреванию масла в системе крана-манипулятора...».

Коммунальная вибрационная плита

Шавель А.А., Остапчик И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Вибрационные плиты в мировой практике строительства получили широкое распространение, они относятся к числу массовых машин, применяемых для работ различного вида.

По принципиальной конструктивной схеме вибрационные плиты бывают одномассными, двухмассными и виброударными.

В одномассных машинах в колебаниях участвует вся масса плиты, в двухмассных – только её нижняя часть, а верхняя часть поддрессоривается и в колебательные движения не вводится.

Виброэлементы могут быть ненаправленного и направленного действия. В первом случае возбудитель колебаний состоит из одного эксцентрика и поэтому плита стремится совершать круговые колебательные движения. Виброэлемент направленного действия состоит из нескольких эксцентриков, вращающихся в разные стороны с одинаковой угловой скоростью. По отношению друг к другу они расположены так, что в каждый момент времени составляющие центробежных сил по одной из осей, обычно горизонтальной, уравновешены, а составляющие по другой, перпендикулярной к первой оси, суммируются, поэтому колебания происходят только в одном направлении.

Вибрационные плиты возвратно-поступательного движения (реверсивные) – недорогая альтернатива или дополнение к вибрационным каткам. Эти универсальные машины специально конструируются для уплотнения грунтов в ограниченном пространстве, например, в траншеях, на площадках для парковки автомобилей и т.п. Реверсивные виброплиты также могут использоваться для специальных работ, например, для мощения брусчатки.

Нами разработана конструкция виброплиты, характерной особенностью которой является реверсивность, которая обеспечивается благодаря наклону виброблока при помощи червячной передачи. Привод виброблока осуществляется клиноременной передачей, от двигателя внутреннего сгорания, установленного на подмоторной раме. Привод червячной передачи осуществляется посредством гибкого вала от рукояти, установленной на рулевой штанге. Разработана математическая модель виброплиты, учитывающая конструктивные особенности плиты и характеристику уплотняемого грунта.

В дальнейшем будет составлена программа на языке «Pascal» и выполнены необходимые исследования по выбору оптимальных параметров.

Обоснование комплекта грузоподъемных машин для высотного строительства

Вавилов А.В., Гарост М.М., Гарост А.М.*
Белорусский национальный технический университет
УНМР-122 г. Минск*

В настоящее время в Республике Беларусь большими темпами ведется строительство, в том числе высотных зданий.

По современной классификации высотным является здание высотой от 75 до 120-150 м. Для условий республики по мнению ученых оптимально установить верхнюю градацию на 120 м.

Наиболее распространенной схемой строительства высотных зданий за рубежом является сооружение монолитного здания башенного типа одним башенным краном с длиной стрелы до 70 м и одним - двумя мачтовыми реечными подъемниками. При выборе башенного крана рассматриваются прежде всего базовые технические характеристики: грузоподъемность, высота подъема крюка и его вылет.

По результатам анализа номенклатуры башенных кранов в управлении механизации г. Минска для строительства высотных зданий из элементов серии ОПБ целесообразно использовать башенный кран КБ-674 Никопольского краностроительного завода (Украина) максимальной грузоподъемностью 25 т, максимальный вылет 35 м, максимальная высота подъема свободностоящего крана 83 м, а приставного - 120 м.

Выполненные исследования показывают, что в Республике Беларусь возможно производство башенных кранов для высотного строительства со следующими основными параметрами: грузоподъемность 20 т; вылет 35 м; высота подъема 75 м.

В современном строительстве при возведении зданий повышенной этажности для транспортирования грузов и людей широко используются строительные грузопассажирские подъемники с реечным зацеплением. Из большого многообразия подъемников целесообразно приобретать для строительства в республике высотных зданий мачтовые Ceda PN 2032 450 (Германия) максимальной грузоподъемностью 2000 кг, максимальная высота подъема 200 м, максимальная скорость подъема 65 м/мин.

Для доставки строительных материалов к подъемникам, обустройства территории целесообразно применять погрузчики. С их помощью выполнят около 15% всех объемов погрузочно-разгрузочных работ. Установлено, что более предпочтительно применение погрузчика АМКОДОР 320 грузоподъемностью 2000 кг, высота разгрузки 2550 мм, радиус поворота 4700 мм с дизельным двигателем Д-245.43S2 мощностью 62 (84) кВт (л.с).

Направления модернизации строительных и дорожных машин (СДМ)

Гарост М.М.

Белорусский национальный технический университет

В процессе модернизации СДМ предприятия Республики Беларусь могут достичь успеха на следующих направлениях: повышать универсальность машин, применяя адаптерные системы для быстрой смены рабочего оборудования (РО); разработка интеллектуальных систем для замены (РО) и системы опознавания TagReaders; применение на СДМ двигателей внутреннего сгорания соответствующих экологическим требованиям Tier –5; разработка гибридного привода СДМ, в основе которого лежит интегрированный стартер – генератор, который установлен между двигателем и трансмиссией; применение трансмиссии с автоматической коробкой передач; внедрение в производстве СДМ нанотехнологий, что позволит существенно уменьшить массу машин; применение эффективных ресурсосберегающих технологий и оборудования для нанесения и упрочнения покрытий на поверхности деталей пар трения, рабочие органы строительных и дорожных машин); компьютеризация СДМ; применение спутниковой системы контроля, устанавливаемой на машинах; машины, предназначенные для очистки и мойки барьерных ограждений и дорожных знаков, целесообразно разрабатывать с правым расположением руля; применение на телескопических погрузчиках поднимающейся кабины, что повышает обзорность при выполнении погрузочно-разгрузочных работ; экскаваторы на пневмоколесном ходу с большой вместимостью ковша целесообразно выполнять трехосными, что позволит им перемещаться по дорогам общего назначения, не превышая допустимую нагрузку на ось и отказаться от специальной техники для транспортирования экскаватора; улучшение внешнего вида машин при применении кондиционеров на рабочих местах операторов и герметизация их кабин, блокирования прохождения вибрации и шума на рабочие места, снижение общего уровня шума и создание более комфортабельной кабины; для накачивания шин спецтехники следует применять азотные технологии, что обеспечит продление срока службы шины и повысит ее безопасность.

От результатов модернизации дорожных машин зависит качество выполняемых ими работ. Для определения влияния результатов модернизации на качество работ следует проводить исследования показателей качества как работ, выполняемых модернизированными машинами, так и машин до модернизации и после, а также проводить испытания машин на точность, долговечность и другие параметры до и после модернизации.

Повышение конкурентоспособности геолого-диагностических машин для исследования свойств грунтов в условиях строительства Беларуси

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Развитие городов Беларуси в высоту (восхождение высотных зданий, строительство небоскребов) и одновременно захождение в глубокие недра земли (в соответствии с современными технологиями строительства фундаментов) требует серьезного подхода к инженерным геологическим исследованиям грунтов перед застройкой на глубину 50 м и более.

Для строительной отрасли страны требуются геолого-диагностические машины для исследования свойств грунтов перед застройкой фундаментов высотных зданий с целью устранения риска возникновения впоследствии проблем таких как: неравномерные осадки зданий, подтопляемость. В связи с чем база машинного парка для зондирования грунтов нуждается в совершенствовании.

Для повышения производительности бурильно-крановую установку целесообразно обеспечить системой автоматического управления рабочим оборудованием и автоматического отсчета показаний: контроль скорости вращения, подачи бурового инструмента, количество ударов (при динамическом способе диагностики) на единицу длины заглубления инструмента.

Исследование процессов динамики зондирования грунтов позволили модернизировать рабочее оборудование геолого-диагностических машин, применяемых в Беларуси, и осуществить переход от традиционного ударно-канатного метода на ударно-цепной, базирующийся на элементах объемного гидропривода.

Повышение автоматизации управления рабочим оборудованием рассматриваемых машин позволяет контролировать скорость вращения и подачу бурового инструмента, что в свою очередь практически исключает процесс смешивания слоев грунта, искажающий диагностические показания.

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.

Повышение эффективности гидропривода машин для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций

Смоляк А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Эффективная технология горизонтально-направленного бурения, позволяющего производить буровые работы на значительные расстояния без вскрытия грунта, базируется на средствах объемного гидропривода при рациональном сочетании элементов гидроавтоматики, электроники и микропроцессорной техники.

Созданию автоматизированного гидропривода управления горизонтально-бурильной установки предшествует анализ современных схемотехнических решений с последующей разработкой методики составления оптимальных схем автоматического управления, отвечающих сложным алгоритмам работы машины при изменяющихся входных и выходных параметрах. К факторам, обуславливающим работоспособность гидропривода машин для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций, относятся низкая пульсационность подачи насосов, эффективная защита от гидроударов, обеспечение рабочих температурных режимов циркуляции жидкости. Рассматриваемые факторы особенно ярко проявляются при создании высокопроизводительных машин, работающих в условиях значительных знакопеременных нагрузках на рабочие органы.

Гидропривод с автоматической системой управления рабочими органами и ходовым оборудованием установки для горизонтально-направленного бурения представляет собой сложную многоконтурную систему, включающую контуры с разомкнутой и замкнутой циркуляциями рабочей жидкости.

В гидроприводах с замкнутым контуром циркуляции рабочей жидкости при постоянной нагрузке на приводном валу насоса изменение температуры рабочей жидкости зависит от схемы установки маслоохладителя.

При проектировании гидропривода установки для бестраншейной прокладки коммуникаций необходимо выбрать схему, обеспечивающую наибольший коэффициент полезного действия гидропередачи при ее разогреве и работе в стационарном тепловом режиме.

Для анализа теплового режима гидропередач с различными схемами была применена методика расчета, учитывающая неравномерность нагрева потоков рабочей жидкости. Анализ полученных результатов расчета позволяет сделать вывод о наибольшей эффективности в период эксплуатации варианта охлаждения с теплообменником низкого давления при его связи с основным контуром замкнутого потока.

Выбор и обоснование состава комплектов технических средств для заготовки древесного топлива на объектах строительного комплекса

Соколовский Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Выбор комплектов технических средств для заготовки древесного топлива на объектах строительного комплекса является сложным процессом, зависящим от большого количества условий, и состоит из нескольких этапов:

1. исследование сырьевой топливной базы района;
2. выбор вариантов механизации заготовки древесного топлива;
3. определение технико-экономических показателей комплектов техники;
4. определение потребности в технических средствах по рассматриваемым вариантам с решением транспортно-логистической задачи;
5. выбор оптимального (оптимальных) комплекта(ов) машин.

Выбор вариантов механизации заготовки древесного топлива осуществляется:

1. на основании имеющейся техники у организации потребителя древесного топлива;
2. на основании имеющегося опыта эксплуатации техники;
3. в соответствии с рекомендациями по рациональной области использования техники и эффективной области применения машин.

При определении технико-экономических показателей рассматриваемых комплектов техники, рассчитываются сменная и годовая эксплуатационные производительности, себестоимость машино-часа техники, стоимость 1 км пробега для подвижного состава автомобильного транспорта, капитальные затраты на технику, удельная энергоемкость.

На основании данных о потребности энергетической установки в топливе, видов заготавливаемого древесного сырья и технико-экономических параметров технических средств производится определение потребности в технике для каждого из рассматриваемых комплектов.

Выбор состава транспортных средств осуществляется при решении транспортно-логистической задачи по доставке древесного топлива к энергетической установке.

Выбор оптимального состава комплекта технических средств осуществляется с помощью критериев оптимизации (удельные приведенные затраты, удельная энергоемкость, себестоимость древесного топлива, капитальные затраты) с применением методов динамического программирования и многокритериальной оптимизации.

О проблемах курсового и дипломного проектирования с использованием средств компьютерного черчения

Котлобай А.А., Котлобай А.Я.

Белорусский национальный технический университет

Глобализация производственных процессов способствует обострению конкуренции между производителями дорожной и строительной техники во всем мире. Чтобы избежать вытеснения белорусских производителей с рынков РБ и РФ, необходимо повышать конкурентные преимущества выпускаемой техники.

Одним из преимуществ является готовность производителя быстро реагировать на изменения конъюнктуры рынка. Использование средств САПР на всех этапах производства и его подготовки является необходимым условием успешной работы отечественных предприятий.

Выпускники БНТУ по специальности «Строительные и дорожные машины», попав на производство, должны сразу влиться в процесс создания машин с использованием всех необходимых средств САПР. За время обучения студенты должны приобрести не только знания по САПР и его компонентам, но и навык быстрой и уверенной работы в соответствующих программах.

В связи с вышесказанным любые ограничения и запреты на курсовое проектирование с использованием САПР и компьютерных технологий принципиально недопустимы.

Основной особенностью обработки информации средствами компьютерной техники является возможность ее копирования. Многие студенты вместо отработки заданий курсового проектирования стараются заполучить копию уже готовых чертежей, разработанных другими лицами.

Курсовое проектирование на специальности «Строительные и дорожные машины» БНТУ должно строиться с учетом показанных особенностей. Задания на курсовой проект должны ежегодно пересматриваться. Все части курсового проекта должны быть взаимосвязаны, изменение одной должно обязательно приводить к изменениям в другой.

На компьютерах кафедры следует организовать архивное хранение курсовых и дипломных работ студентов, чтобы иметь возможность быстрого выявления плагиата. Также следует ужесточить ответственность за плагиатирование работ студентами. Преподавателям кафедры, ведущим курсовое и дипломное проектирование, следует регулярно просматривать Интернет-ресурсы на предмет наличия готовых работ по предлагаемой ими тематике.

О некоторых направлениях модернизации гидравлических аппаратов гидроприводов дорожных машин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Рационализация систем отбора мощности силовой установки на привод рабочих органов технологического оборудования многофункциональных строительных и дорожных машин может проводиться в направлении создания отдельных гидравлических агрегатов деления потока рабочей жидкости насоса и многопоточных насосов с модернизированной конструктивной схемой на базе применения дискретных гидрораспределителей (ДГ) роторного типа.

Создание многопоточных насосов может производиться в направлении интегрирования ДГ в конструктивную схему насоса и модернизации элементов насоса стандартной конструктивной схемы. ДГ могут оснащаться шестеренные насосы, насосы аксиально-поршневые с наклонными шайбой и блоком цилиндров. При реализации многопоточных аксиально-поршневых насосов с ДГ могут быть использованы гидрораспределители цапфенного и торцевого типов.

В рамках модернизации гидромашин предложен малоэнергоёмкий способ регулирования рабочего объема сдвоенной гидромашин. Наклонная шайба одной гидромашин выполнена с возможностью поворота относительно оси на угол $0-180^\circ$. Сущность предлагаемого решения состоит в изменении эффективного рабочего объема сдвоенной гидромашин посредством поворота относительно оси наклонной шайбы одной гидромашин при неизменном положении наклонной шайбы второй гидромашин. Механизм поворота может быть выполнен в виде червячной передачи с приводом червяка от автономного двигателя.

Предлагаемый способ регулирования рабочего объема аксиально-поршневой гидромашин может применяться в конструкции высокомоментных гидромотор-колес, обеспечивая расширение диапазона регулирования скоростей гидрообъемных трансмиссий тягово-транспортных машин.

Развитие малоэнергоёмкого способа регулирования рабочего объема гидромашин при постоянном угле наклона шайбы гидромашин может быть реализовано в гидромашине, оснащенной двумя гидрораспределителями. Рабочие полости двух рядом расположенных цилиндров блока взаимодействуют с различными гидрораспределителями. Регулирование эффективного рабочего объема гидромашин достигается за счет изменения положения одного из двух гидрораспределителей блока цилиндров.

Проверка условия, обеспечивающего работоспособность скоб конвейерной ленты

Миранович О.Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения с ОП

Выход из строя стыкового соединения в результате кратковременного действия растягивающих сил может произойти вследствие пластических деформаций скоб, при которых загнутые концы ножек скоб разгибаются, и вследствие прорывания скобами прокладок ленты. Возможно также срезание скоб. Поэтому прочность стыкового соединения определяется прочностью и жесткостью скоб, а также прочностью прокладок ленты.

Определим условия, обеспечивающие работоспособность скоб. В стыковом соединении каждая скоба подвержена изгибу, при котором возникают изгибные напряжения.

Для соединения с одинаковыми рядами скоб наибольшие напряжения σ испытывают скобы крайних рядов. Величина этих напряжений не должна превышать предел текучести материала проволоки $[\sigma_T]$.

$$\sigma = \frac{8 X_1 H_1}{\pi d_1^3 M_1} \leq \frac{[\sigma_T]}{P_{ck}}, \quad (1)$$

где P_{ck} – коэффициент запаса прочности скоб; M_1 – число скоб в ряду; H_1 – толщина ленты.

Как следует из формулы (1), уменьшить изгибные напряжения можно увеличив диаметр проволоки d_1 или число скоб в ряду, но при этом уменьшится податливость скоб C и возрастет усилие, возникающее в скобе X_1 . Для оценки влияния диаметра проволоки на величину изгибных напряжений аппроксимируем зависимость $X_1(C)$, полученную численно, следующей функцией

$$\frac{X_1}{P} = A_1 e^{-r\%/\delta} + B_1; \quad (2)$$

где P – сила растяжения, δ – податливость растяжению участка ленты.

Проведенные исследования показывают, что можно подобрать диаметр проволоки скоб, при котором нормальные изгибные и касательные напряжения не превышают допустимых значений.

Предпосылки для внедрения прогрессивных поточных видов транспорта

Миранович О.Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения
с опытным производством

Калийные рудники Старобинского месторождения входят в число крупнейших предприятий горной промышленности мира. Производительность их по горной массе составляет 23,8 млн. тонн / год. Мощное производство калийных рудников определяет необходимость создания большого количества выработок, оснащенных современным высокоэффективным оборудованием для обслуживания горных работ.

Одним из направлений комплексной механизации и автоматизации добычи руд, угля и нерудных ископаемых является создание и внедрение прогрессивных поточных видов транспорта, обеспечивающих возможности повышения пропускной способности, производительности труда и снижения себестоимости продукции, а также способствующих полной автоматизации транспортных процессов, повышению безопасности и улучшению условий труда.

Большой опыт по созданию ленточных конвейеров накоплен в странах Ближнего и Дальнего зарубежья. Разработкой конструкций и исследованием работы ленточных конвейеров успешно занимались организации: ИГД им. А.А. Скочинского, МВТУ им. Н.Э. Баумана, Московский, Днепропетровский и Свердловский горные институты, Уральский и Казахский политехнические институты и многие другие.

Эффективность работы ленточных конвейеров во многом определяется техническим состоянием лент и, прежде всего, состоянием стыковых соединений. Примерно 70% простоев и трудоемкости обслуживания ленточных конвейеров вызваны восстановлением стыковых соединений. Поэтому большое значение приобретает совершенствование ленточных конвейеров, транспортирующих в настоящее время более 50 % всего объема сыпучих грузов и строительных материалов.

В настоящее время ленточные конвейеры являются наиболее эффективным и высокопроизводительным видом конвейерного транспорта. Их использование в шахтах позволяет концентрировать горные работы, повысить нагрузки на забой. Для открытых горных и строительных работ именно ленточные конвейеры в большинстве случаев наиболее полно соответствуют техническим и экономическим параметрам горных и строительных машин и позволяют использовать поточную и циклично-поточную технологии.

Экономика и организация машиностроительного производства

Построение календарного графика действий эвристическими методами

Бабук И.М.

Белорусский национальный технический университет

Календарное планирование заключается в разработке графиков последовательного выполнения действий на основе критерия оптимизации – минимум продолжительности времени. При увеличении потока действий, нахождение оптимального решения полным перебором затруднено. Выбрать из этого множества оптимальный вариант по установленному критерию в приемлемое время проблематично. Для преодоления этого недостатка существует **модель эвристических суждений и предпочтений**.

Система приоритетов должна быть достаточной в том смысле, чтобы обеспечить возможность однозначного выбора для множества действий потока. В литературе описано множество правил назначения приоритетов. Приведем пример наиболее часто встречающиеся в теории расписаний правила. Для обозначения приоритетных правил в теории расписаний используется аббревиатура букв английского языка.

SPT – (shortest processing-time), правило кратчайшей операции, т.е. выбор действия с минимальной длительностью выполнения.

LPT – (longest processing-time) выбор наиболее длинной операции. Данное правило является по смыслу противоположным предыдущему.

FCFS – (first-come, first-served) первым пришел – первым обслужен. Приоритет действия вычисляется при поступлении его в систему и равен моменту времени, когда становится возможным начало выполнения первой операции.

DDATE – (due-date) выбор действия, имеющий минимальный плановый срок.

Перечисленные правила приоритетов не исчерпывают множества простых правил, их число может достигать двух-трех десятков, но уже из их рассмотрения можно видеть ряд проблем, возникающих в процессе их использования.

Встает вопрос об оптимальности получаемых решений, поскольку в процессе решения целевая функция, оценивающая эффективность расписания выполнения заданий, не используется. В этом заключается основное отличие эвристических методов от методов математического программирования, в которых целевая функция играет важнейшую роль и результаты решения получаются оптимальными.

Формирование портфеля инвестиционных проектов предприятия

Бабук И.М., Лузгин И.А.

Белорусский национальный технический университет
ОАО «Белорусский автомобильный завод»

Все множество инвестиционных проектов, которое планируется реализовать на предприятии за период планирования, будем называть портфелем инвестиционных проектов. Этот портфель формируется на основе разработанного и утвержденного стратегического плана для достижения запланированных целей и показателей развития предприятия. Развитие – это не только рост системы, но и изменение ее элементов.

Формирование портфеля проектов включает следующие этапы: 1) сбор множества проектов, предложенных подразделениями предприятия к определенному сроку; 2) классификация множества проектов по выделенным признакам; 3) выделение групп альтернативных и безальтернативных проектов; 4) формулировка критериев и приоритетов для принятия решений о включении проекта в портфель; 5) обоснование альтернативы с наилучшими показателями; 6) анализ и окончательный выбор проектов.

Сбор множества вариантов реальных инвестиционных проектов компания проводит вне зависимости от наличия ресурсов, состояния инвестиционного рынка и других факторов. Классификация множества проектов производится по признакам: цель проекта, вид результата, новизна технологии и др. На этапе выделения групп, проекты классифицируются на альтернативные, зависимые, взаимосвязанные и прочие. На следующем этапе необходимо рассмотреть и согласовать критерии, ограничения и приоритеты для включения проекта в портфель. Завершающая стадия - утверждение портфеля проектов, определение суммарной величины инвестиций.

Каждый из названных этапов выполняется в соответствии с принятой методикой. На следующем примере покажем подход при решении этапа "Обоснование альтернативы с наилучшими показателями". В данном случае применяется Теория многоатрибутной полезности: 1) составление списка возможных альтернатив i ; 2) расчет n_i независимых показателей экономической эффективности; 3) определение относительного веса α_i для каждого показателя n_{ij} ; 4) оценку альтернатив по каждому параметру; 5) сведение вместе для сравнительного анализа оценок всех альтернатив по всем параметрам; 6) выбор альтернативы с наилучшим показателем по пункту 5.

Оптимизация масштабов бизнеса малого производственного предприятия

Ивашугин А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Развитие в Беларуси малого и среднего предпринимательства, в том числе в производственной сфере, обострило проблему методического обеспечения при разработке бизнес-планов для таких предприятий. Официально действующая методика по бизнес-планированию, к сожалению, ориентирована на крупные предприятия, для которых вопрос балансировки необходимой производственной мощности и прогнозируемого спроса на продукцию в методическом плане решается просто: сопоставляются необходимая станкоемкость годовой программы и фонды времени работы оборудования.

Но в малом бизнесе существуют как минимум две проблемы, которые не позволяют решать эти вопросы таким образом. Во-первых, долгосрочные договора на производство продукции часто отсутствуют и предприятия вынуждены работать в спонтанном режиме с неустойчивой загрузкой по времени. Это не позволяет использовать для расчетов производственной мощности среднегодовой спрос на продукцию предприятия. Во-вторых, количество единиц необходимого оборудования по группам, как правило, небольшое. Это создает большие управленческие и финансовые трудности при выполнении непредвиденных заказов клиентов. Создание резервного количества оборудования не решает проблему из-за финансовых ограничений. Например, покупка к двум имеющимся токарным станкам третьего требует существенного с точки зрения масштабов предприятия увеличения инвестиционных вложений, оценку эффективности которых сложно сделать с использованием официальных методик по бизнес-планированию.

Поэтому применительно к малым производственным предприятиям разработана методика оптимизации масштабов бизнеса и, соответственно, производственной мощности, которая предполагает несколько этапов: прогноз спроса на продукцию предприятия на краткосрочные периоды времени; расчет потери прибыли при отказе от производства одной единицы продукции; расчет потери прибыли из-за наличия избыточной производственной мощности; расчет суммарных потерь прибыли и дополнительных затрат на приобретение и содержание дополнительной единицы лимитирующего оборудования; минимизация этих потерь и затрат; принятие решения об оптимальных масштабах бизнеса, производственной мощности и инвестиционных вложениях.

Экономическая безопасность экспортноориентированного машиностроительного предприятия

Ивашутин А.Л., Демянчик Д.В.

Белорусский национальный технический университет
Минский автомобильный завод

Совершенствование управления экономической безопасностью (ЭБ) экспортноориентированных машиностроительных предприятий – сложная и многогранная проблема. Разработанная методика управления ЭБ основана на анализе особенностей этого понятия применительно к крупным машиностроительным белорусским предприятиям. При оценке ЭБ выделены следующие аспекты: во-первых, экономическая безопасность рассмотрена с позиций классического системного подхода как ресурсная (риски, связанные с обеспечением предприятия материальными и трудовыми ресурсами), безопасность производственного процесса и безопасность экспортных продаж. С другой стороны в методике отражены вопросы оперативного и стратегического управления ЭБ, что потребовало решения проблемы оптимизации соотношений между этими горизонтами планирования. При оценке и управлении ЭБ учитывалось также, что современное машиностроительное предприятие – это сложный производственный комплекс, быстрая адаптация которого к изменениям внешней среды проблематична, что в условиях высокой экспортной ориентированности увеличивает зависимость предприятия от зарубежных партнеров и, соответственно, требует специфических «мягких» методов оптимизации экономической безопасности.

Для оценки и управления ЭБ разработаны два варианта методики: укрупненная, требующая стандартной статистической информации; дифференцированная, позволяющая получить для анализа более качественную информацию. Но для ее реализации необходим более сложный управленческий учет таких показателей как количество «сбоев» при поставках ресурсов: количество и сроки, на которые заключены договора на поставку; количество «сбоев» при экспортных продажах: количество и сроки, на которые заключены договора на продажу; уровень товарной и территориальной диверсификации экспортного портфеля; доля продаж по спонтанным краткосрочным договорам; уровень зависимости иностранных покупателей от белорусских предприятий (например, от МАЗа); наличие встречных договоров; вероятность возникновения форс-мажорных обстоятельств, связанных с колебаниями валютных курсов, проблемами таможенного оформления, политической нестабильностью, санкциями и т.п.

Методология создания моделей транспортных потоков

Бутор Л.В., Суворов А.А., Остапук Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из ключевых факторов конкурентоспособности предприятия является комплексная система планирования, управления и анализа грузоперевозок. Результатом этого служит снижение транспортных издержек, повышение эффективности работы транспорта и создание единого информационного пространства для управления целями поставок.

В моделировании транспортных потоков существует два основных подхода – вероятностный (стохастический) и детерминированный.

Основываясь на функциональной роли моделей транспортных потоков, т.е. на тех задачах, для решения которых они применяются, можно условно выделить три основных класса: 1) прогнозные модели; 2) имитационные модели; 3) оптимизационные модели.

Выбор способа создания модели транспортных потоков обусловлен многофункциональным и многоуровневым характером транспортной системы, динамическим и вероятностным характером изучаемых процессов, активностью объекта управления, которая требует учета многочисленных психологических и социально-экономических факторов.

Общий алгоритм создания модели транспортных потоков может включать в себя следующие этапы: 1) моделирование спроса; 2) моделирование сети; 3) анализ параметров транспортных средств; 4) расчет нагрузки на участки сети; 5) конфигурация маршрутов и параметров транспортного потока; 6) анализ и прогноз информации.

Для построения математических моделей транспортных потоков необходимо формальное описание потокообразующих и поведенческих факторов, а также характеристики транспортной сети. Основа такого описания — транспортный граф, узлы которого соответствуют пунктам отправки или доставки грузов, дуги — сегментам дорог. На основе имеющегося графа можно построить имитационную модель, слагаемыми которой служат следующие факторы: время передвижения транспортного средства, время ожиданий в погрузочно-разгрузочных пунктах и в пунктах пересечения границы (для международных перевозок), условные штрафные добавки времени. Имитационная модель дает предпосылки для разработки оптимизационной модели – внимание следует уделить тем составляющим транспортного потока, которые имитационная модель выявит как наиболее слабые. В результате решения данной задачи с помощью математического программирования находится некий план (программа) работы предприятия.

Алгоритм оптимизации транспортного обслуживания с применением методов экономико-математического моделирования

Бутор Л.В., Деханд Т.В., Бирич С.С.

Белорусский национальный технический университет

Транспортное обслуживание предполагает выбор вида транспорта, направления перевозок, способа транспортировки и обслуживания груза в пути. Оптимизация заключается в минимизации затрат по всем вышеназванным элементам процесса доставки груза.

Одной из важных составляющих транспортного обслуживания предприятия является задача по моделированию направления перевозок, удовлетворяющих заданным организационным условиям и оптимизирующих затраты. Необходимо разработать транспортные маршруты между установленными точками доставки грузов таким образом, чтобы себестоимость их реализации была наименьшей по сравнению с другими возможными маршрутами и выдерживалась заданная очередность транспортного обслуживания. Следовательно, реализация поставленной цели сводится к нахождению оптимального маршрута, путем решения задачи минимизации пути.

Ставится задача определения неизвестных величин x_{ij} (длина пути) в соответствии с заданными ограничениями по времени и внутренним резервам, учитывая стоимость перевозок. В качестве внутренних резервов рассматривается дополнительный ресурс транспорта. С помощью математических методов моделирования предприятие может задать сетевой график перевозок, слагаемыми которого служат время передвижения транспортного средства, время ожиданий в погрузочно-разгрузочных пунктах, условные штрафные добавки времени.

Решение данной задачи базируется на алгоритме оптимизации с использованием внутренних резервов, включающем 6 этапов:

- 1) суммарная длина пути должна быть минимальной $f(x) = \sum x_{ij} \rightarrow \min$;
- 2) величина внутренних резервов должна находиться в пределе (D), позволяющем избежать значительных простоев транспорта и обеспечить возможность замены транспорта в экстренных ситуациях;
- 3) время выполнения каждой доставки (d_{ij}) не должно превышать минимально возможного, а время выполнения всего задания (T_0) - заданного срока;
- 4) время окончания любой доставки (i, j) сетевого графика должно быть меньше начала непосредственно следующей за ней доставки (j, r), т.е. для любых смежных доставок сети (i, j) и (i, r) должно выполняться условие $T_{ji}^n \geq T_{ij}^k$;
- 5) стоимость перевозок должна быть не больше стоимости аналогичных перевозок в базовом периоде (в сопоставимых ценах).

Координация действий производственных и маркетинговых подразделений промышленного предприятия

Глубокий С.В., Николенко Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

В условиях современной рыночной конкуренции важными составляющими успешной деятельности промышленных предприятий (ПП) является клиентская персонификация, которая означает индивидуальный подход к потребителю. ПП не могут бесконечно расширять номенклатуру товаров, следует держать под контролем издержки, чтобы цена конечного продукта была конкурентоспособна. ПП стремятся создать «стандартизированное разнообразие», когда новый продукт в незначительной, но достаточной для потребителя степени отличается от уже существующего.

Основной конфликт: отделы маркетинга и сбыта часто выступают за большее разнообразие, потому как их заработок напрямую зависит от объемов продаж, производственники стараются максимально уменьшить складские запасы, издержки производства и выполнить производственный план. Коммуникации между маркетингом, продажами и производством усложняются еще и тем, что во главе каждой из функций обычно стоят люди без знания смежных областей. Решением данной проблемы может стать привязка премиального фонда всех подразделений к прибыли от продаж, а чтобы оценить степень вклада каждого подразделения, необходимо способствовать коммуникационному взаимодействию между подразделениями. Следует организовать корпоративную рассылку электронной почты, поставив в «копию адреса» всех заинтересованных лиц. Решения будут приниматься быстрее и с учетом замечаний каждого подразделения. Нарращивание собственной информационной базы данных ПП будет способствовать упрощению принятия решений на основе анализа накопленной информации.

Бюджеты маркетинга и производства тесно связаны между собой. С одной стороны, анализ емкости рынка, проводимый в рамках маркетингового исследования, позволяет прогнозировать объем производства в натуральном выражении. С другой стороны, по данным о плановой производственной себестоимости продукции определяется возможная прибыль предприятия. Чтобы прогнозы были максимально достоверными, рекомендуется использовать ряд инструментов для планирования норм выработки на основе рыночного спроса: мажорантность, антигармония, сглаживание, скольжение, учет сезонности спроса и другие.

Условия выбора метода нормирования производственных запасов

Адаменкова С.И., Куделич Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Одним из важнейших элементов управления производственными запасами (ПЗ) является их нормирование. В практике нормирования используют три основных метода: метод прямого счета, коэффициентный метод и аналитический. Анализ этих методов позволил выявить их достоинства, недостатки и предложить их усовершенствование.

Для нормирования производственных запасов предлагается использовать четыре метода:

- Научно-обоснованный. Предполагает оптимизацию факторов, влияющих на определение норматива производственных запасов.
- Аналитический. Отличается от научно-обоснованного тем, что при нормировании учитываются существующие факторы, влияющие на производственные запасы, и их изменения.
- Отчетно-статистический. Норматив устанавливается на основе данных статистической и других отчетностей материальных ресурсов за прошлые периоды.
- Эвристический. Предполагает использование опыта специалистов.

Для выбора метода нормирования необходимо все производственные запасы разделить на группы по критериям стоимости приобретения и частоты использования в производстве с применением ABC-XYZ-анализа (таблица 1).

Таблица 1 - Выбор метода нормирования производственных запасов

Группа ПЗ	Критерии ПЗ	Метод нормирования
АХ и ВХ	Высокая стоимость и стабильное использование в производстве	Научно - обоснованный
АУ и ВУ, АЗ и ВZ	Высокая стоимость и нестабильное использование в производстве	Аналитический
СХ и СУ	Низкая стоимость и высокая стабильность использования	Отчетно - статистический
СZ.	Низкая стоимость и нестабильное использование	Эвристический

Таким образом, научно обоснованный подход выбора предлагаемых методов нормирования позволит предприятию рационализировать процесс управления производственными запасами, а также сэкономить время, трудовые и денежные ресурсы.

Кластерная форма развития экономики

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Кластерная форма развития экономики позволяют определить кластер как один из видов сетевых структур с присущей этим структурам спецификой организации и управления, при этом одновременно географически сконцентрированный, в рамках которого предприятия, входящие в основную технологическую цепочку создания конечного продукта, а также вспомогательные организации (научные, образовательные, сервисные) связаны, взаимодействуют и дополняют друг друга с целью усиления их индивидуальных конкурентных преимуществ, а также конкурентных преимуществ всего кластера в целом.

Кластер, как правило, формируется по инициативе снизу, когда сами хозяйствующие субъекты для повышения своей конкурентоспособности приходят к необходимости объединения. Превалирование в экономике кластеров, а не изолированных компаний, показывает важность понимания сущности конкуренции и роли географического расположения в достижении конкурентных преимуществ.

Кластерная форма организации производства более выгодна, чем отраслевая, в силу более тесных внутрифирменных связей. Кластер порождает эффект масштаба производства, основой которого является наличие в лице одной из компаний инновационного ядра, стимулирующего производство новых видов продуктов и услуг.

Одним из отличительных признаков кластера выступает принцип территориальной локализации, что способствует обмену идеями, информацией о новых технологиях между участниками этой группы.

В то же время необходимо подчеркнуть, что существование кластера не отрицает наличия в экономике региона обособленных отраслей, не входящих в их состав. Некоторые из этих обособленных отраслей могут войти в состав межрегиональных кластеров, другие – так и остаться в обособленном виде.

Важнейшее отличие кластера от других форм экономических объединений заключается в том, что компании кластера не идут на полное слияние, а создают механизм взаимодействия, позволяющий им сохранить статус юридического лица и при этом сотрудничать с другими хозяйствующими субъектами, образующими кластер, и за его пределами. Таким образом, в основе кластера лежит сложная комбинация конкуренции и кооперации.

Условия формирования эффективной социально-экономической политики государства

Короткевич Л.М., Короткевич А.И.

Белорусский национальный технический университет
Международный институт трудовых и социальных отношений

Сегодня в Республике Беларусь должен быть сформирован такой режим функционирования народного хозяйства Беларуси, при котором обеспечивается приоритет интересов и целей домашних хозяйств над интересами и целями предприятий, государства и остального мира. Соответственно интересы и цели предприятий, обусловленные интересами и целями домашних хозяйств, являются приоритетными по отношению к интересам и целям государства и остального мира. Интересы же и цели государства, являющиеся производными от интересов и целей домашних хозяйств и предприятий, становятся наиболее важными по отношению к интересам и целям остального мира. В соответствии с вышеизложенным подходом к формированию режима функционирования народного хозяйства можно выделить следующие цели развития различных типов субъектов экономических отношений, входящих в народнохозяйственный комплекс. Для домашнего хозяйства – обеспечение изменения структуры потребления товаров и услуг в соответствии с сегодняшним пониманием обществом своих будущих потребностей. Для предприятия – обеспечение изменения структуры производства товаров и услуг, обусловленное соответственным изменением структуры потребления. Для государства – изменение экономического порядка, обеспечивающего согласованное изменение структуры производства и структуры потребления. На уровне мирового хозяйства – изменение условий, обеспечивающих изменение экономического порядка.

Для достижения вышеназванных целей развития субъектов экономических отношений необходимо обеспечить:

1. Выделение многообразия элементарных задач, получаемых декомпозицией показателей критерия эффективности на подзадачи в соответствии с основными этапами жизненного цикла объекта управления. по признаку ресурсного обеспечения, по уровням управления и по этапам управленческого цикла..

2. Разработку организационно-экономического механизма решения выделенных задач, включающего совокупность методов, приемов. способов распределения ресурсов в пространстве и в во времени и реализующихся в структуре и стратегии.

Модель управления конкурентоспособностью машиностроительного предприятия

Королько А.А.

Белорусский национальный технический университет

С усилением конкуренции на рынках, усложнением механизмов взаимодействия хозяйствующих субъектов повышается актуальность разработки и применения современных адаптивных систем управления предприятием. Факторы внутренней и внешней среды предприятия характеризуются многочисленностью и высоким динамизмом, что отражается на его конкурентоспособности.

К сожалению, в настоящее время разнообразие методологических подходов к определению конкурентоспособности предприятия не позволяет установить сущность этого понятия, состав его смыслообразующих элементов, которые необходимы для разработки методов оценки конкурентоспособности предприятия и принятия управленческих решений по моделированию ее уровня. Разное применение одного и того же явления субъектами рынка при совместной их деятельности может препятствовать согласованным действиям. Учитывая субъективность процесса оценки конкурентоспособности лица, принимающие решения при выборе соответствующего метода оценки, могут получить разные результаты.

Конкурентоспособность предприятия ярко проявляется в следующих четырех признаках:

потребители довольны товарами и готовы купить повторно продукцию предприятия;

общество, партнеры, государственные и социальные институты не имеют претензий к фирме;

акционеры довольны положением дел на фирме и величиной дивидендов;

работники довольны своим положением и считают за честь трудиться на предприятии.

Для того, чтобы стать конкурентоспособным предприятию необходимо:

- обеспечить конкурентоспособность выпускаемой продукции в целевых сегментах рынка;

- повысить конкурентный потенциал до уровня лучших предприятий отрасли, т.е. производить товары, превосходящие по качеству и цене аналоги.

Экономическая безопасность предприятия и основные показатели ее оценки

Королько А.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность функционирования предприятий различных форм собственности напрямую зависит от степени защищенности их экономических интересов, чем в значительной степени определяется экономическая безопасность государства в целом.

К основным проблемам обеспечения экономической безопасности можно отнести следующие:

- наличие значительных затруднений формализованного описания динамических характеристик предприятия с точки зрения обеспечения его экономической безопасности во взаимосвязи с действиями дестабилизирующих факторов;
- существующие затруднения с определением состава оценочных критериев составляющих экономической безопасности а также их градацией для различных уровней безопасности;
- отсутствие общепризнанных отечественных методик оценки уровня составляющих экономической безопасности предприятия;
- отсутствие методики комплексной оценки уровня экономической безопасности предприятия с учетом всех ее составляющих, поскольку уровни различных составляющих определяются по разным шкалам, что затрудняет их сведение в единый комплексный показатель.

Все эти проблемы требуют научного осмысления в целях определения или совершенствования подходов к их решению. Рассмотрение этих подходов следует начать с уточнения самого понятия экономической безопасности предприятия, под которой следует понимать состояние эффективного использования его ресурсов и существующих рыночных возможностей, позволяющих предотвращать внутренние и внешние угрозы с точки зрения его длительного выживания и устойчивого развития в условиях рыночной экономики в соответствии с избранной миссией.

Обеспечение экономической безопасности предполагает выделение, анализ и оценку существующих угроз по каждой из функциональных составляющих и разработку на их основе системы противодействующих и упреждающих мероприятий.

В структуру экономической безопасности предприятия входит финансовая, кадровая, технологическая, правовая, силовая, рыночная, экологическая и информационная.

Проблемы оценки эффективности инновационных проектов

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Инновационная сфера характеризуется высокой неопределенностью коммерческого успеха, значительными затратами финансовых ресурсов. В таких условиях предприятиям нужно ориентироваться на перспективные инновационные проекты. Для устойчивого инновационного развития предприятие должно иметь портфель инноваций: набор проектов, находящихся в разной степени проработки. В этом случае неизбежно возникает задача выбора проекта для реализации. Это обуславливает необходимость в комплексном анализе эффективности вовлечения новшеств в хозяйственный оборот. Несмотря на некоторую общность методов оценки эффективности инвестиционных и инновационных проектов, последние обладают рядом специфических особенностей, которые обусловлены следующими факторами: более широкий круг участников (помимо инвесторов это НИИ, опытно-конструкторские, проектные организации, заводы-изготовители новой продукции, ее потребители), значительно больший период времени от осуществления инвестиций до получения дохода, обязательное проведение сравнительного анализа показателей эффективности проекта, многокритериальность оценки, принципиальная новизна объекта реализации инновационного проекта. При этом при оценке эффективности инноваций в отличие от оценки эффективности инвестиций следует большее внимание уделять процессу выбора наилучшего варианта из числа возможных. Для получения рациональных решений о реализации проекта инноваций предлагается использовать системный подход, основанный на многокритериальной оценке эффективности проектов. Оценка включает группы интегральных показателей, каждая из которых характеризует свой аспект реализации инновационного проекта: экономические (NPV, IRR, DPBP, PI, ARR), технико-экономические (прибыль, рентабельность, издержки и пр.), показатели влияния реализации инновационного проекта на экономическую эффективность развития предприятия (увеличение охвата сегмента рынка, увеличение стоимости бизнеса), социально-экономические показатели (новые рабочие места, повышение квалификации и пр.), эколого-экономические критерии (снижение уровня шума, выбросов и пр.). Такая система критериев позволит проводить комплексную экспертизу инновационного проекта, учитывающую все возможные эффекты и последствия, которые могут возникнуть при его реализации.

Проблемы и пути модернизации инновационной сферы

Костюкевич Е.Н., Немкович Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Как известно, Беларусь обладает третьим по величине после России и Украины научно-техническим потенциалом среди стран-участниц СНГ. В 2010 году 324 организации промышленности являлись инновационно-активными, что составляет 15,4% от общего числа организаций промышленности Беларуси. Показатель вырос по сравнению с 2009 годом на 3,3%, однако еще далек от критического в 25%. Доля затрат на приобретение машин и оборудования в 2010 году составила 65,1%, в то же время расходы на приобретение новых и высоких технологий занимают незначительную долю – 0,4%. Энергозатраты на производство единицы продукции в среднем в 2-3 раза превышают аналогичные показатели развитых стран. При этом рост потребления материальных и топливно-энергетических ресурсов в экономике Беларуси ограничен.

Указанные проблемы требуют перехода на качественный рост промышленного производства: повышение эффективности использования всех видов ресурсов, увеличение доли добавленной стоимости в ВВП. Низкий уровень инновационной активности субъектов хозяйствования, может объясняться рядом причин, среди которых: низкий статус конкурентной среды; отсутствие развитого рынка новых технологий и инновационных продуктов, низкий спрос на них производителей и отсутствие предложений от создателей инноваций; отсутствие развитого рынка научно-интеллектуального труда; несовершенная оргструктура инновационного воспроизводства, отсутствие функциональных подразделений предприятий по исследованию рынка новых технологий, генерации, отбору инновационных идей и их воплощению; недостаточная интеграция научной базы с производственным потенциалом предприятий; недостаточная ориентация банковско-финансовой системы на инновационное воспроизводство основного капитала.

В последнее время государство активно обновляет и дополняет законодательную базу по инновационному развитию методами прямого и косвенного стимулирования инновационной деятельности (ИД). Однако дальнейшая модернизация ИД невозможна без решения вопросов стимулирования труда авторов научных разработок и партнерских отношений НИОКР и производства; финансирования и поддержки инновационной деятельности; развития государственно-частного партнерства; стимулирования привлечения эффективных прямых иностранных инвестиций.

Очередность реализации мероприятий технического перевооружения промышленных предприятий

Глебко С.М.

РУП «Минский тракторный завод»

Очередность реализации приходится выбирать из множества инвестиционных мероприятий, обеспечивающий наилучшее использование необходимых на эти цели средств. Каким образом выбрать наиболее эффективные и обосновать, что именно на эти направления необходимо расходовать денежные средства в первую очередь?

Предлагается методика, согласно которой каждое инвестиционное мероприятие будет оценено по семи классификационным признакам. В результате очередность будет выстроена исходя из наибольшего количества набранных баллов по результатам расчетов и выставленной оценки.

Классификационные признаки мероприятий (оценка)	
1	Цель проведения инвестиционного мероприятия: 1.1. Увеличение объемов производства традиционной продукции (4); 1.2. Освоение производства продукции конкретного наименования (3); 1.3. Увеличение производства экспортной продукции (5); 1.4. Импортозамещение (7); 1.5. Снижение расхода ресурсов (6); 1.6. Для выполнения мероприятий предусмотренных нормативными правовыми актами (8); 1.7. Выполнение вспомогательных операций (1); 1.8. Обновление физически изношенного оборудования (2); 1.9. Повышение конкурентоспособности продукции (9)
2	Вид результата: 2.1. Экономический (4); 2.2. Социальный (3); 2.3. Экологический (2); 2.4. Другой (1)
3	Новизна технологии: 3.1. Традиционная (1); 3.2. Новая (2); 3.3. Научная (3); 3.4. Высокая (4)
4	Вид затрат: 4.1. Капитальные (3); 4.2. Капитальные и текущие (2); 4.3. Текущие (1)
5	Группы оборудования: 5.1. Металлообрабатывающее и др. оборудование (6); 5.2. Рабочий инструмент (5); 5.3. Вычислительная техника (4); 5.4. Транспорт (2); 5.5. Инструмент (3); 5.6. Прочее (1)
6	Срок окупаемости мероприятия: 6.1. 1-2 года (6); 6.2. 3-4 (5); 6.3. 5-6 (4); 6.4. 7-8 (3); 6.5. 9-10 (2); 6.6. Свыше 11 лет (1)
7	По результатам внедрения мероприятия эффект будет направлен на: 7.1. Экономический рост (1); 7.2. Экономическое развитие предприятия (3)

Информационное наполнение сайта вуза с учетом интересов целевой аудитории

Лавренова О.А., Бирич С.С., Деханд Т.В.
Белорусский национальный технический университет

В условиях перехода к информационному обществу наличие сайта для высшего учебного заведения имеет огромное значение. Сайт реализует информационное обеспечение практически всех видов деятельности ВУЗа. Открытость и доступность информации, ориентированной как на внешнего, так и на внутреннего пользователя, формирует положительный имидж учебного заведения, а также влияет на его инвестиционную привлекательность. Вот почему при формировании информационного наполнения сайта ВУЗа важно учитывать интересы его целевой аудитории.

Исследования показывают, что к целевой аудитории сайта ВУЗа относят следующие категории пользователей: абитуриентов, студентов и их родителей, магистрантов, аспирантов, докторантов, преподавателей, потенциальных потребителей образовательных услуг и работодателей, СМИ, а также административные структуры.

Изучение сайтов учебных заведений различных стран позволило выделить некоторые минимальные требования к информационному наполнению разделов для различных групп пользователей. Например, для абитуриентов необходимы: актуальный перечень всех специальностей и направлений подготовки студентов с указанием форм обучения, стоимость обучения, условия предоставления общежития. Для студентов должны быть предоставлены: уточненное расписание занятий, графики консультаций преподавателей, объявления, учебно-методические материалы, информация общественных организаций. Для родителей может быть полезна информация о текущей рейтинговой аттестации и пропусках занятий студентов, контактная информация кураторов, сведения об изменении стоимости обучения.

Для развития сотрудничества с зарубежными партнерами необходимо предоставить полную версию сайта на иностранных языках. Реклама услуг, оказываемых подразделениями вуза, а также размещение положительных отзывов несомненно будут способствовать увеличению числа потенциальных потребителей образовательных услуг и соответственно, формированию дополнительной прибыли.

Успешное существование и развитие сайта вуза невозможно без постоянного мониторинга работоспособности разделов сайта, проверки актуальности информации и ее регулярного обновления (при этом дата последнего изменения должна быть очевидна для пользователей).

Основные направления совершенствования системы управления научными исследованиями

Плясунков А.В., Дятковская Т. В.

Белорусский национальный технический университет

Переход к устойчивому экономическому росту во всех отраслях национальной экономики и улучшению благосостояния и качества жизни народа невозможен без стимулирования достижений науки и активизации инновационной деятельности, опирающейся на прочный фундамент знаний. В современных условиях функционирования экономики наука преобразуется в одну из важнейших сфер, определяющих перспективы социального и экономического развития.

Одним из главных условий функционирования национальной науки является наличие высококвалифицированных специалистов, профессионально владеющих знаниями и навыками исследовательской деятельности. Кадровые проблемы в научной сфере Республики Беларусь, связанные с уменьшением численности работников с учеными степенями и званиями, занятых научными исследованиями и разработками, усугубляются структурными сдвигами воспроизводства научных кадров. Это проявляется в нарушениях рационального соотношения возрастных категорий работников, занятых исследованиями и разработками, а также старении исследовательского персонала, что ведет к нарушению непрерывности и преемственности воспроизводства научных знаний, научных кадров и развития науки в целом.

Основной причиной сложившейся ситуации является отсутствие мотивации у выпускников вузов к выбору научной деятельности в качестве профессии, что главным образом обусловливается низким уровнем основной заработной платы в сфере науки и образования и нестабильностью доплат за ученую степень.

Для решения указанных проблем необходим комплексный управленческий подход к разработке системы мероприятий, направленных на повышение эффективности научных исследований, отвечающего по своим количественным и качественным параметрам современным потребностям национальной экономики. В рамках этого подхода модель процесса управления научной деятельностью определяется как взаимосвязь основных функций управления: планирование, организация, программно-целевой подход, мотивация, обратная связь (анализ, мониторинг, контроль) и координация, которые объединены процессами коммуникации и выработки мер воздействия.

Оценка конкурентоспособности предприятия

Плясунков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Под конкурентоспособностью предприятия предлагается понимать способность предприятия быть более эффективным по сравнению с предприятием-конкурентом.

Конкурентоспособность предприятия предлагается определять по следующей формуле:

$$КСП_{2,1} = P_{2A} / P_{1A},$$

где $КСП_{2,1}$ - конкурентоспособность оцениваемого предприятия по отношению к предприятию-конкуренту; P_{2A} , P_{1A} – рентабельность активов соответственно оцениваемого предприятия и предприятия-конкурента.

Если $КСП_{2,1} > 1$, то оцениваемое предприятие более конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент. Если $КСП_{2,1} = 1$, то оцениваемое предприятие и предприятие-конкурент имеют одинаковую конкурентоспособность. Если $КСП_{2,1} < 1$, то оцениваемое предприятие менее конкурентоспособное, чем предприятие-конкурент.

Рентабельность активов предлагается определять по следующей формуле:

$$P_A = \Pi_{ч} / A,$$

где $\Pi_{ч}$ – чистая прибыль предприятия, A – активы предприятия.

В свою очередь чистая прибыль предприятия определяется: выручкой от реализации продукции, которая зависит от конкурентоспособности продукции с точки зрения потребителя; затратами на производство и реализацию продукции, которые зависят от эффективности управления затратами; налогами из выручки и прибыли от реализации продукции, которые зависят от законодательства в области налогообложения.

Рентабельность активов определяет насколько эффективно используются ресурсы предприятия. То предприятие, которое более эффективно использует свои ресурсы и является более конкурентоспособным.

Конкурентоспособность предприятия – это относительный показатель, так как «сегодня» одно предприятие лучше использует свои ресурсы, чем другое, но «завтра» ситуация может измениться. Поэтому предприятие постоянно должно повышать эффективность использования своих ресурсов, чтобы быть более конкурентоспособным, чем другие предприятия. Этому в том числе может способствовать создание эффективной системы управления конкурентоспособностью предприятия.

Проблемы создания комплекса маркетинговых коммуникаций промышленного предприятия

Попова Н.Д., Похабов В.И.

Белорусский национальный технический университет

Повышение эффективности использования маркетинговых коммуникаций представляет актуальную проблему для всех областей предпринимательской деятельности, и в первую очередь для отраслей промышленности, которые характеризуются высоким уровнем конкуренции и большими объемами затрат на маркетинговые коммуникации. Процесс коммуникации неразрывно связан со всеми стадиями маркетингового процесса. На разных этапах коммуникации могут принимать форму рекламы, стимулирования продаж или упаковки, но в итоге все они являются частицами общего процесса маркетинговых коммуникаций.

Основной причиной снижения эффективности маркетинговых коммуникаций является несогласованность и порой противоречивость сообщений, передаваемых субъектами маркетинговой системы. Возникновение данной ситуации, в свою очередь, вызвано отсутствием согласованности между внутренними и внешними коммуникациями компании, а также внутри комплекса средств маркетинговых коммуникаций. Для повышения эффективности маркетинговых коммуникаций необходимо применять интегрированный подход к их планированию и осуществлению. Основой данного подхода является обеспечение согласованности действий всех средств маркетинговых коммуникаций в рамках единой стратегии для достижения поставленных маркетинговых целей. Применение интегрированного подхода к планированию маркетинговых коммуникаций позволяет достигать высокого уровня удовлетворения покупателей, создавать существенные преимущества для компании перед конкурентами, способствуя увеличению объемов продаж и росту прибыли при условии, что все источники коммуникаций компании с рынком передают согласованные сообщения.

Каждый элемент маркетинговых коммуникаций должен сочетаться и дополнять остальные элементы, таким образом, чтобы совместными действиями обеспечить желаемую ответную реакцию от целевого получателя. Различные средства коммуникации воздействуют на различные этапы процесса коммуникации с потребителем и соответственно эффективность их применения зависит от правильной разработки комплекса маркетинговых коммуникаций.

Модели комплекса маркетинга

Попова Н.Д.

Белорусский национальный технический университет

Моделей маркетинга в настоящее время стало очень много, и прийти к одной практически невозможно. В настоящее время в развитых странах с рыночной ориентацией экономики концепция комплекса маркетинга «4Р» считается незаслуженно ограниченной: product (продукт), place (место), price (цена), promotion (продвижение).

Ф. Котлер добавил в комплекс маркетинга дополнительно такие элементы как public relations (связи с общественностью) и politics (политика), тем самым расширив модель до «6Р». Но все эти модели представляют собой упрощенный вариант модели Н. Бордена, который рассматривал 12 элементов маркетинга, которые он представлял как направляющие линии в маркетинге. Количество Р постепенно увеличивается до двузначной цифры – уже появились physical evidence (обстановка), positioning (позиционирование), process (процессы), partitioning (сегментирование), probe (исследование), packaging (упаковка), people (люди), profit (прибыль).

Но, если разобраться с каждым из новодобавленных элементов отдельно, то можно отметить, что такой элемент, как «упаковка» является подэлементом «продукт», а «связи с общественностью» — это часть продвижения. Персонал стоит рассматривать не в комплексе маркетинга, а как ресурс, который используют при реализации комплекса маркетинга. Элемент «исследование» также стоит рассматривать не как элемент комплекса маркетинга, а как инструмент, с помощью которого разрабатывается и реализуется комплекс маркетинга.

Существует также концепции «4С» и «7С», предлагающие ориентировать маркетинг на потребителя: communication (коммуникации), customer care (забота о покупателе), connectivity (взаимодействие), community (сообщество), convenience (удобство), content (содержание), customisation (персонализация).

Существуют эксперименты и с буквой E — гуманистическая модель маркетинга «4Е»: ethics (этика), esthetics (эстетика), emotions (эмоции), eternities (преданность).

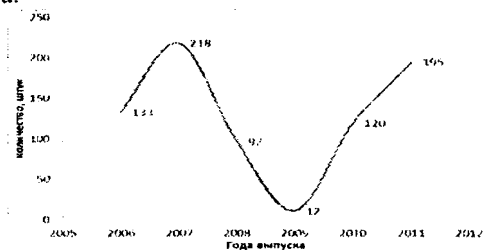
Таким образом, не смотря на многочисленные попытки увеличить число элементов в комплексе маркетинга или перефразировать его, он остается неизменным. Постоянно появляющиеся модели маркетинга результативности ему не добавляют и не дают общего направления деятельности, заводя в тупик.

Сахнович Т. А., Орсич Ю. В.

Белорусский национальный технический университет

Психолог Джонатан Скулер пытаясь повторить свой эксперимент обнаружил «эффект угасания» (от англ. decline effect) – при соблюдении всех условий и точном повторении экспериментов исследуемые показатели становятся все менее явными. При попытке репликации не удается достичь первоначальных результатов.

«Эффект угасания» активно исследуется не только в психологии, парапсихологии, но и в таких относительно точных науках как биология, экология и медицина. Есть он и в экономике, проиллюстрировать его можно на примере изменения объемов реализации фронтальных колесных погрузчиков А-333А и А-333В ОАО «Амкордор» на различных этапах жизненного цикла.



Снижение спроса на погрузчики А-333А выявило необходимость проведения конструкторских и организационных мероприятий на предприятии, которые были успешно проведены во втором полугодии 2009 года. Новое конструкторское решение незначительно изменило внешние и функциональные параметры, и название лишь модифицировали в А-333В.

Рынок абсолютно не стабилен, любые оперативные решения по изменению и усовершенствованию всех элементов организации производства принимаемые на предприятиях с целью удержания высокого уровня спроса, не смогут обеспечить точное достижение предыдущих результатов. Однако системный подход к планированию на предприятии и ежемесячная корректировка объемов производства с учетом не только фактического уровня спроса (количества поступивших заявок на продукцию), но и постоянно изменяющихся интересов потребителя, позволяет снизить до минимума остатки готовой продукции на складе, и создать дополнительные конкурентные преимущества предприятию.

Создание конкурентного преимущества промышленного предприятия

Сахнович Т.А., Якушева М.П.

Белорусский национальный технический университет

Конкурентные преимущества имеют различные формы проявления и различный уровень иерархии. Они подразделяются на: долгосрочные, среднесрочные и краткосрочные; устойчивые и нестабильные; уникальные и имитируемые и т.д.

Конкурентные преимущества являются концентрированным проявлением превосходства над конкурентами в экономической, технической, организационной сферах деятельности предприятия, которое можно измерить экономическими показателями (дополнительная прибыль, более высокая рентабельность, рыночная доля, объем продаж и др.)

Формирование конкретных конкурентных преимуществ, требует системного подхода, который обеспечит адаптацию системы управления предприятием к изменениям рынка, и создаст условия для эффективной адаптации на постоянной основе.

В связи с этим разработка процесса формирования конкурентных преимуществ включает следующие этапы:

- 1) анализ состояния и тенденций развития целевого рынка и деятельности конкурентов (позволит оценить шансы предприятия в конкретном целевом сегменте и реальные возможности опередить конкурентов в борьбе за увеличение рыночной доли);
- 2) стратегическая деятельность предприятия (главная цель – определение принципов и правил достижения преимуществ над конкурентами в целевых сегментах рынка для выработки соответствующей стратегии поведения в конкурентной борьбе);
- 3) тактическая деятельность предприятия (реализация стратегии конкуренции на практике, доведение ее до создания реальных конкурентных преимуществ – обосновать, разработать и внедрить стратегические замыслы, обеспечив этим конкурентные преимущества).

Системный подход к вопросу обеспечения преимуществ перед конкурентами создает условия для повышения эффективности реализации экономических интересов предприятия, а следовательно, и повышения конкурентоспособности продукции и предприятия в целом.

Ценовая политика предприятия на рынке сложно-технической продукции

Торская И.В., Будник И.А.

Белорусский национальный технический университет

Начавшийся в Республике Беларусь с принятием Директивы № 4 процесс либерализации в сфере ценообразования требует от отечественных хозяйствующих субъектов разработки взвешенной ценовой политики. Она должна охватывать все вытекающие из целей предприятия меры по поиску, выбору и реализации оптимальных соотношений между ценой и качеством товара, а также по решению связанных с этим проблем потребителей. Следовательно, ценовая политика должна носить проактивный характер. При этом в ходе ее разработки следует комбинировать различные рыночные методы ценообразования, уходя от господствовавшей долгое время затратной идеологии, которая весьма часто либо делала невозможным обеспечить нужное потребителю соотношение цены и качества, либо порождала у продавца упущенную выгоду. Поэтому вопросы, которые ставит перед собой в области ценовой политики успешное в конкурентной борьбе предприятие, должны быть обращены не только на удовлетворение собственных интересов, но и на максимальный учет интересов покупателей.

Сложно-техническая продукция необходима, в первую очередь, для реализации технологических процессов, создания товаров или услуг. Это формирует ряд особенностей, которые необходимо учитывать при формировании ценовой политики. Так, полезность такой продукции для покупателя обычно можно четко оценить количественно на основе тех параметров, которые фиксируются в технической документации и поддаются однозначной проверке. Кроме того, такая продукция используется длительное время, и потому для покупателя важна не только цена покупки, но суммарные затраты, которые он понесет за весь период ее эксплуатации. Отсюда принципиальное значение имеет оценка цены потребления, представляющей собой сумму цены приобретения товара и цены его эксплуатации. Ведь именно эта цена определяет результат решения покупателя о целесообразности приобретения товара и именно ею должен научиться управлять производитель.

Осуществлена оценка цены потребления такого товара, как четырехцилиндровые дизельные двигатели производства ОАО «Минский моторный завод» и предложено сочетание разработки ценовой политики с применением метода структурирования функции качества.

Управление лояльностью потребителей на рынке продукции производственно-технического назначения

Торская И.В., Воробей О.С.

Белорусский национальный технический университет

Процесс взаимодействия покупателя и продавца на рынках b2b имеет ряд отличительных черт, связанных с тем, что каждый из участников рыночной сделки ставит перед собой цель либо максимизации прибыли, либо максимизации создаваемой добавленной стоимости. Следовательно, рассчитывать на потребительскую лояльность на таком рынке можно только через формирование у потенциального клиента ощущения повышенной ценности от приобретения именно продукции данной фирмы. Для чего необходимо донести до него неоспоримую выгоду от процесса эксплуатации рассматриваемого товара по сравнению с товарами-аналогами. При этом покупателя интересует не простой набор технико-эксплуатационных характеристик приобретаемой продукции, а конечный результат в виде либо снижения собственных издержек, либо роста добавленной стоимости. Инструментом, реализующим в себе идею горговли не собственно товарами, а их ценностью для конечного потребителя, является «калькулятор ценности», предложенный экспертами в области маркетинга Дж. К. Андерсоном, Н. Кумаром и Дж. А. Нэрусом.

Осуществлена разработка «калькулятора ценности» как инструмента управления лояльностью покупателей ОАО «Минский автомобильный завод» в виде прикладной программы с использованием электронных таблиц Excel на примере такой продукции, как городские пассажирские автобусы. На данном рынке основными конкурентами ОАО «МАЗ» являются итальянская компания Iveco, немецкая фирма Setra, российские предприятия ЛиАЗ и Волжанин, а также украинское предприятие ЛАЗ. Предусматривается, что любой заинтересованный клиент может зайти на официальный сайт ОАО «МАЗ», где должен быть размещен «калькулятор ценности», и путём ввода определенного набора своих собственных данных о планируемых условиях эксплуатации автобусов подсчитать и оценить выгоду от приобретения конкретного товара, сравнив полученные данные с аналогичными значениями, которые обеспечивает использование продукции фирм-конкурентов. При этом важное значение имеет формирование и поддержание в актуальном состоянии объективной базы данных как в отношении характеристик продукции данного предприятия, так и фирм-конкурентов, чтобы у потенциального клиента не возникало сомнений в корректности получаемой им оценки ценности товара.

Содержание

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	80
Энергетическое строительство	113
Энергоэффективные технологии	152
Информационные технологии и автоматизация	184
Информационные системы и технологии	278
Литейное производство чёрных и цветных металлов	303
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	319
Обработка материалов давлением	353
Материаловедение в машиностроении	367
Теория механизмов и машин	392
Процессы механической обработки материалов и режущий инструмент	402
Горные машины	413
Строительные и дорожные машины	436
Экономика и организация машиностроительного производства	456

Научное издание

НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ

Материалы Десятой Международной научно-технической
конференции
В 4 томах

Том 1

Ответственный за выпуск Л.Э. Ляшенко

Подписано в печать 25.10.2012. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 28,02. Уч.-изд. л. 21,91. Тираж 150. Заказ 1390.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный
технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.