



Наука – образованию, производству, экономике

Материалы Девятой
международной
научно-технической
конференции

1

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ**

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

Том 1

**Минск
2011**

УДК ~~001.37+658+338~~(063)

~~ББК 72.431~~

Н34

В сборнике представлены материалы Девятой 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 978-985-525-806-4 (Т.1)
ISBN 978-985-525-808-8

© Белорусский национальный
технический университет, 2011

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика

Допустимые длительности аварийных переменных перегрузок кабельных линий

Анищенко В.А., Адамцевич В.А.

Белорусский национальный технический университет

Допустимые длительные токовые нагрузки кабельных линий электропередачи напряжением до 35 кВ допускаются в соответствии с регламентированными допустимыми температурами нагрева жил кабелей.

При проведении профилактических ремонтов и испытаний, а также при аварийных отключениях параллельных кабелей возникает необходимость решать вопрос о допустимой кратковременной перегрузке оставшихся в работе кабельной линии. Правила технической эксплуатации электроустановок рассматривают два вида кратковременных допустимых перегрузок для кабелей напряжением до 10 кВ: в нормальном режиме и во время ликвидации аварии. Эти перегрузки зависят от способа прокладки кабеля, коэффициента недогрузки до момента появления перегрузки, длительности перегрузки, а также продолжительности эксплуатации кабельной линии.

Регламентированные длительности кратковременных перегрузок предполагают постоянство коэффициента возникшей недогрузки. Однако возможные изменения конфигурации схемы электроснабжения, нагрузок потребителей и соответственно потокораспределения мощностей в процессе перегрузки могут привести к тому, что коэффициент перегрузки будет изменяться во времени. Неучет переменного характера перегрузки приводит к недопустимому перегреву кабеля или неполному использованию его перегрузочной способности, что ограничивает возможности диспетчерского персонала по выбору оптимальной стратегии ликвидации аварийного режима.

Предлагаемый способ определения допустимой длительности кратковременной перегрузки, основанный на результате анализа температурного режима перегрева кабеля, учитывает переменный характер перегрузки. Допустимая длительность перегрузки t_n в текущий момент времени t зависит от допустимого коэффициента перегрузки $K_{доп}$, фактического коэффициента перегрузки $K(t)$ и его осредненного значений $\bar{K}(t)$, а также от постоянной времени нагрева кабеля T :

$$t_n = -T \ln \frac{K_n(t) - K_{доп}}{K_n(t) - K(t)}$$

Осреднение коэффициента перегрузки производится методом экспоненциального сглаживания. Учет переменного характера перегрузки кабельной линии электропередачи позволяет повысить надежность электрообеспечения в условия режимов, испытаний в аварийных условиях.

Моделирование кратковременных аварийных перегрузок силовых трансформаторов

Анищенко В.А., Адамцевич В.А.

Белорусский национальный технический университет

Действующие стандарты допускают кратковременные аварийные перегрузки трансформаторов, которые носят кратковременный характер, встречаются нечасто и допускают небольшое превышение износа изоляции обмоток. Допустимые длительности этих перегрузок установлены в зависимости от кратности перегрузок, которые полагаются постоянными в ходе аварий. Они не позволяют правильно определять допустимые длительности изменяющихся во времени перегрузок. Это может приводить к недопустимому перегреву изоляции обмоток трансформаторов или недоиспользованию их перегрузочных способностей. Допустимые длительности кратковременных перегрузок определяются из выражения

$$t_n = -T \ln \frac{\tau_{уст} - \tau_{доп}}{\tau_{уст} - \tau_n}, \quad (1)$$

где T – постоянная времени нагрева, учитывающая интенсификацию электротермического процесса при перегрузке; $\tau_{уст}$ – ожидаемое установившееся при перегрузке превышение температуры изоляции обмоток над температурой окружающей среды; $\tau_{доп}$ – допустимое при перегрузке превышение температуры; τ_n – начальное превышение температуры.

Практическая невозможность экстраполяции установившегося превышения температуры не позволяет определить величину t_n из выражения (1). Задача решается путем эквивалентной замены $\tau_{уст}$ величиной фактической кратности перегрузки в текущий момент времени $K_{II}(t)$; $\tau_{доп}$ – величиной допустимой кратности перегрузки трансформатора $K_{доп}$; τ_n – осредненной кратностью перегрузки $\overline{K_{II}}(t)$. Тогда формула (1) принимает вид

$$t_n = -T \ln \frac{K_{II}(t) - K_{доп}}{\overline{K_{II}}(t) - K_{доп}}. \quad (2)$$

Определение перегрузки производится методом экспоненциального сглаживания:

$$\overline{K_{II}}(t) = \alpha \cdot K_{II}(t) + (1 - \alpha) \cdot \overline{K_{II}}(t - h), \quad (3)$$

где параметр сглаживания определяется как

$$\alpha = 1 - \exp(-h/T). \quad (4)$$

Предложенный алгоритм определения допустимой длительности перегрузок учитывает их возможный переменный характер и позволит повысить надежность работы трансформаторов в аварийных условиях.

Способ повышения чувствительности устройства для регистрации полей в электроустановках

Горностай А.В., Ролик Ю.А.*

Белорусский национальный технический университет
Институт транспорта и связи (Латвия)*

Известно устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения, в котором используется датчик магнитного поля на основе волоконного интерферометра Маха-Цендера, в одном из плеч которого использован световод с нанесенным на его поверхность покрытием из магнитоотрицательного материала [1].

Для регистрации как магнитных, так и электрических полей малой напряженности в электроустановках в состав устройства предложено дополнительно включить второй датчик электрического поля, выполненный на основе волоконного интерферометра Маха-Цендера. В одном из плеч интерферометра помещен световод с сердцевиной из двуокиси кремния с добавкой германия и оболочкой из двуокиси кремния с добавкой фтора и фосфора, причем оболочка световода покрыта пьезоэлектрическим полимером, в другом плече – обычный световод без оболочки и без покрытия [2].

При приближении к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением, первый датчик обеспечивает регистрацию магнитного поля, а второй датчик – регистрацию электрического поля. Работа обоих датчиков основана на регистрации разности фазы сигналов, поступающих на дифференциальные усилители от модифицированного и обычного световодов соответствующего датчика при наличии магнитного и электрического полей. Выходы дифференциальных усилителей через логический элемент ИЛИ подключены к блоку сигнализации, обеспечивающего оповещение обслуживающего персонала о наличии хотя бы одного из полей в электроустановке, что позволяет повысить чувствительность устройства.

Литература

1. Горностай, А.В., Ролик, Ю.А. Устройство для регистрации магнитных полей в системах электроснабжения. Патент Республики Беларусь № ВУ 6501 U – Оpubл. 30.08.2010.
2. Горностай, А.В., Ролик, Ю.А., Горновский, И.Ю., Кульчинский, Н.Н. Устройство для регистрации полей в системах электроснабжения. Заявка на полезную модель Республики Беларусь № u20110297 от 14.04.2011.

Свойства асинхронного двигателя при двухзонном частотном регулировании скорости

Кононов К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Все способы регулирования скорости электродвигателей можно разделить на две группы. Первая группа включает способы регулирования скорости, при которых скорость идеального холостого хода электродвигателя остается постоянной. Вторая группа охватывает способы, где скорости идеального холостого хода электродвигателя изменяется с помощью управляющего воздействия[1].

С энергетической точки зрения первый способ регулирования является нерациональным. Тем не менее, до сих пор еще можно встретить механизмы, скорость которых регулируется данным образом. С буйным развитием полупроводниковых ключей, что в свою очередь привело к возникновению на электротехническом рынке большого количества разнообразных преобразователей частоты, стало возможным без особых проблем осуществлять регулирование скорости асинхронного двигателя (АД) изменением частоты подводимого напряжения.

Используя математическое описание АД, была предложена модель частотно-регулируемого электропривода, работающего в двух зонах регулирования скорости. Имитационное моделирование осуществлялось при помощи программного обеспечения Matlab 7.0. Номинальная мощность АД, когда напряжение равно номинальному, а частота выше номинальной, определяется диапазоном регулирования скорости, номинальной перегрузочной способностью двигателя и требуемой перегрузочной способностью при максимальной скорости. При этом ток АД остается практически постоянным при постоянной статической мощности. Если же во второй зоне частотного регулирования статический момент постоянный, то ток двигателя возрастает прямо пропорционально скорости [2]. Т.к. критический момент АД пропорционален квадрату напряжения, то отклонение напряжения в сети существенно влияет на перегрузочную способность двигателя во второй зоне регулирования скорости и может привести к его останову.

Литература

1. Фираго, Б.И., Павлячик, Л.Б. Регулируемый электропривод переменного тока. Мн.: Техноперспектива, 2006. – 363с.
2. Фираго, Б.И. Определение номинальной мощности асинхронного двигателя, работающего при номинальном напряжении и частоте выше номинальной// Главный энергетик – 2010, №2, с. 4-7.

**Технико-экономические показатели трансформаторных подстанций
напряжением 6 – 10/0,4 кВ с комплектными высоковольтными
распределительными устройствами**

Радкевич В.Н., Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

В городских распределительных электрических сетях напряжением 6-10 кВ широко применяются трансформаторные подстанции (ТП) с высоковольтными комплектными распределительными устройствами (РУ). В системах электроснабжения (СЭС) производственных объектов тупиковые и проходные подстанции на высшем напряжении могут иметь шинное или бесшинное конструктивное исполнение. Как правило, схемы коммутации таких ТП промышленных предприятий выполняются без сборных шин первичного напряжения. Узловые подстанции, применяемые при разветвленных схемах распределительных сетей 6-10 кВ со сложной конфигурацией, обеспечивающих резервирование электроснабжения на высшем напряжении, во всех случаях имеют РУ первичного напряжения. При этом шины РУ используются для присоединения определенного числа линий электропередачи, питающих ряд подстанций СЭС.

На промышленных предприятиях к РУ 6-10 кВ ТП подключаются также линии, питающие высоковольтные электроприемники, расположенные в непосредственной близости от подстанции. В этом случае РУ 6-10 кВ ТП играет роль распределительного пункта. Комплектные распределительные устройства ТП могут быть выполнены камерами типа КСО или компактными распределительными устройствами с элегазовой изоляцией типа КРУЭ.

Выбор типа подстанции в процессе проектирования СЭС представляет собой достаточно сложную задачу, решение которой эффективно может быть осуществлено с учетом ряда технико-экономических показателей (капитальных вложений, годовых издержек эксплуатации, характеристик надежности электроснабжения, дисконтированных затрат и т.п.) и конкретных условий функционирования проектируемой ТП. Результаты расчетов технико-экономических показателей ТП с разными типами высоковольтных РУ показывают, что при условии одинаковой надежности электроснабжения потребителей и учете стоимости аренды производственной площади или земли, занимаемой подстанцией, в г. Минске подстанции 6-10/0,4 кВ с РУ высшего напряжения на базе компактных ячеек типа КРУЭ оказываются вполне конкурентоспособными по сравнению с подстанциями, имеющими РУ, выполненными камерами типа КСО-393.

Определение договорной получасовой мощности промышленного предприятия вероятностно-статистическим методом

Радкевич В.Н., Трифонова О.А.

Белорусский национальный технический университет

Определение заявляемого максимума нагрузки P_{\max} промышленного предприятия на некоторый расчетный период вероятностно-статистическим методом сводится к прогнозированию его величины на основе анализа фактических значений потребляемой активной получасовой мощности в часы максимальных нагрузок энергосистемы за аналогичные периоды предыдущего года.

Достоверность прогнозируемой величины P_{\max} зависит от количества и точности измерений получасовых активных нагрузок, а также систематичности и тщательности сбора исходной информации для прогнозирования. При этом из совокупности результатов измерений фактических максимальных нагрузок за соответствующий расчетный период предшествующего года следует отобрать такие значения, которые получены при нормальной работе предприятия.

При нормальном законе распределения случайной величины и вероятности достоверности 0,997 заявляемая активная нагрузка промышленного предприятия на очередной расчетный период может быть определена по выражению

$$P_{\max} = k_v(\bar{P} + 3\sigma(P)), \quad (1)$$

где k_v – коэффициент, учитывающий ожидаемое изменение электропотребления в расчетном периоде; \bar{P} – математическое ожидание получасовой активной максимальной мощности в часы максимума энергосистемы за аналогичный расчетный период предыдущего года; $\sigma(P)$ – среднее квадратическое отклонение максимальной потребляемой мощности от математического ожидания.

Предварительно целесообразно произвести анализ исходной информации и исключить данные, которые отличаются от среднего значения более, чем на $3\sigma(P)$.

Вероятностно-статистический метод определения заявляемой получасовой активной мощности базируется на измерении только одного вида исходной информации – максимальной получасовой активной нагрузки потребителя в часы максимума энергосистемы. Требуемый для реализации данного метода объем измерительной информации реально может быть получен лишь при автоматизации учета энергоресурсов на предприятии и эффективно обработан с применением средств вычислительной техники.

Алгоритм выбора рационального конструктивного исполнения трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ

Сталович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Выбор и разработка трансформаторных подстанций (ТП) 6-10/0,4 кВ представляет собой поэтапную и достаточно сложную задачу, решение которой наиболее эффективно и качественно может быть осуществлено на основе компьютерных технологий.

Целью работы является разработка математической модели и общего алгоритма компьютерной программы выбора типа ТП 6-10/0,4 кВ на основе комплексного критерия, отражающего как стоимостные, так и качественные показатели подстанции.

Используя методы технико-экономических расчетов в энергетике и методы многоцелевой оптимизации, разработан алгоритм, который позволяет учесть множество разнообразных факторов, имеющих существенное значение при выборе конструктивного исполнения трансформаторной подстанции.

Перед началом составления алгоритма, была разработана схема данных, которая отображает путь данных при решении задач, определяет этапы обработки информации и применяемые носители данных. В процессе выбора ТП приходится обрабатывать большое количество исходных данных, поэтому разработана и постоянно дополняется база данных основного электротехнического оборудования, установленного на подстанциях, с его подробными технико-экономическими характеристиками.

При выборе трансформаторной подстанции 6-10/0,4 кВ учитывается информация о потребителях электроэнергии, условия окружающей среды, различного рода требования и ограничения, стоимость оборудования и отчуждаемой территории (земли) под нужды ТП, показатели надежности подстанции, технические параметры применяемого оборудования, часть из которых трудно или невозможно выразить в стоимостном выражении.

В состав алгоритма входит несколько независимых подпрограмм, позволяющих по ранее разработанным методикам осуществить оценку надежности трансформаторных подстанций и произвести грамотное технико-экономическое сопоставление различных вариантов ТП, что делает возможным решение дополнительного ряда практических задач

Разработанный алгоритм повышает вероятность нахождения оптимальных и наиболее прогрессивных вариантов конструктивного исполнения трансформаторных подстанций 6-10/0,4 кВ.

Видеоконсультация в режиме реального времени

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Студент может получить информацию из методических пособий, может зайти на сайт кафедры в любом удаленном месте. На сайте кафедры «Электротехника и электроника» есть доступ к методичкам, публикуется расписание консультаций преподавателя. У студента есть возможность задать письменные вопросы администратору (преподавателю), можно воспользоваться электронной почтой, для этого нужно сформулировать вопрос, набрать его в электронном виде, сканировать черновик и выслать электронной почтой, позвонить на кафедру во время консультаций преподавателя. Но ничто не заменит аудиторных консультаций преподавателя.

Видеоконсультация, презентация и другие средства мультимедиа дают ответы на многие вопросы. Грамотно построенные презентации с гиперссылками позволяют ответить на конкретный вопрос, но не на вопрос учащегося. Только видеоконсультация в режиме реального времени позволяет получить ответ на вопрос в любое время в любом месте. Она дает возможность проведения консультаций, не занимая при этом аудитории.

На кафедре «Электротехника и электроника» состоялась пробная видеоконсультация в Skype. Автор по личной инициативе провел пробную видеоконсультацию в классе моделирования процессов в электротехнических и электронных конструкциях, где имеются наглядные пособия, плакаты по основным разделам курса электроники. Это помогло при консультации, так как вместо Web-камеры была использована переносная цифровая камера со встроенным микрофоном. Камеру можно было направить на любой объект, в том числе на предмет, вызвавший вопрос студента.

В медицине давно используют видеоконсультации в режиме реального времени. Это и понятно, там речь идет о жизни людей. Можно предварительно записаться на платную видеоконсультацию к любому узкому специалисту. В техническом вузе вопрос не стоит так остро, но прогресс неумолим. За видеоконсультациями в режиме реального времени есть будущее. Индивидуальные консультации, а с ростом программного и технического обеспечения, и групповые видеомосты будут широко использоваться в недалеком будущем.

Подобные видеомосты экономически выгодны, так как нет потери времени, нет транспортных расходов. Университет не несет никаких дополнительных расходов, так как телефонный вызов оплачивает консультируемый. При использовании мобильной связи затраты будут минимальными.

Параллельный сумматор на операционном усилителе

Бладыко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Сумматор на операционном усилителе (ОУ) применяется в аналоговой технике, цифро-аналоговых преобразователях и других устройствах. К сожалению, многие литературные источники дают формулы расчета выходного напряжения с опечатками и ошибками. Целью данной работы является вывод выходного напряжения для любого типа сумматора.

Выходное напряжение сумматора дифференциального типа или, как его часто называют, параллельного сумматора с отрицательной обратной связью определяется на основании законов Кирхгофа:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{-\sum_{i=1}^n \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{1i}} \cdot U_{\text{ВХ1}i} \cdot A + \sum_{k=1}^m \frac{R_{\text{В}}}{R_{2k}} \cdot U_{\text{ВХ2}k} \cdot \left[\frac{B}{C} + \frac{2}{K_{\text{сф}}} \cdot \frac{B + \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{\text{ВХ}}}}{C} \right]}{A + \frac{1}{K_y} \cdot R_{\text{ОС}} \cdot D \cdot F} + U_{\text{др}}$$

$$\text{где } A = 1 - \left(1 + \frac{2}{K_{\text{сф}}} \right) \cdot \frac{F}{R_{\text{ВХ}}}; \quad B = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{1i}}; \quad C = 1 + \sum_{k=1}^m \frac{R_{\text{В}}}{R_{2k}};$$

$$F = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{В}}} + \sum_{k=1}^m \frac{1}{R_{2k}} + \frac{1}{R_{\text{ВХ}}}};$$

$$D = \left(\frac{1}{R_{\text{ОС}}} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1i}} \right) \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{В}}} + \sum_{k=1}^m \frac{1}{R_{2k}} \right) + \frac{1}{R_{\text{ВХ}}} \cdot \left(\frac{1}{R_{\text{ОС}}} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1i}} + \frac{1}{R_{\text{В}}} + \sum_{k=1}^m \frac{1}{R_{2k}} \right);$$

K_y - коэффициент усиления собственно ОУ; $K_{\text{сф}}$ - коэффициент ослабления (подавления) синфазного сигнала; $R_{\text{ВХ}}$ - входное дифференциальное сопротивление ОУ; $U_{\text{др}}$ - напряжение дрейфа ОУ, растущее с увеличением числа входов и зависящее от напряжения смещения $U_{\text{см}}$; $R_{\text{ОС}}$ - сопротивление отрицательной обратной связи; R_{1i} - сопротивление i -го из n инвертирующих входов; R_{2k} - сопротивление k -го из m неинвертирующих входов; $R_{\text{В}}$ - сопротивление для выравнивания сопротивлений входов, подключенное к неинвертирующему входу ОУ.

Особенности влияния выпрямителей мощных энергетических установок на питающую сеть

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что выпрямители мощных энергетических установок являются регулируемыми и генерируют реактивную мощность. Для защиты питающей сети от гармоник применяют общеизвестные методы: компенсацию реактивной мощности и фильтрацию наиболее мощных гармоник потребляемого тока.

Однофазные выпрямители потребляют из питающей сети ток, содержащий кроме полезной первой, другие нечетные гармоники: 3, 5, 7 и т.д. Трехфазные мостовые выпрямители (схема Ларнонова) потребляют ток, в составе которого отсутствует наиболее мощная 3-я и другие, кратные ей гармоники, т.е. 5, 7, 11, 13, 17 и т.д. Ещё больший эффект дают двенадцатипульсные выпрямители, которые потребляют ток, в составе которого отсутствует 5-я гармоника, т.е. гармоники 7, 11, 13, 17 и др.

Амплитуды этих гармоник малы, однако они зависят от угла управления α , который в зависимости от схемы выпрямителя изменяется в пределах от 0 до 70 градусов. При этом изменение угла управления может существенно повлиять на перераспределение амплитуд гармоник, усилить негативную роль гармоник высших порядков.

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 12-пульсном трехфазном выпрямителе, в котором в принципе отсутствуют 3-я и другие кратные ей гармоники, а также пятая гармоника при $\alpha = 20^\circ$ доли 17-й и 19-й гармоник становятся наибольшими.

При этом становится неэффективной традиционная фильтрация 3-й, 5-й и 7-й гармоник. Вероятно снижение эффективности компенсации реактивной мощности на более высоких частотах в связи с возрастанием потерь в косинусных конденсаторах, и дополнительный нагрев и сокращение срока службы.

Выходом из этой ситуации может стать регулирование амплитуды входного напряжения управляемых выпрямителей, обоснованное ограничение диапазона изменения угла управления α .

Гавриленко С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Применение компьютерных моделей в лабораторном практикуме кафедры становится существенным дополнением на особых этапах учебного процесса: ликвидации учебной задолженности студентами дневного обучения, проведении занятий со студентами-заочниками, индивидуальной работы со студентами.

Существует много программ, позволяющих моделировать работу электронных и электротехнических устройств. Однако многие из них требуют знания технического английского языка, имеют сложный интерфейс и требуют предварительного обучения студентов пользованию этими программами. В таких условиях актуальными становятся компьютерные модели, позволяющие студентам приступить к изучению электронных и электротехнических устройств непосредственно после загрузки рабочих файлов. 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, позволяя акцентировать внимание обучаемых не на принципе, а на особенностях работы реальных устройств. Преподавателю необходимо предоставить студенту электронные файлы для самостоятельной работы и назначить время его повторного прихода в лабораторию. Последующая практическая работа в лаборатории значительно сокращается по времени, так как становится более эффективной, экономится ресурс лабораторных стендов и электроэнергия.

При повторном приходе студента преподаватель оценивает его знания и умения, предварительно полученные при работе с компьютерными моделями, выявляет недостатки подготовки и пробелы в знаниях и умениях, после чего допускает студента к выполнению необходимых этапов практической работы на лабораторном стенде. В процессе такой комплексной работы студенты проходят следующие этапы обучения: первичное усвоение готовых знаний; приобретение основных умений; уточнение, расширение и углубление знаний; выработка новых умений.

Компьютерные модели созданы как на основе электронной демонстрации работы лабораторных стендов, так и с помощью программ для изучения виртуальных логических устройств.

Пуск асинхронного двигателя от генератора соизмеримой мощности

Ежов В.Д.

Белорусский национальный технический университет

В автономных электростанциях малой мощности 2...10 кВт существует проблема прямого пуска асинхронного двигателя от синхронного генератора соизмеримой мощности РСГ \approx РАД. Требуется оценить состояние системы генератор – двигатель после подключения к синхронному генератору с $xS^* \approx 1,0$ неподвижного асинхронного двигателя с кратностью пускового тока $\Pi^* \approx 6$ при $\cos\phi \approx 0,3$.

При такой нагрузке реакция якоря генератора практически чисто размагничивающая (рис.1) и его внешняя характеристика практически линейная (линия АВ, рис.2). Вольт-амперная характеристика неподвижного двигателя $ZAD^* = 1/\Pi^* \approx 0,17$ (линия 0С, рис.2)

При подключении неподвижного двигателя регулятор генератора задаст максимальное возбуждение например, $E^* \approx 2$, пытаясь сохранить номинальное напряжение, и установит внешнюю характеристику АВ на рис.2.

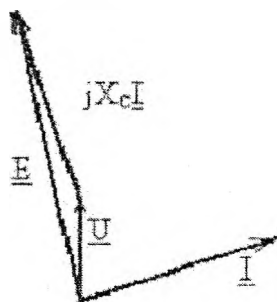


Рис.1

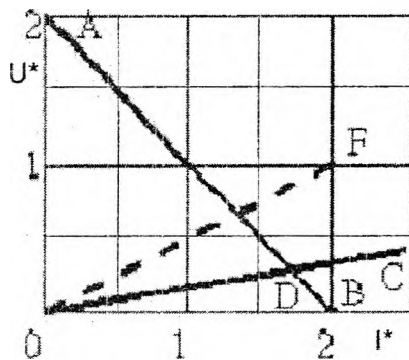


Рис.2

Точка пересечения D характеристик генератора и двигателя характеризует их состояние после подключения: – двигатель при напряжении $U^* \approx 0,25$ развивает момент $M^* \approx 1,2 \cdot 0,25^2 \approx 0,07$, а генератор перегружен током $I^* \approx 1,7$ и отключается защитой.

Фирмы производители генераторов рекомендуют подключать двигатели втрое меньшей мощности (характеристика 0F на рис.2). В этом сочетании двигатель при напряжении $U^* \approx 0,7$ развивает момент $M^* \approx 1,2 \cdot 0,7^2 \approx 0,6$, а генератор перегружен током $I^* \approx 1,3$. Двигатель успеет набрать скорость и уменьшить ток до срабатывания защиты генератора.

Размагничивающее устройство с блоком проверки отдельных элементов схемы перед началом размагничивания

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный аграрный технический университет

Размагничивающие устройства (РУ) находят применение во многих приборах и устройствах как бытового, так и промышленного назначения. Существует несколько способов размагничивания изделий. Среди них широко распространен способ, заключающийся в размагничивании изделия переменным магнитным полем, амплитуда которого плавно уменьшается от некоторого максимального значения до нуля или некоторого минимального значения. В приборах неразрушающего контроля для оценки твердости ферромагнитных изделий часто применяются РУ, основой которых является разряд конденсатора через размагничивающую катушку или заряд двух конденсаторов через два диода и размагничивающую катушку. Во втором случае диоды включены противоположными полюсами с одной стороны, последовательно с ними соединены конденсаторы, соединенные вместе с другой стороны, и последовательно соединенной с ними катушкой размагничивания. Наиболее экономичными являются РУ использующие два перечисленных способа одновременно. Наименьшей надежностью по стабильности временных и температурных параметров в данных РУ являются зарядные или разрядные конденсаторы, в качестве которых часто применяются электролитические, имеющие меньшие размеры и стоимость по сравнению с другими типами. Особенно влияет на качество размагничивания изменения емкости одного конденсатора из двух в РУ, использующих заряд двух конденсаторов через два диода и размагничивающую катушку, из-за не симметричности размагничивающего тока. Номинальное значение входного напряжения тоже играет важную роль для получения качественного размагничивания.

Чтобы устранить перечисленные недостатки, в РУ, содержащее источник переменного напряжения, регулятор размагничивающего тока, имеющий перечисленные ранее зарядные и разрядные цепи, электромагнит, блок управления, блок запуска, нуль-орган, блок четности, введен блок контроля величины емкости зарядных и разрядных конденсаторов, и питающего входного напряжения перед каждым циклом размагничивания. Работа блока контроля величины емкости зарядных и разрядных конденсаторов основана на контроле величины напряжения заряда конденсаторов через стабилизатор тока до заданного значения. Такая работа устройства увеличивает надежность размагничивания.

Зависимость качества звукового сигнала в линейных усилителях мощности от глубины отрицательной обратной связи в отдельных каскадах

Михальцевич Г.А., Полищук А.А.

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный аграрный технический университет

Основные свойства отрицательной обратной связи (ООС), охватывающей линейный усилитель мощности (ЛУМ) хорошо известны из печатных источников. Это, например, расширение полосы пропускания, уменьшение выходного сопротивления, увеличение входного сопротивления, если на входе ЛУМ имеется каскад на биполярных транзисторах, уменьшение нелинейных искажений. Известно, что сотые доли процентов нелинейных искажений, измеренные на отдельных частотах, например, 20 Гц, 1 кГц и 20 кГц, ещё не гарантируют его качественное звучание. В первую очередь это касается транзисторных ЛУМ (ТЛУМ). В большинстве случаев ТЛУМ с лучшими основными электрическими характеристиками звучит хуже, чем ламповый ЛУМ (ЛЛУМ). Это связано с тем, что спектр гармонических составляющих в звуковом сигнале у ТЛУМ, гораздо больше (3-7 раз), чем у ЛЛУМ.

Чтобы уменьшить гармонические составляющие в звуковом сигнале необходимо добиться высоких частотных параметров от ТЛУМ. Такими характеристиками являются АЧХ - амплитудно-частотная характеристика, ФЧХ – фазочастотная характеристика. Амплитудно-фазовая характеристика - гибрид первой и второй. График модуля АЧХ, и ФЧХ в виде асимптотической кривой в логарифмическом масштабе называется диаграммой Боде. И АЧХ и ФЧХ необходимо снять для усилителя с общей ООС и без нее. Сравнив их можно получить такой параметр, как глубина ООС. Из диаграмм Боде можно узнать, например "частотный диапазон по уровню - 3 dB". Разработчики часто сталкиваются с тем, что увеличение глубины общей ООС в ТЛУМ приводит к ухудшению его звучания. Это говорит о том, что полоса пропускания ТЛУМ без общей ООС недостаточна. Полоса пропускания транзисторов зависит от емкости их переходов, особенно база-коллектор (затвор-исток для полевых транзисторов). Увеличить полосу пропускания без ООС в ТЛУМ можно, кроме уменьшения сопротивления нагрузки и использования высокочастотных транзисторов, используя местные ООС, как отдельных транзисторов, так и каскадов. Практика показывает, что увеличение полосы пропускания ТЛУМ без общей ООС вплоть до 350 кГц улучшает качество звучания. Чаше всего добиться этого возможно только используя внутренние ООС.

Отклик ферромагнитного тела на возмущающее воздействие знакопеременного электромагнитного поля

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Всякую систему можно характеризовать её откликом на внешнее возмущающее воздействие. Ферромагнитное тело можно рассматривать как систему зарядов и токов, взаимодействие между которыми обусловлено энергией межэлектронного взаимодействия и приводит к параллельной ориентации магнитных моментов атомных носителей магнетизма. Параллельная ориентация магнитных моментов приводит к тому, что ферромагнитное стремится стать постоянным магнитом с двумя и более полюсами. Под действием же магнитных сил ферромагнитное тело разбивается на небольшие области - домены, каждая из которых намагничена до насыщения, но при этом векторы самопроизвольной намагниченности направлены во все стороны. Суммарное значение намагниченности всех доменов определяет намагниченность ферромагнитного тела.

Размеры доменов могут соответствовать и не соответствовать равновесной доменной структуре, что определяется размерами ферромагнитного тела и его внутренними свойствами. Если размеры доменов соответствуют равновесной доменной структуре, то самостоятельно домены не объединяются в более крупные и не разбиваются на более мелкие, т.е. значение намагниченности тела будет наименьшим (тело будет размагничено полностью). Если размеры доменов не соответствуют равновесной доменной структуре, то они самопроизвольно либо объединяются в более крупные, либо разбиваются на более мелкие. Но в любом случае значение намагниченности ферромагнитного тела изменяется.

Ферромагнитное тело можно разбить на домены, воздействуя на него знакопеременным электромагнитным полем с затухающей до нуля амплитудой, притом размеры доменов, на которые разбивается ферромагнитное тело, зависят как от частоты, так и времени размагничивания. Значит, ферромагнитное тело можно размагнитить любой частотой и при любом времени размагничивания. Но, изменяя частоту и время размагничивания, можно изменять размеры доменов и направление их ориентации, а, значит, и значение намагниченности тела. Притом если размеры доменов соответствуют равновесной доменной структуре, то значение остаточной намагниченности будет минимально.

Итак, откликом ферромагнитного тела на возмущающее воздействие знакопеременного магнитного поля является изменение намагниченности тела.

Зависимость магнитных свойств ферромагнитного тела от его доменной структуры

Мороз Р.Р.

Белорусский национальный технический университет

Ферромагнитное тело при отсутствии внешнего магнитного поля под воздействием магнитных полей, создаваемых электронами и ионами пространственной решётки, самопроизвольно разбивается на области самопроизвольной намагниченности (домены), значение намагниченности в которых максимально.

Размеры доменов могут соответствовать или не соответствовать равновесной доменной структуре. Если размер домена соответствует равновесной доменной структуре, то ферромагнитное тело будет устойчиво к внешним воздействиям и будет сохранять значение своей намагниченности. Если же размеры доменов не будут соответствовать равновесной доменной структуре, то ферромагнитное тело не будет сохранять значение своей намагниченности.

Если необходимо намагнитить тело, то необходимо направления векторов намагниченности доменов сориентировать в каком-то направлении, что можно осуществить с помощью постоянного магнитного поля.

В свою очередь, если нужно размагнитить тело, то нужно направления векторов намагниченности доменов равномерно направить в разные стороны.

Следовательно, для устойчивого размагничивания ферромагнитного тела его необходимо разбить на домены, размеры которых соответствуют равновесной доменной структуре, и разупорядочить направления векторов намагниченности доменов.

Известно, что знакопеременное затухающее магнитное поле разбивает ферромагнитное тело на домены, размеры которых зависят как от частоты размагничивающего поля, так и времени размагничивания. Следовательно, если размагничивать тело разными частотами и при разных временах размагничивания, то размеры доменов будут различны и могут соответствовать и не соответствовать равновесной доменной структуре. При этом следует иметь в виду, что направления векторов намагниченности доменов также зависят от частоты и времени размагничивания.

Значит, если воздействовать на ферромагнитное тело знакопеременным затухающим электромагнитным полем, то его можно размагнитить до разных значений. Но всегда есть оптимальные частота и время размагничивания, при которых значения остаточной намагниченности минимальны.

Графічны інтэрфейс праграмы разліку токаў кароткага замыкання

Раманюк Ф.А., Новаш У.І., Румянцаў У.Ю., Бобка М.М., Усцімовіч В.А.
Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт

На кафедры «Электрычныя станцыі» БНТУ распрацаваны графічны інтэрфейс для праграмы разліку токаў кароткага замыкання ў сетках напружаннем 0,4 кВ. Графічны інтэрфейс распрацаваны на аснове функцый графічнай бібліятэкі OpenGL, якая ўваходзіць ў склад праграмнага забеспячэння сучаснай аперацыйнай сістэмы Windows. Асаблівасцю праграмы з'яўляецца высокі ўзровень аўтаматызацыі пры правядзенні разлікаў. Аператар будзе на экране дысплея разліковую схему энергасістэмы, для чаго выкарыстоўваюцца стандартныя графічныя ўмоўныя абазначэнні элементаў энергасістэмы. Параметры элементаў захоўваюцца ў базе дадзеных. Базу дадзеных можна рэдагаваць і ўносіць туды параметры новых элементаў. Схема замяшчэння будзе аўтаматычна праграмай, без удзелу аператара. Для гэтага выконваецца аўтаматычная нумарацыя вузлоў разліковай схемы і схемы замяшчэння. Схема замяшчэння ў памяці ЭВМ прадстаўлена ў спісвай форме. Кожны элемент разліковай схемы прадстаўляецца адной галіной, для якой запамінаюцца нумары двух канцоў, актыўнае і рэактыўнае супраціўленне, электрарухаючая сіла і прызнак элемента (трансфарматар, лінія і г.д.). Адначасова выконваецца фармаванне схем прамай, зваротнай і нулявой паслядоўнасцяў.

Разлік велічынь супраціўленняў схем замяшчэння выконваецца на аснове параметраў элементаў схемы, якія захоўваюцца ў базе дадзеных. Выбарка параметраў элементаў з базы выконваецца па абазначэнню тыпа элемента. Тыпы элементаў задаюцца на схеме пры яе пабудове на экране. Кожнаму элементу электрычнай схемы адпавядае арыгінальнае акно, у якім прадугледжана прадстаўленне ўсіх патрэбных для разліку параметраў элемента. Пасля заканчэння фармавання схемы замяшчэння і задання вузла КЗ яна перадаецца ў праграму для разліку токаў КЗ.

Результаты разліку запісваюцца праграмай у асобны файл для захавання ў памяці або для вываду на друк.

Практыка выкарыстання праграмы паказала высокую эфектыўнасць і зручнасць такога інтэрфейсу. Распрацаваны інтэрфейс можа быць выкарыстаны для праграм разліку токаў кароткага замыкання ў схемах любых напружанняў. Таксама яго можна выкарыстаць пры стварэнні камп'ютэрнага комплексу для аўтаматызацыі рабочага месца інжынера рэлейнай службы энергасістэмы.

Оценка влияния силовых кабелей на кабели вторичных цепей

Бохан Н.В.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с СТП 09110.47.104-08 «Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций напряжением 35-750 кВ от электромагнитных влияний и грозовых воздействий» минимально допустимое расстояние между силовыми и вторичными цепями составляет: 0,25 м для кабелей 0,4 кВ и 0,45 м для кабелей 6-10 кВ. Однако, при протяженном параллельном следовании силовых и вторичных цепей возникает задача определения величины наводимой во вторичных цепях помехи при протекании по силовым кабелям тока КЗ.

Определяется основное влияние между жилой рассматриваемого силового кабеля и жилой рассматриваемого контрольного кабеля для каждого участка сближения, которое оценивается величиной наведенной ЭДС

$$E_{\text{ПВО}} = -j \frac{\omega \mu_0}{\pi} \cdot I_{\text{ПО}} \cdot l_{\text{В}} \cdot \int_0^{\infty} \frac{e^{-x(t_{\text{П}} + t_{\text{В}})} \cos xy_{\text{ПВ}}}{x + \sqrt{x^2 + k_z^2}} dx, \text{ В}, \quad (1)$$

где $I_{\text{ПО}}$ – ток КЗ в первичной цепи, А; $l_{\text{В}}$ – длина вторичной цепи, м; $t_{\text{П}}$ – глубина прокладки в земле первичных кабелей, м; $t_{\text{В}}$ – глубина прокладки в земле вторичных кабелей, м; $y_{\text{ПВ}}$ – проекция на поверхность земли расстояния между первичным кабелем и вторичным кабелем, м; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, рад/с; f – частота, Гц; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная постоянная, Гн/м; k_z – коэффициент, зависящий от удельного сопротивления земли.

В реальных условиях необходимо учитывать экранирующее влияние на величину наведенной ЭДС других первичных и вторичных кабелей, а также расположенных вблизи других дополнительных кабелей.

С учетом этого, общий коэффициент экранирования будет равен

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma\text{ПО}} \cdot K_{\Sigma\text{ПП}} \cdot K_{\Sigma\text{ВО}} \cdot K_{\Sigma\text{ВВ}} \cdot K_{\Sigma\text{Д}}, \quad (2)$$

где $K_{\Sigma\text{ПО}}$ – коэффициент экранирования рассматриваемого первичного кабеля; $K_{\Sigma\text{ПП}}$ – коэффициент экранирования других первичных кабелей; $K_{\Sigma\text{ВО}}$ – коэффициент экранирования рассматриваемого вторичного кабеля; $K_{\Sigma\text{ВВ}}$ – коэффициент экранирования других вторичных кабелей; $K_{\Sigma\text{Д}}$ – коэффициент экранирования дополнительных кабелей.

Результирующая величина наведенной помехи для N участков сближения определяется по выражению

$$E_{\text{ПВ}} = \sum_{i=1}^N |E_{\text{ПВО}} \cdot K_{\Sigma}| \cdot \text{В}. \quad (3)$$

Совершенствование токовых защит линий распределительных сетей

Гурьянчик О. А.

Белорусский национальный технический университет

Наиболее массовыми защитами линий 6–35 кВ распределительных сетей от коротких замыканий (КЗ) являются токовые, контролирующие протекающий по ним ток, а при необходимости и направление мощности КЗ. К существенным недостаткам защит этого класса следует отнести ограниченность зоны мгновенного отключения КЗ и значительное количество измерительных органов. С целью совершенствования токовых защит линий в [1] предложено в объеме их функций дополнительно определять расстояние до места КЗ и сравнивать его с длиной защищаемой линии. Если КЗ находится в пределах линии, то при выполнении других условий ее отключение необходимо производить без выдержки времени. Если КЗ расположено за пределами линии, то ее следует отключать с выдержкой времени.

Расстояние до места КЗ не может быть определено достаточно точно. Из-за погрешностей в определении указанного расстояния для обеспечения достоверного установления места КЗ сравнение нужно производить не с фактической длиной линии, а с ее скорректированным значением. Корректирующий коэффициент может быть больше или меньше единицы в зависимости от уровня и знака погрешности определения расстояния до точки КЗ, на которую оказывают влияние ряд факторов. Такими факторами являются: погрешности измерительных трансформаторов, погрешности расчета расстояния, наличие переходных сопротивлений в месте КЗ, наличие подпиток места КЗ и т. д.

Рассмотренный принцип наиболее просто может быть реализован в токовых защитах линий 6–35 кВ, выполненных на основе средств микропроцессорной техники. При этом будут обеспечены расширение зоны мгновенного отключения КЗ и сокращение числа измерительных органов за счет оптимизации их функций.

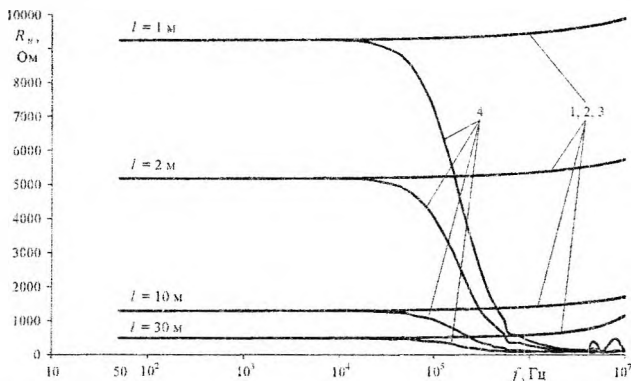
Литература

1. Устройство токовой направленной защиты от междуфазных коротких замыканий: пат. 11267 Респ. Беларусь, МПК (2006) Н 02Н 3/08, Н 02Н 3/20 / А. А. Тишечкин, Ф. А. Романюк, О. А. Гурьянчик; заявитель Белорусский национальный технический университет; заявл. 2007.02.06; опубл. 2008.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008.

Дерюгина Е.А.

Белорусский национальный технический университет

В среде MatLab разработана программа расчета импульсных характеристик вертикальных стержневых заземлителей. Программа позволяет выполнять расчеты при любой зависимости тока, стекающего в заземлитель. В ходе исследований были проведены расчеты установившихся значений сопротивлений при стекании синусоидального тока различной частоты. Результаты получены для медных и стальных заземлителей разных радиусов. Из частотных характеристик следует, что значения сопротивлений, рассчитанные численным методом для установившегося режима, по приближенным формулам и разработанной программой для импульсного режима без учета токов смещения практически совпадают (отличия не превышают 5 %) для малой (рис. 1) и большой проводимости земли.



1 – численный метод, 2 – приближенные формулы, 3 – импульсный метод без учета токов смещения, 4 – импульсный метод с учетом токов смещения

Рис. 1. Частотная характеристика сопротивления R_n медного заземлителя радиуса 6 мм для малой проводимости земли

Следует отметить влияние токов смещения на частотную характеристику сопротивлений заземлителей. При большой проводимости земли влияние токов смещения незначительно. С увеличением частоты сопротивление значительно возрастает за счет электромагнитной (индуктивной) составляющей поля в земле. При малой проводимости земли сопротивление, наоборот, резко падает с увеличением частоты за счет токов смещения (кривые 4 на рис. 1). Кроме того, на больших частотах характерно колебательное изменение сопротивления.

Испытания устройства дифференциальной защиты трансформатора

Ломан М.С.

РУП «Белэлектромонтажналадка»

Натурные испытания устройства дифференциальной защиты трансформатора МР801 проведены 6–7 июля 2010 года на ПС 110/10 «Синявка» филиала «Столбцовские электрические сети» РУП «Минскэнерго». Для испытаний МР801 был выделен трансформатор Т2 ПС 110/10 «Синявка» мощностью 6,3 МВА. Согласно разработанной программе испытаний последовательно по цепям тока с существующей электромеханической защитой (на ДЗТ-11) были подключены два цифровых терминала дифзащиты: МР801 и терминал одной из зарубежных фирм.

Целью испытаний была проверка поведения защиты в реальных условиях – ее несрабатывания при бросках тока намагничивания (БНТ), при различных видах сквозных коротких замыканий на стороне 10 кВ силового трансформатора (в том числе в режиме насыщения ТТ низкой стороны), а также проверка срабатывания терминала в лабораторных условиях путем подачи токов только одной из сторон защиты.

Для ее достижения были проведены следующие опыты:

- включение силового трансформатора на холостой ход;
- включение ВЛ 10 кВ на двухфазное короткое замыкание (КЗ) с землей, на трехфазное КЗ с землей;
- включение Т2 со стороны 110 кВ на двухфазное КЗ с землей по стороне 10 кВ.

Результаты опытов:

Включение силового трансформатора на холостой ход. Опыт повторялся три раза подряд. Во всех случаях МР801 надежно блокировал срабатывание выходных реле. Бросок тока намагничивания составил от 1 до 3 номинальных токов силового трансформатора.

Включение Т2 на КЗ. Во всех режимах внешних КЗ дифференциальные защиты не работали. Однако по полученным осциллограммам видно, что в начальный момент внешнего КЗ (за счет апериодической составляющей) есть дифференциальный ток в зоне срабатывания. Оба цифровых терминала отслеживают этот режим и блокируют работу дифференциальной ступени. МР801 блокируется по второй гармонике.

Выводы. МР801 надежно блокируется при бросках тока намагничивания и при сквозных КЗ, четко срабатывает при внутренних повреждениях и не срабатывает из-за насыщения трансформаторов тока, установленных по низкой стороне силового трансформатора.

Уточнение математических моделей аналоговой части микропроцессорной защиты

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

Моделирование микроконтроллерной защиты можно разделить на ряд самостоятельных задач, моделирующих соответственно цифровую и аналоговую части защиты. С учетом накопленного опыта моделирования необходимо внести некоторые уточнения в указанные модели.

Математическая модель фильтра низких частот (ФНЧ). В схеме замещения ФНЧ на основе операционного усилителя (ОУ) можно пренебречь элементами, учет которых значительно усложняет математическую модель ФНЧ и незначительно повышает точность моделирования конечной функции данного элемента. К таким элементам, в первую очередь, следует отнести модели источников токов смещения по инвертирующему и неинвертирующему входам ОУ.

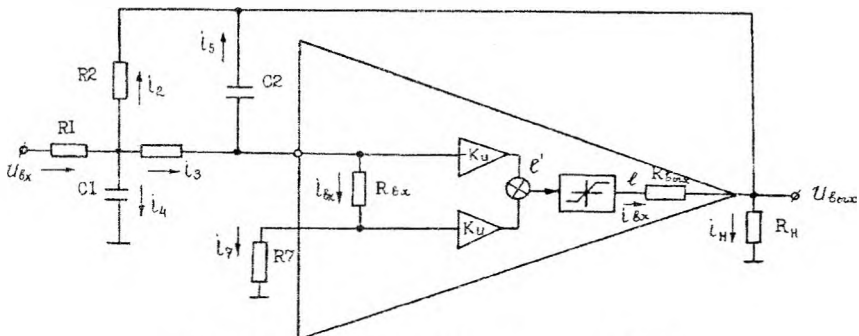


Рис. 1. Упрощенная схема замещения ФНЧ

В схеме замещения (рис. 1) ОУ представлен усилительными звеньями по инвертирующему и неинвертирующему каналам с одинаковым коэффициентом усиления K_u . Выходная цепь ОУ представлена ограничителями уровня и резистором $R_{в.х.}$. Нелинейные искажения учитываются кусочно-линейной аппроксимацией передаточной характеристики, заложенной в описании ограничителя уровня, на выходе которого формируется электродвижущая сила e .

При известном напряжении $U_{вх}$ на входе ФНЧ схема замещения описывается системой дифференциальных и алгебраических уравнений, составленных по законам Кирхгофа для соответствующих узлов и контуров.

Использование междуфазных распорок для предотвращения схлестывания гибких проводов при коротком замыкании

Сергей И.И., Пономаренко Е.Г.

Белорусский национальный технический университет

Токоведущие части распределительных устройств (РУ) напряжением 35 кВ и выше, а также воздушных ЛЭП выполняются гибкими многожильными алюминиевыми и сталеалюминиевыми проводами. В процессе эксплуатации электроустановок с гибкими проводами имеют место динамические режимы, вызванные электродинамическими усилиями при коротком замыкании, воздействием ветровых и гололедных нагрузок. Они сопровождаются недопустимыми сближениями проводов фаз друг с другом или с тросами, а также действием значительных динамических усилий на провода, изоляторы и опорные конструкции.

Недостаточная стойкость токоведущих конструкций с гибкими проводами к динамическим воздействиям может привести к развитию тяжелых аварий в энергосистемах.

Эффективным средством для предотвращения недопустимых сближений гибких проводников друг с другом и с заземленными конструкциями является применение междуфазных изолирующих распорок. Такие распорки в настоящее время изготавливаются из полимерных материалов и применяются для борьбы с пляской проводов. Например, в Российской Федерации использованы междуфазные полимерные распорки типа РМИ, разработанные Фирмой ОРГРЭС (воздушная линия (ВЛ) 500 кВ МЭС Юга, ВЛ 220 кВ Татэнерго).

При выполнении совместной работы с ИООО «Зарубежэнергопроект-Минск» производился расчет электродинамической стойкости пролетов ВЛ Черепетской ГРЭС (г. Суворов Тульской области). Выяснилось, что при расчетном токе КЗ происходит недопустимое сближение гибких проводов в пролетах ВЛ. Поэтому было принято решение об установке междуфазных изолирующих распорок. Для оценки эффективности принятого технического решения на кафедре «Электрические станции» была разработана алгоритм и компьютерная программа расчета взаимодействия гибких проводников при КЗ с учетом междуфазных распорок.

Расчеты с использованием разработанной программы показали, что достаточно одного комплекта распорок в середине пролета, чтобы не допустить критического сближения проводников. А установка двух комплектов распорок в каждой трети пролета приводит к уменьшению тяжений на 30–40 %. Это объясняется эффектом уменьшения размаха колебаний проводов под воздействием распорок.

Влияние количества демпферных контуров на качество переходных процессов синхронной машины

Золотой А.А., Кунцевич А.И.

Белорусский национальный технический университет

В общем случае, на роторе синхронной машины может располагаться множество демпферных контуров. Однако для практических расчётов достаточно рассматривать только два дискретных демпферных контура, ориентированных в продольной и в поперечной осях машины. Синхронная машина с двумя дискретными демпферными контурами на роторе представляет собой систему шести магнитно-связанных контуров. Этими контурами являются три неподвижных контура фаз и три вращающихся контура ротора машины.

Оценим влияние наброса нагрузки на поведение синхронных машин типа ТВФ-120 без демпферных обмоток, с одной демпферной обмоткой в поперечной оси и с двумя демпферными обмотками в продольной и в поперечной осях. Будем полагать, что синхронные машины работают на шине бесконечной мощности.

Результаты расчетов изменения угла θ синхронных машин с различным числом демпферных контуров приведены на рис. 1.

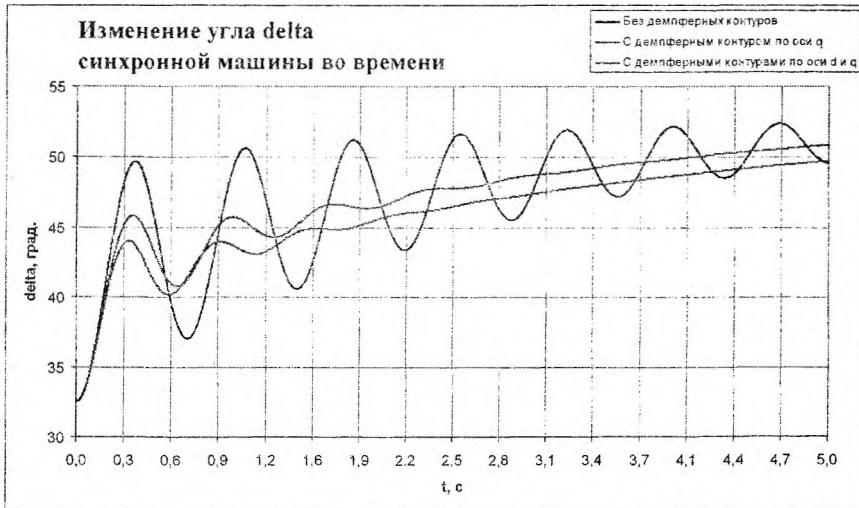


Рис. 1. Изменение угла θ синхронных машин во времени

Определение вида однофазного повреждения в электрических сетях напряжением 10 кВ

Калентионок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В зависимости от типа нейтрали в распределительной сети виды однофазных повреждений можно классифицировать следующим образом.

I. При заземлении нейтрали через резистор:

1. Однофазное КЗ на землю без обрыва провода.
2. Однофазное КЗ на землю с обоих концов оборванного провода.
3. Однофазное КЗ на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны питания.
4. Однофазное КЗ на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны потребителя.

II. Изолированная или компенсированная нейтраль:

1. Однофазное замыкание на землю без обрыва провода.
2. Однофазное замыкание на землю с обоих концов оборванного провода.
3. Однофазное замыкание на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны питания.
4. Однофазное замыкание на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны потребителя.

Независимо от типа нейтрали к однофазному повреждению относится обрыв провода без замыкания на землю.

Выявление однофазного КЗ на землю при заземлении нейтрали через резистор осуществляется:

на основе измерения относительной несимметрии токов фаз;

на основе измерения фазных и линейных напряжений.

Для определения вида однофазного замыкания используются специальные трансформаторы, путем измерения угла сдвига фаз относительно напряжений сети и ЭДС, наведенной в однофазном (φ_1) и суммарном (φ_2) трансформаторных датчиках.

При обрыве провода без замыкания на землю - $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 180^\circ$.

При однофазном замыкании на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны питания - $0^\circ < \varphi_1 \leq 180^\circ$, $90^\circ < \varphi_2 \leq 180^\circ$.

При однофазном замыкании на землю с обрывом провода и касанием земли со стороны потребителя - $0^\circ < \varphi_1 < 180^\circ$, $180^\circ < \varphi_2 < 360^\circ$.

При однофазном замыкании на землю без обрыва провода или обрыва провода с обоих концов - $0^\circ < \varphi_1 \leq 180^\circ$, $90^\circ \leq \varphi_2 \leq 180^\circ$.

Анализ методов дистанционного определения места повреждения в распределительных электрических сетях

Калентиюнок Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Определение мест повреждения (ОМП) является наиболее сложной, а часто и относительно наиболее длительной технологической операцией по восстановлению поврежденного элемента сети. В сетях средней энергосистемы годовое количество повреждений исчисляется тысячами и основные трудности с ОМП возникают в воздушных электрических сетях напряжением 6...35 кВ. Основные причины такого положения следующие:

1. Древовидная структура распределительных сетей.
2. Применение различных видов нейтралей сети: изолированная, компенсированная, заземленная через резистор.
3. Разнообразие видов повреждения: трех-, двух- и однофазные короткие замыкания, двойные и однофазные замыкания на землю, обрывы проводов.

Процесс определения места повреждения на линии начинается с дистанционного определения места или зоны возникновения повреждения. Разнообразие видов и характеров повреждения не позволяет получить какой-либо универсальный метод ОМП. На рисунке приведены основные методы, используемые для дистанционного ОМП.

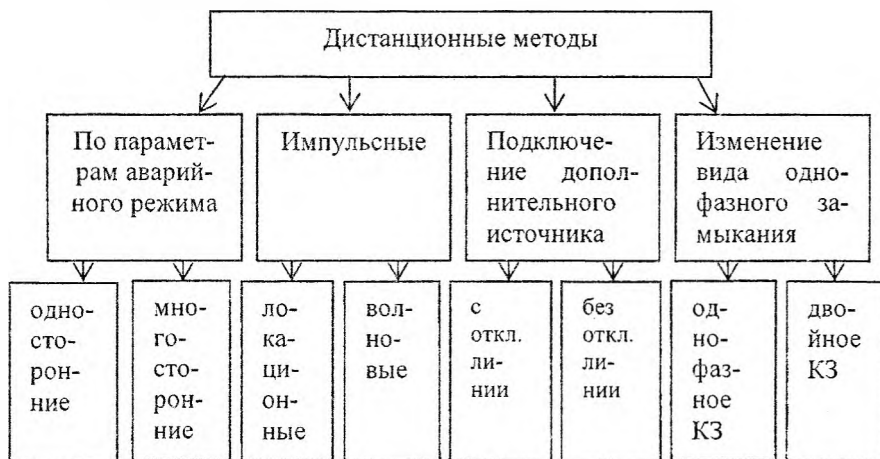


Рис. 1. Схема классификации методов дистанционного определения места повреждения в распределительных электрических сетях

Методы анализа надежности в электроэнергетических системах

Короткевич М.А.

Белорусский национальный технический университет

В электроэнергетике всегда имеется, несмотря на принятые меры и затраченные средства, отличная от нуля вероятность возникновения отказа оборудования, способного привести к негативным последствиям в энергосистеме (недоотпуску электроэнергии потребителям), нарушению баланса активной мощности и возникновению ее дефицита.

Надежность электроэнергетических систем зависит от многих факторов: характеристик оборудования и линий электропередачи, схем выдачи и передачи мощности, уровней резервов, запасов первичных энергоресурсов, планирования и организации ремонтов и др.

Универсальных методов решения проблемы анализа надежности по всей совокупности перечисленных факторов не существует. Поэтому электрическую систему можно представить в виде иерархических уровней, для каждого из которых устанавливаются свои показатели надежности. Для нижнего уровня, включающего в себя отдельные элементы и оборудование, характерными показателями надежности являются безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость.

Для среднего уровня, характеризующегося большим количеством разнообразного оборудования нижнего уровня, образующего объект в целом (подстанция, линия электропередачи, генерирующие источники), показатели надежности - безотказность и ремонтпригодность - формируются с учетом схем соединения отдельных элементов и значений их показателей безотказности и ремонтпригодности. Здесь показатели надежности – долговечность и сохраняемость утрачивают свой смысл.

Для уровня электроэнергетической системы, представляющей совокупность объектов среднего уровня, следует рассматривать балансовую, структурную и режимную надежность. Под балансовой надежностью понимается способность энергосистемы обеспечить совокупную потребность в электрической мощности и энергии потребителей. Под структурной (схемной) надежностью понимается такое ее состояние, при котором не обеспечивается полное удовлетворение спроса на электроэнергию из-за повреждений или нарушений на линиях электропередачи и подстанциях. Режимная надежность подразумевает исключение возникновения недопустимых режимных параметров в узлах электрической сети.

Качественная оценка надежности работы электроэнергетической системы состоит в определении индекса надежности.

Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше

Криксин П.В.

Белорусский национальный технический университет

Интенсивный ввод в работу электросетевого оборудования наблюдался в первые десятилетия после Второй мировой войны. Большая часть такого оборудования эксплуатируется до сих пор, срок его службы составляет более 30 лет. Для эффективной постнормативной эксплуатации оборудования необходимо знать параметры его надежности, причины и тенденции их изменения во времени. В представленном докладе такие исследования проводятся в отношении к силовым трансформаторам на основании статистических данных.

Анализ общего состояния сети показал, что эксплуатируемое в ней оборудование изношено на 30-50 %. Имеются тенденции возрастания этого процента. Старение основных фондов приводит к росту повреждаемости оборудования. В условиях современного состояния рынка усилия электросетевых компаний направлены на продление срока службы существующего оборудования, максимальную его загрузку, минимизацию. В таких условиях традиционная система технического обслуживания и ремонта нуждается в пересмотре: основные усилия должны быть направлены на повышение надежности работы устаревшего оборудования с постепенной и продуманной заменой.

Анализ причин повреждения трансформаторов показал, что данные у разных авторов расходятся: по одним основной причиной являются внешние воздействия, по другим – дефекты самого трансформатора. Достаточно большой процент составляют невыясненные причины. Вместе с тем большой процент отключения и простоя трансформаторов связаны не с повреждениями, а с действием защит или с его техническим обслуживанием.

Наиболее частот в силовых трансформаторах проблемы возникают с обмотками, повреждаемость которых варьируется от 10 до 52 %. Далее по повреждаемости следуют: РПН (от 9 до 56 %), прочие причины (от 6 до 32 %), ввода (от 6 до 27 %), конструкция (от 0 до 34 %). И меньше всего проблем связано с магнитной системой (от 0 до 5 %).

Значительный рост повреждаемости трансформаторов наблюдается после 35-40 лет эксплуатации. Ранее всего повреждаемость возрастает у блочных и генераторных. Сетевые трансформаторы (включая системные и распределительные) в плане повреждаемости более долговечны.

Расчет показателей надежности городской распределительной электрической сети

Старжинский А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Надежность электроснабжения городских потребителей должна соответствовать требованиям ПУЭ, согласно которым электроприемники делятся на три категории.

Системы электроснабжения ответственных потребителей городской электрической сети имеют, как правило, иерархическую структуру.

Программа "REISS", разработанная в Санкт-Петербургском государственном техническом университете на кафедре "Электрические станции" полностью автоматизирует процесс анализа схемы и вычисление показателей надежности иерархических систем электроснабжения.

Значения λ и T в общем виде определяются по выражениям

$$\lambda = \sum_{k=1} \lambda(k), \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \cdot \sum_k T(k) \cdot \lambda(k), \quad (2)$$

где $\lambda(k)$ и $T(k)$ – соответственно частоты и длительности смоделированных аварий k -го вида, приводящих к расчетному погашению. Коэффициент неготовности потребителей K_n вычисляется по выражению

$$K_n = \frac{T \cdot \lambda}{8760}. \quad (3)$$

Подготовка исходных данных сводится к нумерации элементов схемы в определенной последовательности. Затем составляется матрица связности.

С помощью программы "REISS" произведен расчет надежности городской распределительной электрической сети одного из жилых микрорайонов г. Минска, а именно потребителей 0,38 кВ.

Из результатов расчета городской распределительной электрической сети было получено, что при установке вакуумных выключателей на РП наиболее удаленная трансформаторная подстанция имеет самый высокий коэффициент неготовности, который больше соответствующего коэффициента неготовности ближайшей трансформаторной подстанции в 1,28 раза, а при установке маломасляных выключателей это отличие составляет 1,36 раза. Применение вакуумных выключателей на РП вместо маломасляных приводит к незначительному снижению коэффициента неготовности в 1,06-1,08 раза, что объясняется наличием АВР на РП-10 кВ.

Системы технического обслуживания и ремонтов электросетевого оборудования

Фурсанов М.И., Криксин П.В.

Белорусский национальный технический университет

Эксплуатационные параметры высоковольтного электрооборудования электрических станций и подстанций с течением времени постоянно ухудшаются, что приводит к снижению надежности работы оборудования. Для поддержания этих параметров на заданном уровне применяют разнообразные системы технического обслуживания и ремонтов (ТОиР). В настоящее время существуют разнообразные критерии выбора оптимальной стратегии ТОиР, которые, как правило, базируются на технических параметрах. По мнению авторов, в современных экономических условиях критерием выбора оптимальной стратегии ТОиР должен быть конечный экономический эффект, который получает организация от внедрения той, либо иной стратегии. Основой для такого выбора должны быть элементарные физические процессы, происходящие в оборудовании. Исходя из этих соображений в таблице 1 предложен упрощенный алгоритм действий по выбору оптимальной системы ТОиР.

Таблица 1

Этап	Анализируемое явление
1	Рассматриваются воздействия, оказывающие влияние на оборудование в процессе его работы
2	Рассматриваются физические процессы, которые происходят в оборудовании под действием различных влияний, анализируются их параметры
3	Рассматриваются методы диагностики, защиты, управления
4	Анализируются технико-экономические параметры корректирующих мероприятий.
5	Анализируются технико-экономические параметры объекта в целом
6	На основании критерия максимальной экономической выгоды с учетом фактора надежности формируется список оптимальных корректирующих мероприятий, композиция которых определяет оптимальную систему технического обслуживания и ремонтов

Формирование баланса электроэнергии в электрических сетях структурных подразделений Белорусской энергосистемы

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

Составление балансов электрической энергии является одним из способов контроля достоверности ее учета, а также определения и снижения величины отчетных потерь электроэнергии.

В условиях возможных либерализации энергетики и формирования рыночных отношений резко возрастает требования к достоверности учета вырабатываемой, передаваемой и потребляемой электроэнергии.

Баланс электроэнергии в электрических сетях структурных подразделений Белорусской энергосистемы составляется в виде равенства:

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

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

Поступление электроэнергии $W_{пс}$ в сети дефицитных подразделений рассчитывается по формуле.

$$W_{пс} = W_{ош} + W_{пок}, \quad (2)$$

где $W_{ош}$ – количество электроэнергии, отпущенной с шин собственных электростанций; $W_{пок}$ – количество электроэнергии, приобретённое на рынке перетоков.

Поступление электроэнергии $W_{пс}$ в сети избыточных подразделений принимается равным $W_{ош}$.

Отпуск электроэнергии $W_{ос}$ из сетей дефицитных подразделений рассчитывается по формуле

$$W_{ос} = W_{по} + W_{пн} + W_3, \quad (3)$$

где $W_{по}$ – количество полезно отпущенной электроэнергии; $W_{пн}$ – количество электроэнергии, израсходованное на производственные нужды энергосистемы; W_3 – экспорт электроэнергии.

Отпуск электроэнергии $W_{ос}$ из сетей избыточных подразделений рассчитывается по формуле

$$W_{ос} = W_{пс} + W_{пн} + W_{прод} + W_3, \quad (4)$$

где $W_{прод}$ – количество электроэнергии, переданное с шин электростанций на рынок перетоков.

Самозапуск асинхронных двигателей электростанций

Ерофеенко Т.С., Ерохов Е.Л., Климкович П.И.

Белорусский национальный технический университет

Самозапуск группы электродвигателей возникает после кратковременного перерыва питания секции, вызванного, как правило, коротким замыканием (КЗ). Наиболее тяжелые последствия вызывают КЗ на шинах или в цепи питания. Ликвидация таких КЗ сопровождается отключением основного источника питания и последующим включением резервного источника. В результате перерыва питания электродвигатели затормаживаются, а после его восстановления потребляют повышенный ток, напряжение на шинах секции остается значительно ниже номинального, электродвигатели могут не развернуться до нормальной скорости.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ разработана методика вычислительного эксперимента, позволяющая оперативно выполнять расчеты сложных режимов самозапуска электродвигателей собственных нужд (СН) электростанций.

Вычислительная система для оперативных расчетов режимов самозапуска электродвигателей собственных нужд базируется на двух разновидностях математического аппарата. Первый – это математический аппарат для расчета мгновенных значений токов и электромагнитных моментов двигателей в режимах короткого замыкания, группового выбега, начальной стадии самозапуска, когда электромагнитные моменты и токи статора двигателей содержат значительные свободные составляющие. Второй – это математический аппарат алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами для расчета действующих значений токов и напряжений в исходном установившемся режиме и в конечной стадии самозапуска после затухания свободных составляющих токов в контурах двигателей.

Для расчета установившегося режима и режима конечной стадии самозапуска при затухших переменных составляющих электромагнитного момента выбрана система из n дифференциальных уравнений движения с определением электромагнитных моментов двигателей через действующие значения токов.

Алгоритмы воспроизведения на ПЭВМ математических моделей элементов схемы СН позволяют выполнять расчеты параметров системы и нормального режима, режима КЗ на секции СН, группового и индивидуального выбега при потере питания, самозапуска после восстановления питания, позволяют учесть предшествующую двигательную нагрузку на шинах резервного питания и сопротивление связи между шинами резервируемой и резервной секций СН.

Климкович Н.И.

Государственный институт управления и социальных технологий БГУ

В соответствии с изменением рыночных условий в отечественных организациях, появилась необходимость в интегрированной методической и инструментальной базе для поддержки основных функций менеджмента – планирования, контроля, учета и анализа, координации различных аспектов управления бизнес-процессами. Проблему увязки управленческой информации в единое целое в рамках отдельно взятой организации решает система контроллинга, основное назначение которой заключается в межфункциональном взаимодействии деятельности менеджмента и выработке согласованных решений, направленных на достижение стоящих перед организацией и ее структурными подразделениями целей.

Цели организации разделяются на две группы: оперативные и стратегические. Следовательно, контроллинг как система включает в себя два основных аспекта: стратегический и оперативный. Цель стратегического контроллинга – обеспечение эффективного использования имеющихся у организации преимуществ и создание новых потенциалов ее успешной деятельности в перспективе. Цель оперативного контроллинга – создание системы управления для достижения текущих целей организации, а также принятия своевременных решений по оптимизации соотношения «затраты–прибыль».

Применение концепции контроллинга к той или иной области управления организацией приводит к разграничению функций стратегического контроллинга на основе методов концепции Сбалансированной системы показателей (ССП) и оперативного контроллинга, основанного на управлении рядом разнообразных показателей оперативного уровня.

Основные отличия концепции СПП от принципов построения системы оперативного контроллинга в том, что СПП представляет собой модель стратегии организации, а система оперативного контроллинга – модель организации. Модель организации включает целый ряд проекций. Чем выше уровень управленческой культуры, тем больше проекций и переменных находятся в поле зрения руководства организации. Следовательно, система оперативного контроллинга содержит большое количество различных показателей, поскольку она должна обеспечить полноту управленческой информации, в системе СПП число показателей строго ограничено. Показатели оперативного контроллинга служат для управления операционной деятельностью организации, в то время как показатели СПП предназначаются для управления развитием бизнеса.

**О необходимости учёта особенностей потребителей
с кусочно-непрерывными расходными характеристиками
при разработке норм расхода электроэнергии**

Колесник Ю.Н., Иванейчик А.В.

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

В настоящее время каждое промышленное предприятие должно ежегодно разрабатывать нормы по удельному и общему расходу электроэнергии и ежеквартально отчитываться по результатам их выполнения. Однако, при разработке норм расхода электроэнергии для потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками не учитывается возможность работы технологического оборудования в режиме с минимальными затратами на электроэнергию. Дело в том, что такие потребители могут работать как с минимальным удельным электропотреблением, так и в экономически-эффективном режиме, когда к минимуму приводятся затраты на покупку электроэнергии при многоставочных тарифах [1]. При этом в некоторых случаях экономически-эффективный режим работы технологического оборудования может привести к повышенному расходу электроэнергии (таблица 1), поэтому при разработке норм необходимо учитывать экономические интересы предприятия, а это в свою очередь приводит к увеличению норм расхода электроэнергии.

Таблица 1 – Разработка удельных норм расхода электроэнергии с учётом оптимальных режимов работы технологического оборудования

Объём плавки, т/сут	$W_{уд.}$, кВт·ч/т	
	Минимум расхода электроэнергии	Минимум затрат на покупку электроэнергии
0–72	660	674
73–132	670	691
133–192	672	693
193–252	674	695

Поэтому при разработке удельных норм расхода электроэнергии необходимо учитывать возможность работы предприятия в различных оптимальных режимах.

Литература

1. Иванейчик, А.В. Моделирование и оптимизация электрической нагрузки потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками при различных тарифах на электроэнергию / А.В. Иванейчик, Ю.Н. Колесник, Веньгин К.А. // Известия вузов и энергетических объединений СНГ – Энергетика. – 2008. – № 3. – С. 26–32.

Оценка электродинамической стойкости и аэродинамической стабильности токоведущих конструкций с гибкими проводами

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

В процессе эксплуатации воздушных ЛЭП и распределительных устройств (РУ) возникают динамические режимы, сопровождающиеся недопустимым сближением и даже схлестыванием проводов и тросов, нарушением механической прочности опор. Поэтому при проектировании и эксплуатации электроустановок с гибкими проводами вопросы динамики проводов становятся в ряд приоритетных.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ развивается научное направление, посвященное исследованию динамики проводов с помощью математического моделирования и вычислительного эксперимента и упрощенных методов. В основу математических моделей различных видов динамики проводов положена абсолютно гибкая, растяжимая нить.

Расчет динамики провода сводится к решению смешанной краевой задачи с начальными и краевыми условиями. Решение нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа производится разностным методом по явной и неявной схемам. При математической формулировке задачи динамики проводов с учетом конструктивных элементов РУ используется принцип связей механики. Математическая модель учитывает динамику гирлянд изоляторов, отпаек к электрическим аппаратам, расщепление фаз, междуфазные распорки, динамические составляющие сил от смежных участков. Вычислительным экспериментом на основе опытных данных выполнена оценка достоверности алгоритма расчета. Предложены и обоснованы способы повышения электродинамической стойкости гибкой ошиновки РУ и гибких токопроводов.

Пляска относится к низкочастотным колебаниям и характеризуется значительными амплитудами. Наиболее опасными для воздушных ЛЭП являются однополуволновые пляски расщепленных проводов. Расщепленная фаза представляется в расчетах эквивалентным проводом, осью которого является линия центров масс поперечных сечений фазы. Сформулирована краевая задача расчета пляски проводов и разработан численный метод ее решения с учетом гасителей. Достоверность расчетов подтверждается согласованием компьютерных расчетов с опытными данными.

Использование разработанных методов оценки и способов повышения электродинамической стойкости и аэродинамической стабильности проводов способствует повышению надежности работы современных конструкций электроустановок энергосистем.

Оптимизация энергозатрат предприятий
с собственными блок-станциями в рыночных условиях
функционирования

Колесник Ю.Н., Кузоро А.М.

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

Отличительной особенностью предприятий, имеющих собственные источники электроэнергии и энергоемкое оборудование с кусочно-непрерывными расходными характеристиками, является возможность комплексного управления данным оборудованием. Совершенствование в таких условиях может быть достигнуто путем оптимизации режимов работы энергоемкого оборудования и собственных источников электроэнергии предприятий с последующим формированием энергоэффективных режимов их совместной работы. Оптимизация может быть направлена на снижение расхода электроэнергии, энергозатрат, минимизацию потребления электроэнергии из энергосистемы, увеличение дохода от продажи электроэнергии организациям ГПО «Белэнерго».

В ходе исследования было установлено, что рассматривая укрупненную структуру электроэнергетических затрат предприятий с собственными источниками электроэнергии, целесообразно учитывать три наиболее значимые составляющие:

$$З = Зп + Зг - Дп,$$

где $Zп$ – затраты предприятия на покупку электроэнергии;

$Zг$ – затраты предприятия на генерацию электроэнергии;

$Дп$ – доход от продажи электроэнергии.

Из выражения видно, что достичь минимума электроэнергетических затрат «З» можно путём снижения расхода электроэнергии технологическим оборудованием и снижением затрат на генерацию электроэнергии, а при достаточных генерируемых мощностях можно свести электропотребление из системы к нулю или продавать электроэнергию организациям ГПО «Белэнерго».

С помощью разработанной методики, на примере ОАО «Мозырьсоль», была показана возможность получения реального эффекта за счет управления генераторами электроэнергии и энергоемкими технологическими установками предприятия: расчетное снижение электропотребления выпарными системами предприятия составляет 7,8 %; затраты на генерацию электроэнергии на предприятии могут быть снижены на 4,3 %; доход от продажи электроэнергии организациям ГПО «Белэнерго» может быть увеличен на 14,1 %.

Экспериментальные исследования процессов в устройстве РПН силового трансформатора при переключении ответвлений

Медведев К.М., Прохорчик М.А.

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

Разработка полноценной, корректно работающей и в полном объеме исполняющей возложенные на неё функции системы диагностирования устройства РПН силового трансформатора, невозможна без проведения на определённом этапе её создания экспериментальных исследований, которые позволят не только определить работоспособность разрабатываемой системы и наметить возможные пути для её дальнейшего совершенствования, но также собрать первичную техническую информацию об исследуемом объекте в интересующих режимах работы и провести предварительный анализ полученных экспериментальных данных.

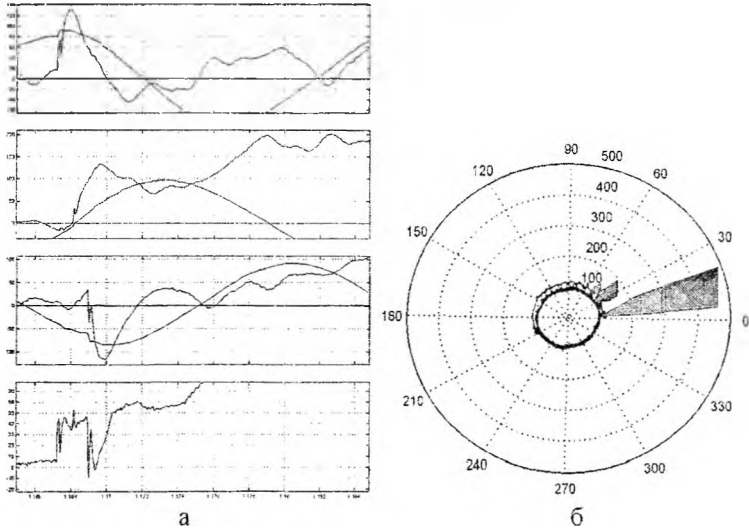


Рисунок 1 – Результаты эксперимента: а – измеренные значения тока совмещены с соответствующими им расчетными значениями свободных составляющих тока, б – отношение абсолютного значения скорости к значению угловой скорости тока в пространстве осей обмоток трансформатора

Предварительные результаты обработки экспериментальных данных уже могут быть использованы для принятия решений о необходимости ревизии РПН силового трансформатора.

Формирование базы данных и базы знаний в эксплуатируемых системах технического диагностирования электрических машин

Грунтович Н.В., Чаус О.В.

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

Целью наших исследований в области технического диагностирования электрических машин является создание таких экспертных систем (ЭС), которые могут использовать большое количество знаний, передаваемых им специалистами (экспертами), вступать в диалог и объяснять свои собственные выводы. Это предполагает наличие множества удобных методов представления знаний. Перечислим основные из них:

- карта связности: семантические сети, реляционные базы знаний (БЗ) и данных (БД), фреймы;
- эталоны (шаблоны);
- продукции.

При разработке ЭС для графического представления знаний используются семантические сети, формально представляющие собой ориентированный граф. Вершины соответствуют определенным объектам или понятиям, а дуги отражают отношения или связи, которые существуют между вершинами.

Реляционная БД – БД, в которой данные организованы в виде таблиц, каждая из которых отображает *отношение* между объектами.

Фрейм – минимально возможное описание сущности какого-либо объекта, явления, события, ситуации, процесса.

$$f[\langle v_1, q_1 \rangle, \langle v_2, q_2 \rangle, \dots, \langle v_n, q_n \rangle],$$

где f – имя фрейма; $\langle v_i, q_i \rangle$ – i -й слот, где v_i – имя слота; q_i – его значение.

Для диагностирования электрических машин применяют **эталон** исправных и изношенных механизмов: зависимость tg изоляции статорной обмотки электродвигателей от приложенного напряжения; виброакустические характеристики подшипников качения; виброакустические характеристики трансформаторов и т. д.

Продукционная модель состоит из множества правил продукций P_i , $A \rightarrow B$ (если A , то B) и множества фактов, накапливающихся по мере функционирования ЭС в рабочей области БЗ.

Таким образом, для построения интеллектуальных систем диагностирования оборудования наиболее эффективными являются продукции, фреймовые модели, эталоны, а для диагностирования технологического процесса – семантические сети.

**Устройство контроля возникновения провала напряжения
в цепи питания электроприемника**

Широков Г.О.

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

На основании требований, предъявляемых к устройству контроля возникновения провала напряжения, заключающихся в однозначности распознавания факта возникновения провала напряжения в контролируемой цепи и однозначности распознавания факта восстановления питания в контролируемой цепи до рабочего напряжения, разработаны структурная, принципиальная схемы и алгоритм работы устройства контроля возникновения провала напряжения в цепи питания электроприемника.

Устройство имеет два канала контроля изменения сигналов тока и напряжения. Порядок подключения в цепь питания помехочувствительного электроприемника после измерительных преобразователей тока и напряжения. Устройство выполнено на базе компараторов с двухполярным опорным напряжением. В качестве коммутирующих элементов использованы электромагнитные реле постоянного тока, однако возможно использование электронных ключей.

На специально разработанной печатной плате был собран макет устройства контроля возникновения провала напряжения в цепи питания электроприемника. Устройство имеет следующие достоинства:

- простота исполнения, настройки и подключения в контролируемую цепь;
- высокое быстродействие;
- распознавание возникновения провала напряжения в контролируемой цепи и распознавание восстановления питания в цепи до рабочего напряжения;
- малые финансовые затраты.

Была проведена успешная апробация устройства контроля возникновения провала напряжения в цепи питания электроприемника, которая показала, что требования, предъявляемые к устройству были выполнены, однако для лучшей оптимизации работы схема нуждается в незначительной корректировке.

На сегодняшний день устройство используется, как блок контроля возникновения провала напряжения в цепи питания электроприемника при синтезе устройства защиты от сетевых помех помехочувствительного электроприемника.

На представленное устройство подана заявка на полезную модель.

Форма тока, потребляемого светодиодными источниками света

Мороз Д.Р., Широкова Д.О.

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

Одним из современных мероприятий, направленных на снижение потребления электроэнергии, является использование высокоэффективных светодиодных источников света. Вместе с тем такие источники света являются электроприемниками с нелинейной вольт-амперной характеристикой и потребляют несинусоидальный ток. При увеличении доли таких электроприемников в системах электроснабжения возможно их заметное влияние на качество электрической энергии.

Цифровое осциллографирование параметров работы светодиодного светильника ЛЭС-Е40-С позволило определить формы напряжения и потребляемого тока (осциллограммы в отчетах АЦП представлены на рисунке 1).

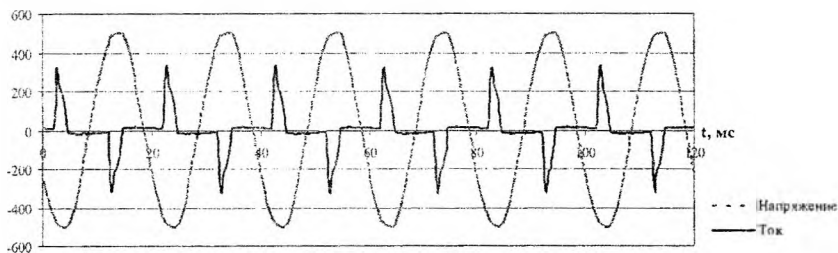


Рисунок 1 – Осциллограммы напряжения и тока светодиодного светильника ЛЭС-Е40-С

Расчет частотного спектра тока, потребляемого светильником ЛЭС-Е40-С (рисунок 2), показал, что кроме основной (первой) гармоники, все остальные значения имеют 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 и 17 гармоники тока.

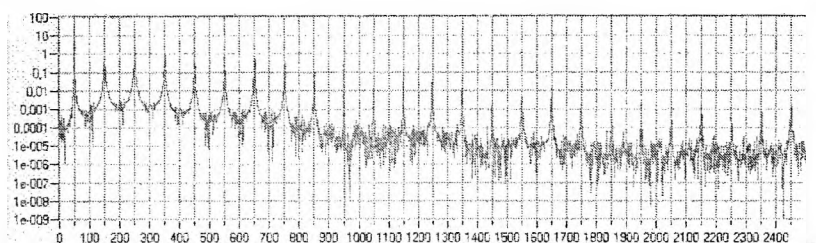


Рисунок 2 – Диаграмма частотного спектра потребляемого тока светильником ЛЭС-Е40-С

О сложности моделирования графиков электрических нагрузок потребителей с кусочно-непрерывными расходными характеристиками

Колесник Ю.Н., Харкевич А.С.

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

При решении задач, направленных на получение оптимальных графиков электрических нагрузок для потребителей с кусочно-непрерывной расходной характеристикой, необходимо определить и оценить как общий объем работы, так и количество вариантов выполнения заданной производственной программы.

Производственная программа под собой подразумевает следующие понятия: – время выполнения производственной программы; – объем производственной программы;

Рассмотрим случай, когда расходная характеристика задана произвольным количеством точек.

Исходные данные для определения возможных вариантов выполнения производственной программы: t – время оптимизации; P – объем производственной программы; N – количество оборудования ($N_{\min} = 1$); H_{ij} – массив точечных расходных характеристик (где i от 1 до M); K_i – точка на расходной характеристике; T – продолжительность цикла; V – объем продукции произведенный за цикл; W – энергия, потребленная за цикл.

Исходя из исходных данных возможно определить, что каждая единица оборудования может за время t выполнить $\lfloor t/T_{Hij} \rfloor$ – циклов. Следовательно – общее количество возможных состояний, для случая, когда расходная характеристика задана одной точкой, можно определить через зависимость

$$Var = \prod_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{k_i} \left\lfloor \frac{t}{H_{ij} T} \right\rfloor + k_i \right).$$

Можно отметить, что ручная выборка из данного количества вариантов займет продолжительный период времени. Следовательно, при проведении оптимизации необходимо использовать средства компьютерной математики или языки программирования для разработки программного обеспечения, которое позволит решать данные задачи.

Полученные математические зависимости позволяют определять количественный показатель возможных вариантов реализации производственных программ для произвольного состава оборудования. Что позволяет использовать их при решении оптимизационных задач в области моделирования энергоэффективных графиков электрических нагрузок.

Концептуальные подходы к контроллингу

Климкович Н.И.

Государственный институт управления и социальных технологий БГУ

Контроллинг – новая концепция управления, порожденная практикой современного менеджмента, позволяющая интегрировать управленческий учет, планирование, контроль и аналитическую работу в единую систему обеспеченную всеми необходимыми связями, потоками информации, нормативно-техническими и инструктивно-методическими документами, программными продуктами и подготовленными кадрами.

Анализ литературных источников позволяет выделить такие концепции контроллинга, сформировавшихся к настоящему времени, как: концепция, ориентированная 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, непосредственно связанная с развитием проектного менеджмента и появлением матричных организационных структур; концепция, рассматривающая контроллинг как функцию поддержки процесса принятия управленческих решений.

Из вышеизложенного следует, что более поздние подходы к определению контроллинга развивают предыдущие, акцентируя внимание на различных аспектах: уточняется предметная область, объект контроллинга, методы и модели.

Несмотря на то, что в большинстве развитых стран концепции контроллинга схожи и он не является новым понятием, до сих пор нет единого понимания термина «контроллинг», что объясняется приверженностью различных авторов разным научным школам организационного управления. В результате чего имеют место две модели контроллинга, различные по соотношению теоретических обоснований и прикладных исследований.

Традиционно выделяют немецкую и американскую школы. Так, в Германии преобладает научное обоснование принципов и методов контроллинга, а в США и некоторых европейских странах большее внимание уделяется его инструментам и их практическому применению в различных ситуациях. Основные отличия моделей заключаются в уровне принятия решений. Немецкая модель концентрируется на задачах внутреннего учета, а американская охватывает также задачи управления финансами и информационные технологии. Вместе с тем в подходах обеих школ современное решение задач системного управления обеспечивается в среде информационных технологий и систем.

Применение MathCAD для решения практических задач электроэнергетики

Коваль А.А., Ерофеенко Т.С., Самойленко А.О.
Белорусский национальный технический университет

Использование компьютера при решении задач позволяет избежать сложных вычислений, сосредоточиться на анализе результатов и выборе оптимальных параметров. Выбор MathCAD в качестве средства решения практических задач объясняется его простотой и наглядностью, большим количеством встроенных функций, наличием численного и символьного процессоров. Наличие графического и текстового редакторов дают возможность готовить технические документы непосредственно в оболочке.

Целью первой части исследования явилось нахождение волновых параметров заземлителя. Основное допущение при расчетах предполагает независимость векторов поля на поверхности заземлителя от угла θ . Для достижения данной цели была поставлена задача определения электрического поля, распределения тока, стекающего с трубопровода в грунт, шагового напряжения и напряжения прикосновения, а также характеристик электрического взаимодействия трубопроводов с протяженными заземлителями и друг с другом. Поперечное электрическое поле заземлителя допустимо определять через стационарное поле тока проводимости стекающего с заземлителя. Этот метод может быть использован и при оценке величин токов, перетекающих с заземлителей на трубопроводы, оболочки кабелей и другие протяженные объекты. Получены зависимости распределения тока на поверхности трубопровода при различных геометрических характеристики трубопровода и заземлителя.

Далее в работе были исследованы практические методы расчета электродинамических усилий ряда токоведущих систем: уединённый проводник с заданным током; уединённая система проводников с токами; замкнутые контуры с током; узел ответвления тока; система прямолинейных проводников, расположенных около бесконечно протяжённого проводящего листа; прямолинейные проводники с током, расположенные в идеально проводящем экране прямоугольного сечения; два прямолинейных проводника с током, расположенных в общем проводящем экране круглого сечения, три прямолинейных проводника с током, расположенных на одной горизонтали в общем идеально проводящем экране круглого сечения.

В пакете MathCAD составлены программные модули выполняющие расчет плоскопараллельных полей взаимодействующих цилиндрических заземлителей и расчёт электродинамических усилий в токоведущих частях и токопроводах.

Компьютерная программа расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки распределительных устройств 10 кВ

Климкович П.И., Шпаковский А.А.

Белорусский национальный технический университет

На основании разработанного явного метода расчета составлена компьютерная программа, позволяющая рассчитать электродинамические усилия при трехфазном КЗ между жесткими токоведущими частями. Рассматривается случай металлического трехфазного короткого замыкания. Учет ферромагнитных масс не производится. В программе учитываются параметры основных конструктивных элементов пролета распределительного устройства и короткого замыкания.

Определение максимальных ЭДУ для расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки с расположением шин в вершинах произвольного треугольника выполняется методом циклической прогонки по расчетному времени процесса КЗ и фазе включения КЗ. Задаваясь границами и шагом изменения указанных параметров и для каждого текущего значения времени и фазы, производится вычисление напряжения в материале проводника, растягивающего (сжимающего) и изгибающего усилий на вершину изолятора. На каждом шаге вычисления производится выбор максимальных вычисленных значений, а также фиксирование соответствующих им текущего времени и текущего угла включения КЗ.

При разработке интерфейса программы основной задачей было создание эргономичного и понятного интерфейса. Для написания программы был выбран инструмент быстрой разработки приложений С++ Builder. Использование графического интерфейса позволило создать программу с высоким уровнем абстракции, что помогает конечному пользователю в кратчайшие сроки понять и освоить программу. Применение объекта TChart дало возможность отображать графики изменения усилий в шинах, а также построить годограф с совместным расположением трех шин. Все эти средства облегчают анализ представляемой информации.

Для облегчения поиска и устранения ошибок, а так же для упрощения последующей модификации код программы представляет собой совокупность подпрограмм, представляющих собой логические модули, которые понимаются и модифицируются как единый блок. Это, а также использование поясняющих комментариев позволило создать простой для понимания код, что в перспективе поможет поднять уровень программы.

Разработанная КП расчета электродинамических усилий может быть использована в практике конструкторских работ по разработке шинных конструкций с произвольной ориентацией шин и изоляторов.

**Повышение технического совершенства
микропроцессорных защит электроустановок**

Тишечкин А.А., Демчук О.Н., Самойленко А.О., Беседа А.С.
Белорусский национальный технический университет

В последнее время идет модернизация энергосистемы. Устанавливается новое силовое оборудование, электромеханические реле заменяются на микропроцессорные (МП) терминалы защит, обладающие более высокими показателями надежности и устойчивости функционирования. Но помимо достоинств есть определенные трудности их применения.

Проблемы, связанные с МП защитами можно разбить на две группы:

– Вызванные переходом от традиционных реле к микропроцессорным. Во-первых, дороговизна замены блоков МП защит при выходе из строя любого элемента. Во-вторых, проблемы электромагнитной совместимости МП терминалов, вызванные электромагнитными возмущениями в сети.

– Присущие как микропроцессорным терминалам защит, так и электромеханическим реле – отстройка от токов небаланса, вызванных броском тока намагничивания, перевозбуждением, перегрузками послеаварийными режимами, внешними КЗ.

Ток небаланса имеет следующие составляющие: пропорциональная току внешнего КЗ и диапазону регулирования напряжения в одну сторону от номинального; обусловленная неточным выравниванием токов по величине в плечах защиты; обусловленная несовпадением характеристик намагничивания трансформаторов тока (ТТ).

С использованием МП устройств, первые две составляющие тока небаланса практически полностью могут быть устранены, но остается еще погрешность ТТ.

При КЗ ТТ могут насыщаться, вследствие чего погрешность возрастает до значений близких к 80–100 %. Для продольных дифференциальных защит данный факт может привести к ложному срабатыванию. Насыщение ТТ при разных видах КЗ неодинаково.

Существует ряд мероприятий направленных на уменьшение погрешностей ТТ при переходных и установившихся режимах: разработка и использование новых типов ТТ; совершенствование характеристик срабатывания существующих защит; разработка МП защит, которые смогли бы определять поведение ТТ во время протекания переходного процесса; компенсация погрешностей насыщенных ТТ или восстановление сигнала, искаженного явлением насыщения.

Повышение технического совершенства МП защит необходимо исследование причин появления токов небаланса и способов их устранения.

Оценка линеаризации механической характеристики асинхронного двигателя

Гончар А.А.

Белорусский национальный технический университет

Как это следует из формулы Клосса для нахождения нового значения скольжения – S необходимо решить уравнение вида:

$$S^2 - 2 \frac{M_K}{M} S \cdot S_K + S_K^2 = 0$$

с корнями

$$S_{1,2} = \frac{M_K}{M} S_K \pm \sqrt{\frac{M_K^2}{M^2} S_K^2 - S_K^2} = K_M S_K \pm \sqrt{K_M^2 S_K^2 - S_K^2}$$

где: M_K и S_K – соответственно критический момент и критическое скольжение,

$K_M = \frac{M_K}{M}$ – кратности критического момента;

M – момент на валу.

Из спрямленной механической характеристики значение скольжения – S определяется из выражения:

Для оценки ошибки вносимой линеаризацией требуется исследовать функцию – ΔS :

$$\Delta S = \frac{S_K}{K_M} - K_M S_K \pm \sqrt{K_M^2 S_K^2 - S_K^2};$$

$$\text{или } \frac{\Delta S}{S_K} = \frac{1}{K_M} - K_M \pm \sqrt{K_M^2 - 1}.$$

Выбор источника питания системы освещения на базе светодиодных источников света

Козловская В.Б., Гаврилович Д.А., Гаврилович О.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время все больше внимания уделяется изучению возможности применения светодиодных источников света. Они более экономичны, чем широко используемые газоразрядные, обладают хорошими светотехническими характеристиками, высокой механической прочностью,

значительно большей долговечностью и при необходимости могут иметь излучение любого цвета. Существенным ограничением массовому применению является их стоимость, значительно превышающая стоимость традиционных источников света. Однако если рассматривать систему освещения, построенную с использованием светильников на светодиодах, в комплексе, то выявляется ряд отличий от систем с традиционными газоразрядными источниками света. Одним из таких отличий может являться система питания светильников. Поскольку светодиодные источники света работают на постоянном токе пониженного напряжения, то в настоящее время для адаптирования их к существующей системе переменного тока напряжением 230В каждый такой источник света снабжен преобразовательным устройством. Стоимость такого устройства составляет значительную долю стоимости всего светового прибора. Кроме того, при все более широком распространении светодиодов в освещении актуальным может оказаться вопрос о влиянии огромного количества таких преобразователей на качество электроэнергии. В связи с этим рассматривается задача возможности питания систем освещения некоторых потребителей постоянным током. Выполненные расчеты показали, что экономически целесообразно организовать питание от отдельного источника постоянного тока светильников, используемых для освещения общедомовых помещений и лестничных клеток жилых домов. В этом случае даже при высоте дома в 16 этажей сечение проводников групповой сети не превышает минимально допустимого по механической прочности. С учетом стоимости всех элементов сети и их обслуживания, сроков службы источников света и экономии электроэнергии вариант со светодиодными источниками света оказывается выгоднее традиционного с использованием компактных люминесцентных ламп.

УДК 621.3

Основные принципы организации управления электрическим освещением

Козловская В.Б.

Белорусский национальный технический университет

Значительное сокращение нерационального расхода электроэнергии на освещение может быть достигнуто за счет применения систем управления световыми приборами, позволяющими максимально использовать естественное освещение, а также оптимизировать работу световых приборов в зависимости от наличия/отсутствия людей в помещении. В производственных помещениях, а также в жилых и общественных зданиях используется управление освещением, как системы общего, так и комбинированно-

го освещения. Также применяется управление освещением при системе локализованного освещения.

Системы управления освещением с датчиками движения способны управлять отдельными светильниками, группой светильников или полным освещением помещения, включая и выключая свет целиком или на отдельных участках, когда там появляются люди. Учет изменения естественной освещенности является необходимым в помещениях с недостаточным естественным освещением, в которых применяется система совмещенного освещения. В этом случае может осуществляться зонное управление на основе графиков управления освещением или с применением различных фотодатчиков. При этом каждый технологический участок делится на зоны по условиям естественной освещенности.

Регулирование уровней освещенности световых приборов может осуществляться двумя способами: отключением части светильников или регулированием питающего напряжения (соответственно, светового потока источника света).

Правильно спроектированную и эксплуатируемую систему управления освещением следует рассматривать как составную часть энергосбережения. Экономия электроэнергии достигается за счет значительного сокращения времени использования искусственного освещения, т.е. рационального использования естественного света. Важными элементами комплексной задачи рационального использования электроэнергии на освещение являются также расположение и доступность выключателей, эффективное управление внутренним освещением, надежная работа светильников и устройств управления ими.

УДК 621.311.6.03

Применение в схемах электроснабжения защитных устройств от перенапряжения

Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Перенапряжение – это напряжение, величина которого превышает допустимое значение, вызванное появлением избытка энергии в электрических сетях, оно является одним из наиболее опасных аварийных режимов работы электрооборудования, в большинстве случаев достаточные для появления пожароопасных факторов. Основными причинами, вызывающими перенапряжения в электрических сетях, являются грозовые проявления (атмосферные перенапряжения), коммутационные переключения, аварии, некачественное техническое обслуживание и монтаж: обрыва ну-

левого провода, однофазные короткие замыкания, нарушение правил эксплуатации электроустановок и т.п.

В условиях эксплуатации электрических сетей возможны плановые, режимные или аварийные ситуации. Поэтому диапазоны величин перенапряжений определяются границами от нескольких сотен вольт до десятков и сотен киловольт.

При выборе и установке ограничителей перенапряжения и разрядников, уравнивающих потенциалы, необходимо принимать во внимание схемы сети электроснабжения, которые различаются заземлением источников питания и электрических устройств. Обычно применяют следующие типовые схемы: TN-C, TN-C-S, TN-S, TT, IT.

Сети электроснабжения разделяют на характерные участки с разными электромагнитными условиями, например, до выводов высокого напряжения трансформатора на трансформаторной подстанции; от выводов низкого напряжения трансформатора до вводного устройства (панели), от вводного устройства до распределительных устройств и т.д. На границах зон устанавливаются различные защитные устройства: варисторы – полупроводниковые резисторы (высоковольтные варисторы применяются для изготовления ограничителей перенапряжения); разрядники (трубчатые, вентильные, магнитовентильные, длинно-искровые); устройства защитного отключения; датчики превышения напряжения для совместной работы с любыми типами устройств защитного отключения (на токи утечки 10-300 мА), а также источники бесперебойного питания, сетевые фильтры, стабилизаторы, стабилизаторы, устройства для защиты от импульсных перенапряжений и т.п.

УДК 621.313

Распределительные трансформаторы с магнитопроводом из аморфной стали

Лосев А.В., Стабровский Л.Н.

Минский электротехнический завод им. В.И. Козлова

В аморфной стали атомы металла расположены в произвольном порядке по сравнению с традиционной зернистой структурой кремнистой стали. В результате сопротивление намагничивания и размагничивания для аморфной стали всегда меньше по сравнению с сопротивлением в кремнистой стали.

Аморфная сталь (её структура) обеспечивает одинаковые магнитные свойства во всех направлениях, однако имеет высокую хрупкость при резке, очень малую толщину (0,024 мм), что является главной технологиче-

ской проблемой при изготовлении магнитопроводов силовых трансформаторов.

Сложность и большие затраты производства трансформаторов с аморфной сталью состоит в большом объёме ручного труда на сборке и большой энергоёмкости в связи с необходимостью высокотемпературного отжига магнитопроводов после его формовки в готовый вид.

Трансформаторы с магнитопроводом из аморфной стали дороги, энергоёмки и тяжелы. Однако они обеспечивают большой потенциал экономии электроэнергии.

В России ОАО «Электрозавод» (Москва) изготовил первые образцы трансформаторов с использованием аморфной стали с магнитопроводом, закупленным в Турции. Цена такого трансформатора на 25–35% выше по сравнению с ценой трансформатора с магнитопроводом из трансформаторной (кристаллической) стали. При этом разница в стоимости окупится примерно за 6 лет. В России нет производителей аморфной стали в необходимом объеме и нет системы тарифов, которые стимулировали бы экономно электроэнергию в электрических сетях. Это сдерживает широкое применение энергосберегающих трансформаторов в России и других странах СНГ. Заманчиво снизить потери в магнитопроводе на 50–70%. В то же время этого можно добиться и на основе применения электротехнической стали кристаллической структуры на базе «классической» технологии. Специалисты УП «МЭТЗ им. В.И. КОЗЛОВА» изучают данное направление в сотрудничестве с немецкой компанией «Georg» – ведущего производителя в мире по раскройным технологиям в области трансформаторостроения.

УДК 628.81

Технико-экономическая оценка проекта «Электродом»

Олешкевич М.М., Макоско Ю.В., Прокопенко Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Традиционный многоэтажный дом – это дом, к которому подходят коммуникации с полным набором энергоносителей: электроэнергия, газ, холодная вода, тепло, канализация. По дому разводятся: электроэнергия, газ, холодная вода, горячая вода, водяное отопление, канализация. Дом загружен проводами, трубами, специальным разнотипным оборудованием. Это требует значительных капитальных затрат, требует обслуживания многочисленными профильными специалистами.

Значительны затраты на подвод газовой магистрали, затраты на разводку газа по дому, затраты на специальную надежную вентиляцию. Кроме

того, газ в жилой квартире экологически не чист и взрывоопасен, требует создания усиленной системы вентиляции.

Подвод тепловой энергии от централизованной котельной, от ТЭЦ или от собственной котельной требует затрат на строительство теплотрассы, затрат на реконструкцию или строительство котельной, затрат на прокладку труб отопления и горячего водоснабжения (ГВС) внутри дома, установку бойлеров, насосов подкачки, автоматических регуляторов и т.д.

В проекте «Электродом» к дому подводятся и разводятся по квартирам только электроэнергия, холодная вода и канализация. Вместо газовых плит используются экономичные и экологически чистые электроплиты, вместо централизованного отопления – электрические калориферы, вместо централизованного ГВС – проточные электроводонагреватели.

Капитальные затраты на строительство 144 квартирного «электродома» снижаются с 14,4 млн. долл. до 13,58 млн. долл., а эксплуатационные годовые расходы условного топлива из-за низкого КПД выработки электроэнергии, возрастают с 327 до 480 т.у.т. в год, что при тарифе на условное топливо 360 долл./т.у.т. дает отрицательный экономический эффект – 55,8 млн. долл. в год. Полученная при строительстве «Электродома» выгода со временем исчерпывается. Срок исчерпания выгоды достаточно большой – не менее 15 лет.

Внедрение проекта «Электродом» целесообразно при значительной длине и стоимости газовых магистралей, при значительной длине и стоимости тепловых магистралей, при необходимости реконструкции котельных.

УДК 338.46:621.31

Принципы реформирования электроэнергетики

Поспелова Т.Г.

Белорусский национальный технический университет

Либерализация электроэнергетики – общемировая тенденция. Необходимыми условиями открытия электроэнергетических рынков являются: приватизация объектов электроэнергетики; отделение конкурентных сфер деятельности от сфер естественных монополий; предоставление производителям, торговцам и крупным потребителям свободного доступа к электрической сети на оптовом и розничном рынках; введение конкурентного ценообразования в сферах генерации и сбыта электроэнергии. В результате либерализации рынков на оптовом рынке появляются независимые производители электроэнергии (НПЭ), крупные потребители, брокеры, перепродавцы; на розничном рынке – поставщики энергетических услуг (продажа, монтаж, обслуживание оборудования, услуги по обеспечению энер-

гоэффициентности, качества энергообеспечения, энергосбережению и т.п.). Развитие рыночных отношений в электроэнергетике сопровождается рядом эффектов. Среди них: изменение соотношения централизованных и распределенных систем; влияние НПЭ на режимы ЭЭС; тенденция к образованию межрегиональных и межгосударственных энергообъединений; новые подходы к обеспечению надежности и качества электроснабжения; риск потери управляемости развитием и функционированием инфраструктур электроэнергетики; новые подходы к тарифообразованию; оплата услуг за присоединение к электрическим сетям, за определенный уровень надежности и качества электроснабжения, за услуги по передаче энергии, услуги системного и коммерческого операторов рынка и т.д.; опасность недостаточности инвестиций в модернизацию и развитие электрических сетей и электростанций стратегической значимости.

Необходимое условие эффективной конкуренции - наличие избыточных генерирующих мощностей и соответствующей им пропускной способности электрических сетей. Модернизация и строительство новых электростанций на основе высокоэффективных технологий и ВИЭ, внедрение гибких управляемых электропередач (FACTS), технологий «Smart Grid» требуют масштабных долгосрочных инвестиций. Финансирование становится корпоративным, растет значение партнерства государства и бизнеса.

УДК 621.32

Экономическая эффективность и техническое обоснование применения различных источников света на производстве

Сацукевич В.Н., Кабанов А.А., Сидоров А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Современное электрическое освещение – это применение осветительных приборов с низким потреблением электроэнергии. При сравнении осветительных приборов по светотехническим характеристикам необходимо учитывать эффективность лампы и электронного устройства пуска, эффективность оптической системы, срок службы. При комплексной оценке и сравнении осветительных приборов необходимо учесть расходы на обслуживание, затраты на расходные материалы, провода и кабели для питающих линий. Сравнение эффективности различных источников света (по данным НПК «ЛюксОН») с учетом потерь в электронных устройствах пуска показало, что галогенная лампа - это 7-8 лм/Вт, лампа ДРЛ – 20-24 лм/Вт, люминесцентная лампа(ЛЛ) – 26-29 лм/Вт, лампа ДНаТ – 42-50 лм/Вт, светодиодная – 95-123 лм/Вт. Таким образом, от применения светильников со светодиодами, эффект превосходит существующие источни-

ки света в 5-10 раз, если не учитывать устаревшие лампы накаливания. Экономическая эффективность различных источников света оценивалась по потребляемой мощности (кВт), стоимости электроэнергии в год (260 дней/год; 10 часов/день), млн.руб. За основу взята лампа ДРЛ 250 в количестве 1000 штук, т.е. условное потребление завода. У светильников с галогенными лампами эти показатели составили соответственно – 1020 кВт и 10,61 млн.руб.; с лампами ДРЛ – 340 и 3,54; с люминесцентными лампами – 281 и 2,93; с лампами ДНаТ – 163 и 1,7; у светильников со светодиодами – 86 кВт и 0,89 млн.руб. По данным НПК «ЛюксОН» экономический эффект от применения светодиодных светильников с учетом высвобождаемых мощностей составит 4,67 – 76,96 млн.руб. Учет эксплуатации, расходных материалов и утилизации ламп содержащих вредные вещества также является существенной статьей расхода и носит индивидуальный характер для каждого предприятия.

Таким образом, внедрение светодиодного освещения на сегодняшний день является наиболее перспективным и окупается высвобождаемыми мощностями и экономией электроэнергии на протяжении срока эксплуатации оборудования.

УДК 621.311

Электроснабжение производственных объектов при наличии собственных источников электроэнергии

Ярошевич Т.М.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы появилось много информации о использовании электроэнергии от собственных электрогенерирующих устройств (мини-ТЭЦ), а также о преимуществах и перспективах применения этих собственных источников. Однако большинство статей имеет рекламный характер.

Строительство, реконструкция, производство, новых изделий осуществляется на основе проектов. От проекта зависит, будет ли эффективна наша мини-ТЭЦ. Многое зависит от выбора проектировщиков. К сожалению, практический опыт проектирующих организаций по разработке проектов мини-ТЭЦ, явно недостаточен.

Кроме того, появилась нужда в корректировке нормативно-технической документации, в частности, по вопросу формирования схемы электроснабжения промышленного предприятия, в составе которого имеется собственный источник питания.

При выборе оптимальной системы энергоснабжения предприятия по технико-экономическим показателям эффективность необходимо сравнивать нескольких альтернативных вариантов энергоснабжения:

- 1) централизованное электроснабжение и теплоснабжение от энергосистемы;
- 2) централизованное электроснабжение, а теплоснабжение от собственной котельной;
- 3) электроснабжение и теплоснабжение на базе мини-ТЭЦ;
- 4) электроснабжение и теплоснабжение на базе мини-ТЭЦ, а также энергосистемы.

Для более детальной экономической оценки вариантов необходимо учитывать затраты на реконструкцию внутренней системы энергосистемы и затраты на реконструкцию внешнего энергоснабжения.

Реконструкция системы электроснабжения может потребоваться в связи с увеличением токов короткого замыкания при подключении в сеть дополнительных источников электроэнергии, для обеспечения устойчивости работы генераторов при коротких замыканиях в сети, при перестройке релейных защит и автоматики в системе электроснабжения.

УДК 621.3

Повышение точности цифровых систем фазовой автоматической подстройки частоты в диапазоне низких и инфранизких частот

Шемаров А.И.

Белорусский национальный технический университет

Современные требования, предъявляемые к измерительным приборам и информационно-измерительным системам, предполагают увеличение их функциональности и точности. Обеспечение выполнения этих требований достигается на современном этапе развития технологий использования методов цифровой обработки сигналов. Для создания цифровых приборов для проведения гармонического и спектрального анализа, измерения активной и реактивной мощности, разности фаз, пикового, среднего, действующего напряжения и токов необходимо, для последующей обработки, получить на одном или нескольких периодах требуемое количество отсчетов исследуемых процессов. Для устранения эффектов Гибса требуется точное совпадение произведения периода дискретизации процесса на количество отсчетов с длительностью целого количества периодов исследуемых процессов.

Для решения этой задачи применяются системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Существующие серийно выпускаемые компоненты ФАПЧ на основе генератора управляемого напряжением, фазового дискриминатора и счетчика не позволяют получить качественную частоту дискретизации на низких и особенно инфранизких частотах, при большом количестве требуемых для вычислений отсчетов.

Существенно повысить точность позволяют цифровые системы ФАПЧ, формирующие частоту дискретизации как произведение измеренной частоты предыдущего периода процесса на требуемое количество отсчетов. Для повышения точности и стабильности поведения измерений предлагается цифровая микропроцессорная система ФАПЧ. Увеличение точности и стабильности в предлагаемой системе достигается за счет вычисления в генерировании частоты дискретизации первой (скорость изменения частоты) и второй (ускорение изменения частоты) производных периодов анализируемых процессов. В работе оценивается влияние алгоритма на точность и стабильность конечных результатов, достигаемых при введении предлагаемой системы ФАПЧ, даются рекомендации по выбору разрядности накапливающих сумматоров, и выбору алгоритмов выполнения вычислений над данными большей разрядности.

УДК 621.3

Использование системы фазовой автоматической подстройки частоты для повышения эффективности коммутационных устройств

Шемаров А.И.

Белорусский национальный технический университет

Технологии современной полупроводниковой интегральной электроники позволили создать большое количество полупроводниковых реле имеющих сравнительно небольшую стоимость при высоких эксплуатационных характеристиках. Например, полупроводниковое реле типа IRKT фирмы International Rectifier размером меньше мобильного телефона может коммутировать нагрузку при силе тока до ста ампер в диапазоне рабочих напряжений до двух киловольт. Это позволяет успешно использовать полупроводниковые реле для замены электромеханических коммутационных устройств.

Однако полупроводниковые коммутационные устройства не лишены ряда недостатков связанных с возникновением ложных срабатываний при появлении в сетях кратковременных высоковольтных импульсов помех. Также тепловые потери значительно выше для полупроводниковых коммутационных устройств. Совмещая лучшие параметры полупроводниковых и электромеханических коммутационных устройств можно создавать гибридные коммутационные устройства с уникальными параметрами. Для управления таким устройством требуется создание устройства синхронизации и управления.

В докладе рассматриваются аспекты создания таких устройств на базе микропроцессорной техники, включающих в свой состав систему цифровой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Наличие ФАПЧ позволяет

устанавливать любую фазу наступления события коммутации согласно сигналу опорной частоты (например, фаза А трехфазной системы). Микропроцессорная система позволяет программировать фазы и события синхронизации исполнительных устройств, при наступлении события коммутации в произвольной последовательности при любой заданной фазе относительно сигнала опорной частоты. Это позволяет коммутировать цепи в требуемые моменты времени (нулевой ток или нулевое напряжение) требуемым элементом (полупроводниковый или электромеханический) гибридной системы. Рассмотрена возможность централизованного управления коммутационными элементами.

УДК 621.316

Оценка методов определения видов повреждения на линиях распределительных сетей

Булойчик Е.В.

Белорусский национальный технический университет

В радиальных сетях 6 – 35 кВ с одним источником питания для защиты линий от коротких замыканий (КЗ) используются микропроцессорные токовые защиты, содержащие в общем случае три ступени: токовую отсечку мгновенного действия (ТО); токовую отсечку с выдержкой времени (ТОВ); максимальную токовую защиту (МТЗ). Введение в алгоритм функционирования защиты функции определения вида повреждения целесообразно с точки зрения расширения зоны мгновенного отключения ТО и повышения чувствительности МТЗ при несимметричных КЗ на линии.

Выявление режимов двухфазных КЗ может быть осуществлено следующими методами: на основе контроля появления в токах фаз составляющих обратной последовательности; на основе контроля относительной несимметрии токов фаз линии.

Для реализации первого метода необходимо использовать фильтры тока обратной последовательности, содержащие частотнозависимые элементы. В силу этого выходной сигнал этих фильтров может значительно изменяться при отклонениях частоты в энергосистеме, изменениях величин и состава высших гармоник во входных токах и т.д., что отрицательно сказывается на чувствительности определения режимов двухфазных КЗ.

Очевидным достоинством второго метода является отсутствие влияния изменений частоты и высших гармоник на его чувствительность, так как этот метод не требует использования частотнозависимых элементов. Суть данного способа заключается в определении действующих значений токов фаз линии, из которых выделяют наибольшее I_{max} и наименьшее I_{min} значения, по которым вычисляют относительную несимметрию ΔI . Определить

ΔI можно как отношение разности ($I_{max} - I_{min}$), которая имеет существенную величину при несимметричных КЗ, к наибольшему I_{max} либо наименьшему I_{min} из токов фаз. В первом случае возможно четкое выявление двухфазных КЗ, когда токи повреждения не менее чем в 2,5 раза превосходят токи нагрузки. Второй метод обладает большей чувствительностью, и выявление режимов несимметричных КЗ обеспечивается, когда токи повреждения в 1,5 и более раз превышают токи нагрузочных режимов.

Литература

1. Принципы выполнения адаптивной микропроцессорной токовой защиты от междуфазных коротких замыканий / Романюк Ф.А., Тишечкин А.А., Ковалевский А.В. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика / БНТУ. – Минск, 2005, № 2.

УДК 378.141-057.875 + 621.3

Некоторые методические аспекты преподавания дисциплины «Переходные процессы в электроэнергетических системах», ч. I, студентам заочной формы обучения

Булат В.А.

Белорусский национальный технический университет

Бюджет времени, выделенный на учебный процесс по курсу «Переходные процессы в электроэнергетических системах» ч. I для студентов электроэнергетических специальностей по заочной форме обучения в стенах вуза, очень ограничен. Основной запас знаний студенты-заочники должны накапливать путем самостоятельной проработки учебного материала. Но неоспоримо, что контакт с преподавателем на всех стадиях обучения способствует углублению знаний студента. Поэтому каждый академический час, проведенный студентами в аудиториях университета, должен дать им максимум информации и знаний.

Новый рабочий учебный план студентов электроэнергетических специальностей по данной дисциплине включает 10 часов лекционных занятий и 10 часов практических. Для сравнения студентам дневной формы обучения отводится соответственно 42 и 28 часов. Кроме этого, студенты в течение семестра должны выполнить курсовую работу.

Поэтому для успешного изучения этой дисциплины кафедрой «Электрические станции» за последние 7-8 лет издано несколько методических пособий, в этом числе электронный конспект лекций, сборник задач и методические указания к выполнению курсовой работы.

Ограниченный объем часов требуют от преподавателя тщательной подготовки и методически правильного проведения всех видов занятий.

На установочных и обзорных лекциях излагаются самые проблемные и трудно поддающиеся пониманию разделы курса.

На практических занятиях теоретический материал закрепляется путем самостоятельного решения студентами задач по всем основным разделам дисциплины при непосредственном наблюдении и оказании консультативной помощи со стороны преподавателя.

Опыт работы со студентами-заочниками на протяжении многих лет показал, что примерно 70% студентов-заочников достаточно успешно справляются с изучением данной дисциплины.

УДК 621.316.925

**Организация подготовки специалистов
по новым специальностям для нужд АЭС**

Силук С.М.

Белорусский национальный технический университет

Подготовка специалистов для нужд Белорусской АЭС организована в рамках реализации Государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2008-2020 годы в 4-х университетах (БГУ, БНТУ, БГУИР, МГЭУ им. А.Д.Сахарова) по 7-ми специальностям с ежегодным планом набора 220 человек.

БНТУ осуществляет подготовку по 4 специальностям с набором 100 человек, БГУ по 3-м специализациям в рамках 2-х специальностей с набором 60 человек и по одной специальности с набором по 30 человек осуществляет подготовку БГУИР и МГЭУ им. А.Д. Сахарова.

С учетом предполагаемых сроков строительства АЭС и проведенных консультаций с экспертами МАГАТЭ по вопросам подготовки кадров для Белорусской АЭС в Республике разработан план мероприятий по базовой и специальной подготовке персонала для АЭС.

К 2014 г. (за два года до пуска первого энергоблока) должно быть обеспечено 100 % укомплектование персонала АЭС специалистами, прошедшими специальную подготовку (выпускниками белорусских учебных заведений, прошедшими специальную подготовку в зарубежных учебно-тренировочных центрах на полномасштабных тренажерах блока и стажировку на действующих АЭС; белорусскими специалистами со стажем работы, прошедшими специальную переподготовку, а также иностранными специалистами, приглашенными на ключевые должности).

Эти специалисты должны принимать непосредственное участие в монтаже, наладке и пуске технологического оборудования первого блока АЭС.

В настоящее время на вновь открытой специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций» обучается три

набора студентов. Студенты третьего курса этой специальности проходят первую технологическую практику на электрических станциях Республики Беларусь. Прохождение второй технологической практики в следующем учебном году планируется на атомных станциях Российской Федерации.

Также в текущем учебном году сделана вся подготовительная работа по открытию двух новых специальностей на основе существующей специальности 1-53 01 04.

УДК 621.3

Некоторые аспекты задачи управления энергоэффективностью

Петруша Ю.С.

Белорусский национальный технический университет

Категория энергоэффективности призвана квалифицировать уровень качества энергоиспользования на определенном этапе преобразования энергетических ресурсов. Качество энергоиспользования связано с количеством потребления энергоресурсов, но не ограничивается им, ибо задача преобразования энергоресурса определяется получением соответствующего продукта с регламентированными параметрами. В энергетике качество конечного продукта определяется соблюдением требований таких категорий, как функциональность, надежность, экономичность и экологичность (ФНЭЭ) процессов выработки и доставки электро- и теплоэнергии и обеспечивающего эти процессы оборудования.

С той или иной степенью терминологической адаптации требования функциональности, надежности, экономичности и экологичности покрывают спектр критериев качества продукции в сфере потребления тепловой и электрической энергии. Это позволяет говорить о единой идеологии оценки энергоэффективности или эффективности энергоиспользования.

Естественный конфликт между требованиями функциональности, надежности, экономичности и экологичности не допускает получения однозначного количественного определения энергоэффективности, а лишь позволяет качественно описать условия ее достижения:

- технологичность используемых оборудования и процессов;
- допустимая оптимальность режимов эксплуатации;
- поддержание эксплуатационных характеристик.

В этом случае категория энергоэффективности имеет признаки задачи управления с присущими атрибутами и наработанной методологией поиска решений.

Формирование/построение адекватной модели/оценки анализа энергоэффективности на разных стадиях преобразования энергоресурсов предполагает:

- устранение пережитков идеологизированного «энергосбережения»;
- исключение применения принципа нормирования «от достигнутого»;
- переход к отраслевому подходу построения над корпоративного управления энергоиспользованием.

УДК 621.311

Совершенствование методики компенсации реактивной мощности в электрических сетях

Прокопенко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре “Электрические системы” БНТУ разработана методика определения мощности и мест установки компенсирующих устройств в электрических сетях, которая многократно применялась в практических расчетах при выполнении научно-исследовательских работ, используется она и в учебном процессе в дипломном проектировании.

Основу методики составляют два алгоритма: оптимизации режима энергосистемы за счет существующих средств регулирования напряжения и реактивной мощности и определения мощности и мест установки компенсирующих устройств.

Многочисленные расчеты по компенсации реактивной мощности, проведенные для разных схем сетей показали, что при оптимизации режима сети за счет существующих средств регулирования напряжения и реактивной мощности наблюдаются некоторое снижение потерь мощности и энергии в сети, но при этом возрастают напряжения узлов, достигая допустимых значений, как следствие, установка дополнительных компенсирующих устройств оказывается невозможной, хотя по экономическим соображениям это целесообразно.

Предлагается изменить методику компенсации реактивной мощности и проводить расчеты по следующей схеме:

- делается оптимизационный шаг по изменению существующих переменных (коэффициентов трансформации, реактивных мощностей источников) и рассчитывается соответствующий эффект;
- учитывается дополнительная мощность компенсирующих устройств и рассчитывается экономический эффект;
- на основе сравнения экономической эффективности выбирается более оптимальное решение;
- новый режим принимается за исходный и расчет повторяется до окончательного решения задачи.

Предложенное изменение в методике компенсации реактивной мощности позволяет значительно уточнить решение задачи и добиться большего снижения потерь мощности и энергии в электрических сетях.

УДК 621.311

Модель адаптивного сглаживания с отсчетом времени от конца предыстории как модель детерминированной основы одномерного временного ряда

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.

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 квадратов. Принимаемый способ взвешивания обеспечивает постепенное «забывания» устаревающей информации благодаря тому, что доля членов ряда в минимизируемой

сумме наименьших квадратов зависит от экспоненциальной функции времени с основанием степени меньше 1. Скорость забывания определяется задаваемым извне параметром – постоянной сглаживания.

УДК 621.311

Развитие метода адаптивного сглаживания для применения в задачах прогнозирования графиков

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).

Такая 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. Вузov СССР. Сер. энерг., 1979, № 12.

Теплоэнергетика

Учет характеристик присоединенной тепловой сети при выборе параметров теплофикационных отборов турбин для улучшения показателей ТЭЦ

Карницкий Н.Б., Шкода А.Н.

Белорусский национальный технический университет

Несмотря на рост жилищного строительства в городах Беларуси, в существующих рыночных условиях сократились объемы отпуска теплоты от ТЭЦ. Этому способствуют: создание автономных источников энергоснабжения, развитие когенерации на базе мелких установок и т.п. Следует назвать также важнейшие факторы, затрудняющие развитие ТЭЦ: отсутствие комплексного городского проектирования холодо- и теплоснабжения, недостаток знаний о преимуществах ТЭЦ, отсутствие согласованной методики оценки энергетических и экологических достоинств ТЭЦ.

Несколько иное отношение к развитию ТЭЦ в странах ЕС:

- по некоторым прогнозам в Европе доля ТЭЦ к 2025 г. может превысить 17 %;
- в Германии к 2020 г. доля ТЭЦ увеличится до 25 % (вдвое по сравнению с современным уровнем – 20840 МВт), а экономически целесообразная их доля оценена в 50 %;

Предпосылками, расширившими зону теплофикации являются:

- появление новых эффективных типов оборудования (ПГУ) для ТЭЦ на газе, модернизированных паровых турбин с многоступенчатым подогревом сетевой воды, устанавливаемых взамен демонтируемого энергооборудования;
- введение контроля за выбросами парниковых газов, что объективно повышает эффективность комбинированной схемы энергоснабжения.

Проведенные расчеты тепловых схем типовых паровых теплофикационных турбоустановок Т-100-12,8 и Т-250-23,5 показывают, что при перераспределении тепловой нагрузки регулируемых отборов путем повышения нагрузки нижнего отбора на величину нагрузки горячего водоснабжения (15-20 % от расчетной) может быть достигнуто снижение удельного расхода условного топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии на ТЭЦ примерно на 2 %.

Применение на одной из трех турбин Т-250/300-23,5 Минской ТЭЦ-4 лопаток последней ступени высотой $l_л=830$ мм вместо 940 мм позволяет снизить потери на трение и вентиляции на 0,6–1,0 МВт и увеличить тепловую нагрузку турбины примерно на 40 ГДж/ч.

Выработка тепловой и электрической энергии на местных топливах

Жихар Г.И., Асташов Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Замещение местными видами топлива и горючими отходами производства импортируемых природного газа, нефтепродуктов и угля является основной задачей энергетики Беларуси. В связи с ростом цен на традиционные импортируемые энергоносители и повышением себестоимости производственной продукции в Республике Беларусь ведется поиск местных альтернативных источников энергии. Одним из таких, пожалуй наиболее эффективных источников является биотопливо. Дров и древесных отходов, которые можно использовать в качестве топлива, в республике достаточно.

Для потребления местных топлив строятся новые котельные и мини-ТЭЦ, либо переоснащаются уже имеющиеся.

Первая мини-ТЭЦ, работающая на древесном топливе мощностью 1,5 МВт построена в Осиповичах.

В 2006 г. была построена Вилейская мини-ТЭЦ, на которой установлено следующее основное оборудование: котлоагрегат КЕ-25-25-350 (ЗАО «Axis Industries», Литва), работающий на древесном топливе. Котлоагрегат имеет следующие параметры:

- номинальная паропроизводительность – 22 т/ч;
- температура перегретого пара – 350 °С;
- давление перегретого пара – 2,4 МПа.

Турбогенератор Р-24-24/0,15 номинальной электрической мощностью 2,4 МВт.

Заготовка и доставка древесного топлива на мини-ТЭЦ осуществляется предприятиями Министерства лесного хозяйства.

В конце декабря 2009 г. введена в эксплуатацию Пружанская ТЭЦ с современной технологией сжигания древесного топлива и торфа. Для сжигания топлива применена коническая колосниковая решетка, разработанная финской фирмой «Wartsila». Установленная электрическая мощность ТЭЦ составляет 3,7 МВт, тепловая – 58 Гкал/ч. В настоящее время в Беларуси энергетические установки, работающие на местных топливах, построены и в других городах страны.

В перспективе в Беларуси будет построено большое количество энергоустановок, использующих местное топливо. Поэтому в настоящее время необходимо определить наиболее надежные и эффективные проекты этих установок применительно к условиям Беларуси.

Экологическое сравнение реакторов типа БН и ВВЭР

Карницкий Н.Б., Жарковская Х. А.

Белорусский национальный технический университет

Общая тенденция роста энергопотребления усиливает зависимость большинства стран от импорта нефти и природного газа, обостряет конкуренцию за доступ к источникам энергоресурсов, порождает угрозу глобальной безопасности. Одновременно возрастает озабоченность экологическими последствиями производства энергии, в первую очередь из-за опасности недопустимого загрязнения атмосферы выбросами продуктов сжигания углеводородного топлива. Атомная энергетика могла бы уже сейчас взять на себя значительную часть прироста мировых потребностей в топливе и энергии. Сегодня она обеспечивает около 6% мирового потребления энергии, в основном электрической, где ее доля составляет около 18% (в России - около 16%).

Для более широкого использования ядерной энергии, с тем чтобы она стала основным базовым источником энергии уже в текущем столетии, необходимы несколько условий:

- во первых, атомной энергетике безусловно нужно отвечать требованиям гарантированной безопасности для населения и окружающей среды, дабы избежать аварий подобных Чернобылю и Фукусиме;

- во вторых, по технико-экономическим показателям атомная энергетика должна не уступать лучшим источникам энергии на углеводородном топливе.

Для сравнения взяты 2 принципиально различных вида реакторов водородной энергетической реактор (ВВЭР) и реактор на быстрых нейтронах (БН).

Реакторы ВВЭР являются самым распространенным типом реакторов в России. Весьма привлекательны дешевизна используемого в них теплоносителя-замедлителя и относительная безопасность в эксплуатации, несмотря на необходимость использования в этих реакторах обогащенного урана. Из самого названия реактора ВВЭР следует, что у него и замедлителем, и теплоносителем является обычная легкая вода. В качестве топлива используется обогащенный до 4,5% уран.

Другим видом реакторов являются реакторы на быстрых нейтронах. Нейтронно-физические особенности такого реактора таковы, что образуется сравнимо малая доля отходов. Поэтому он является наиболее экологичным. Однако существуют инженерные сложности создания «быстрых» реакторов, а так же проблемой является высокая стоимость возведения и эксплуатации.

Выбор схем ПГУ при реконструкции или расширении ТЭС с учетом их графиков нагрузки

Качан С.А., Барановский И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Исходя из потребностей регулирования нагрузок энергосистемы, при выборе решений по реконструкции и обновлению морально и физически изношенного оборудования ТЭС необходимо учитывать режимы его работы в годовом и суточном разрезе, т.е. обеспечивать повышение не только экономичности, но и маневренных характеристик установок.

ПГУ утилизационного типа (УПГУ) обладают наибольшим электрическим КПД (от 50...55 до 57...60%) среди установок, использующих органическое топливо, при высоких показателях маневренности (скорость изменения нагрузки выше, а длительность пуска и пусковые потери ниже, чем у традиционных паросиловых установок (ПСУ)).

Для снижения технического минимума УПГУ (величина которого несколько выше, чем у ПСУ) целесообразно применять многовальные установки. Так при переходе от одновальной к трехвальной и четырехвальной схемам (дубль-блок и трипл-блок) при останове одной или нескольких ГТУ технический минимум снижается с ~50 до 25 и 17% соответственно.

ПГУ сбросного типа (СПГУ) имеют электрический КПД на 8...12% (абс) ниже, чем УПГУ, поэтому их более целесообразно применять при реконструкции действующих ТЭС с минимальными капитальными вложениями, т.е. с использованием существующей ПСУ, остаточный ресурс которой сопоставим с ресурсом ГТУ. Преимуществом СПГУ при использовании их в переменном режиме являются увеличение КПД при разгрузке (за счет роста степени бинарности при снижении мощности ПСУ), а также возможность снижения технического минимума за счет реализации специальных мер, обеспечивающих устойчивую работу пароводяного тракта.

Ввод теплофикационных УПГУ или газотурбинная надстройка действующих ПСУ на ТЭЦ позволяет повысить величину удельной выработки электроэнергии в 1,5...3 раза в зависимости от доли мощности газовой части. Реализация параллельной схемы, т.е. применение ГТУ с подачей пара от котла-утилизатора на существующую паровую турбину позволяет снизить требуемый объем реконструкции.

С целью расширения регулировочного диапазона на ПГУ-ТЭЦ возможно применение тех же решений, что и для ПСУ-ТЭЦ: вытеснение нагрузки отопительных отборов, аккумулятирование теплоты, разгрузка паровой турбины с использованием РОУ, ввод электрокотлов, а также специальных, например, дожигание топлива в котле-утилизаторе.

Дожигание топлива в котлах-утилизаторах как путь повышения маневренности парогазовых установок

Качан С.А., Барановский И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Дожигание топлива в котлах-утилизаторах (КУ) парогазовых установок (ПГУ) обычно применяется с целью стабилизации параметров газов на входе в КУ и наиболее распространено для газотурбинных установок (ГТУ), температура уходящих газов которых недостаточно высока при номинальных условиях работы ГТУ и снижается при понижении температуры наружного воздуха. Дожигание позволяет повысить начальные параметры и расход генерируемого в КУ пара, что увеличивает мощность паровой турбины в составе ПГУ, а также снижает конечную влажность отработавшего пара.

Дожигание топлива в КУ приводит к снижению КПД утилизационных ПГУ (УПГУ), построенных на базе современных ГТУ (с КПД выше 30%). Тем не менее, его можно рассматривать как достаточно эффективный способ получения дополнительной (пиковой) мощности в энергосистеме.

Например, по данным исследований ИГЭУ для УПГУ конденсационного типа мощностью 400 МВт (аналог сооружаемой ПГУ МТЭЦ-5) дожигание ~6,8% топлива позволяет повысить мощность УПГУ примерно на 22,5 МВт (~5,4%). Не смотря на снижение электрического КПД на ~0,4% (абс.), удельный расход условного топлива (УРТ) на получение дополнительной мощности составляет порядка 260 кг у.т./(МВт.ч), что ниже аналогичного показателя существующих конденсационных блоков Белорусской энергосистемы.

На парогазовых теплоэлектроцентралях (ПГУ-ТЭЦ) дожигание топлива в КУ может также использоваться для повышения отпуска теплоты внешним потребителям (коэффициент теплофикации $\alpha_{ТЭЦ} = 1$). Например, на ПГУ-ТЭЦ «Nossener Brücke» в г.Дрездене (Германия) за счет двойного дожигания в КУ (перед пароперегревателем и сетевым подогревателем) можно увеличить электрическую мощность почти на 10%, а тепловую – в 2 раза. На ПГУ-ТЭЦ Руа в г.Гетеборге (Швеция) за счет однократного максимального дожигания перед КУ мощность паровой турбины увеличивается практически вдвое с соответствующим увеличением отпуска теплоты.

Таким образом, за счет дожигания топлива в КУ можно без изменения количества генерирующих единиц в энергосистеме получить дополнительную (пиковую) мощность с достаточно низким УРТ при минимальных дополнительных капитальных вложениях.

**Оптимизация САР с дифференциатором для объектов
в виде инерционного звена n -го порядка**

Корзун М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Наибольшее распространение в области автоматизации технологических процессов получили двухконтурные САР с дифференциатором. Определение оптимальных параметров динамической настройки (ОПДН) производится традиционными методами: дифференциатор – методом полной компенсации (МПК) по передаточной функции (ПФ) инерционного участка (ИУ) объекта регулирования (ОР) для отработки внешнего возмущения f_2 ; ПИ-регулятор – методом частичной компенсации по ПФ опережающего участка ОР для отработки внутреннего возмущения f_1 [1]. Лучшее качество регулирования в САР при отработке f_2 достигается для объектов в виде инерционного звена (ИЗ) 1-го порядка с запаздыванием, т.к. формулы МПК были выведены для таких объектов. Теплоэнергетические ОР, например пароперегреватели энергетических котлов, – это последовательно соединенные ИЗ 1-го порядка. Для расчета ОПДН дифференциатора они аппроксимируются ПФ 1-го порядка с запаздыванием, используя традиционные методы расчета САР. В этом случае переходные процессы в замкнутых САР при отработке f_2 для объектов, ИУ которых представлен в виде ИЗ n -го порядка с одинаковыми постоянными времени T_0 , имеют большое время регулирования (t_p) и степень затухания $\psi < 0,8$.

Для устранения недостатка исходную ПФ ИУ n -го порядка представим в виде ИЗ 1-го порядка с запаздыванием. Время разгона - $T_1 = T_0 \sqrt{n}$; запаздывание - $\tau_1 = nT_0 - T_1$ [2]. Если значение постоянной времени $T_1 >$ запаздывания τ_1 , то расчет оптимальных ПНД дифференциатора производим по МПК: $T_d = T_1$; $k_d = T_1 / (2k_{ин} \tau_1)$, где $k_{ин}$ – коэффициент передачи ИУ ОР. Если $\tau_1 > T_1$, то ПНД дифференциатора определяют: $T_d = \tau_1$; $k_d = \tau_1 / (2k_{ин} T_1)$, где T_d – время дифференцирования; k_d – коэффициент передачи дифференциатора.

Использование предложенного метода оптимизации САР с ИЗ n -ой порядка при отработке f_2 может уменьшить полное t_p в 2 раза, увеличить степень затухания ψ с 0,78 до 1,0; max величина регулирующего воздействия сокращается на 30%.

Литература

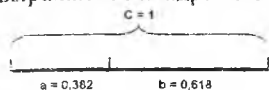
1. Кузьмицкий, И.В. Теория автоматического управления: Учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн.: БГТУ, 2010. – 574 с.
2. Власов-Власюк, О.Б. Экспериментальные методы в автоматике. – М.: Машиностроение, 1969. – 412 с.

Оптимизация САР ТП ТЭС с использованием фекомена золотого сечения

Корзун М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Золотое сечение – деление непрерывной величины на две части в таком отношении, при котором меньшая часть так относится к большей, как большая ко всей величине: $a:b = b:c$. Отношение частей в этой пропорции выражается квадратичной иррациональностью: $\varphi = (\sqrt{5}+1)/2 \approx 1,618$.



Настройка САР с дифференциатором производится следующими методами: дифференциатор настраиваем по методу полной компенсации в частном виде; ПИ-регулятор – по методу частичной компенсации. Используя свойства золотого сечения можно внести корректировки в формулы для настройки САР (таблица 1).

Таблица 1 – Формулы настройки САР с дифференциатором

Традиционные методы	Формулы с учетом правила золотого сечения
$k_a = \frac{2 \cdot k_{ин} \cdot \tau_y}{T_k}; T_d = T_k;$ $T_{зд} = \tau_y;$ $A_1 = 2,539; A_2 = 1,853$	$k_a = \frac{k_{ин} \cdot (T_{зд} + \tau_y)}{T_k}; T_d = T_k;$ $A_1 = 2,618; A_2 = 1,854$
<p>T_d – время дифференцирования, T_k – постоянная времени инерционного участка (ИУ), $T_{оп}$ и $T_{оп}$ – постоянные времени опережающего участка (ОУ), $T_{и}$ – время интегрирования; k_p, k_d, $k_{оп}$, $k_{ин}$ – коэффициенты усиления регулятора, дифференциатора. ОУ, ИУ; A_1, A_2 – коэффициенты Вышнеградского</p> <p>Т.к. A_1, A_2 изменились, то изменятся формулы настройки регулятора.</p>	

Для сравнения построим графики переходных процессов при обработке внешнего возмущения для трех вариантов: 1) базовый; 2) $T_{зд} = 1,618\tau_y$; 3) $T_{зд} = 1,382\tau_y$ (2-й и 3-й вариант с учетом изменившихся коэффициентов Вышнеградского для настройки регулятора). Результаты оптимизации показали, что время регулирования уменьшилось на 50 % и на 30 % для второго и третьего методов относительно базового; σ_{max} величина регулирующего воздействия на 29 % и на 14 % соответственно; степень затухания увеличилась с 0,95 до 0,98 и 1,0 соответственно.

Литература

1. Сороко, Е.М. Золотое сечение, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонизированных систем – М.: Ком-книга, 2006. – 264 с.

Способ уменьшения параметров оптимальной динамической
настройки ПИД- алгоритмов регулирования

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Одним из основных методов улучшения качества регулирования технологических процессов является использование ПИД-регуляторов, которые имеют три параметра динамической настройки (коэффициент передачи, время интегрирования и время дифференцирования). ПИД-регуляторы обладают максимальным быстродействием: обрабатывают скачок задания в зависимости от принятой зоны нечувствительности регулятора за четыре – пять запаздываний по каналу регулирующего воздействия.

Так, например, использование регулятора Ресвика [1] позволяет существенно повысить быстродействие регулятора для объектов с большим запаздыванием по каналу регулирующего воздействия.

Алгоритм регулятора Ресвика представляет собой последовательное соединение звена с передаточной функцией обратно пропорциональной той части передаточной функции объекта регулирования, которая не содержит запаздывания, с пропорциональным звеном, коэффициент усиления которого равен единице и охвачен положительной обратной связью в виде последовательного звена с коэффициентом передачи, равным β и звеном чистого запаздывания объекта по каналу регулирующего воздействия. При условии приближения коэффициента β к единице регулятор Ресвика приближается к идеальному ПИД-алгоритму регулирования. Однако при $\beta = 1$ система автоматического регулирования (САР) теряет устойчивость.

Для устранения этого недостатка предлагается в структурной схеме регулятора Ресвика принять $\beta = 1$, но дополнительно ввести на входе фильтр в виде инерционного звена первого порядка с временем разгона, равным заданному значению времени разгона оптимального переходного процесса (ОПП) в САР при обработке скачка задания.

В результате чего реализуется устойчивый ПИД-алгоритм регулирования с одним параметром динамической настройки $T_{зд}$ – заданное время экстремали ОПП по задающему воздействию, позволяющий существенно улучшить качество регулирования и сократить время наладки системы регулирования.

Литература

1. Гурецкий, Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1971. – 328 с.

Оптимизация САР с дифференцированием промежуточного сигнала

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Басалай Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Типовая САР температуры перегретого пара ($t_{п.п.}$) за котлом представляет собой двухконтурную систему с ПИ-регулятором и дифференцированием температуры перегретого пара за местом впрыска питательной воды.

Для расчета параметров оптимальной динамической настройки САР необходимо расчетным или экспериментальным путем определить передаточные функции (ПФ) опережающего и инерционного участков пароперегревателя. При этом настройка дифференциатора осуществляется по методу полной компенсации в частном виде (МПК ЧВ) [1].

Типовая САР с дифференциатором не может существенно улучшить качество регулирования при основных воздействиях даже при оптимальных настройках. Предлагается заменить дифференциатор на разность двух моделей: неполной – в виде той части ПФ инерционного участка, которая не содержит запаздывания, полной – инерционного участка с запаздыванием (модифицированный упредитель Смита).

Параметры настройки основного регулятора (ПИ- или ПИД-) определяют по ПФ главного участка объекта без учета запаздывания по каналу регулирующего воздействия МПК при коэффициенте демпфирования равном единице.

Использование ПИ-регулятора в предложенной схеме при обработке скачка задания сокращает время регулирования в 1,9 раза, а ПИД-регулятора – в 3,1 раза. При этом степень затухания переходных процессов близка к единице. Величина перерегулирования в системе с ПИД-регулятором составляет 12 %. Полное время регулирования при обработке внешнего возмущения сокращается для ПИ-регулятора в 1,9 раза, а ПИД-регулятора – в 3,5 раза.

При этом использование ПИД-регулятора позволяет уменьшить интегральную квадратичную оценку качества переходного процесса в 2 раза. Дополнительный дифференциатор инвариантности позволяет обрабатывать внутренние возмущения в пределах зоны нечувствительности регулятора.

Литература

1. Кузьмицкий, И.В. Теория автоматического управления: Учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Мн.: БГТУ, 2010. – 574 с.

Коррозионная агрессивность продуктов сгорания местных видов топлив

Замара С.М.

Белорусский национальный технический университет

На котле КЕ-10-2,4-300 ОГВМ ст.№1 Осиповичской мини-ТЭЦ по экспресс-методу предложенному Южтехэнерго определялась коррозионная агрессивность продуктов сгорания (КАПС) при сжигании смеси древесного топлива и торфа с помощью коррозионного зонда.

Основным коррозионным агентом в котлах, сжигающих топливо содержащее серу, является серный ангидрид SO_3 . На генерацию SO_3 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. Поскольку варьирование (изменение) некоторых из этих факторов не представлялось возможным: по режимным факторам работы котла, длительности по времени в стабилизации режимов, отсутствия однородности по фракции сжигаемых топлив, постоянно изменяющейся (плавающей) рабочей влажности древесного топлива в смеси, определение зависимости изменения величины КАПС проводилось от тепловой нагрузки котла.

Датчик коррозионного зонда изготовлен из цинка, поскольку в золе сжигаемой смеси 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.

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

В условиях длительной эксплуатации данного типа котлов на Осиповичской мини-ТЭЦ затруднительно сделать выводы о влиянии коррозионной и агрессивности продуктов сгорания на прямые потери металла воздухоподогревателя, снижение экономичности котельных установок, планировании ремонтно-восстановительных работ. Это связано, в первую очередь с тем, что твердое топливо, поставляемое на мини-ТЭЦ, различно как по влажности, зольности, фракциям, так и по содержанию серы. Во-вторых, период между расшлаковками котельной установки составляет не более одного месяца, и во время этих остановов проводится техническое обслуживание котельной установки в целом.

Механические способы очистки тепломеханического оборудования ТЭС

Чиж В.А., Нерезько А.В.

Белорусский национальный технический университет

В процессе эксплуатации теплоэнергетического оборудования на теплообменных поверхностях нагрева неизбежно происходит образование отложений и для обеспечения надежной и экономичной работы данного оборудования требуются периодических очисток поверхностей, контактирующих с теплоносителем.

В настоящее время все большую популярность приобретают физические способы очистки поверхностей нагрева от отложений.

Среди наиболее распространенных физических способов очистки можно выделить механическую очистку, гидроструйную очистку, гидрокавитационный способ, гидромеханический способ, электрогидроструйный способ, метод шариковой очистки, метод очистки водовоздушной смесью, термическую сушку. Ни один из перечисленных методов не отвечает в полной мере приведенным выше требованиям, так как при проведении очисток необходимо учитывать дополнительные факторы: конструкцию теплообменников, материал трубок и их расположение, состав отложений, наличие полностью забитых отложениями трубок и их количество, тип теплообменного оборудования, допустимые сроки очистки: коррозионное состояние трубок теплообменников, стоимость очистки в сопоставимых ценах.

Накопленный опыт проведения очисток оборудования физическими методами позволяет отметить ряд присущих им недостатков.

Механическая очистка щетинистыми ершами, цилиндрическими или воронками, струей воды под давлением, в отдельных случаях с примесью песка проста, не требует дорогого и громоздкого оборудования, но может приводить к утонению и повреждению трубок, не гарантирует качества очистки.

Применение гидроструйного, гидрокавитационного, электрогидроструйного методов очистки требует больших затрат энергии, имеет низкую скорость и неравномерность очистки поверхностей от отложений связано с опасностью воздействия струи воды высокого давления на стенку трубы (часто изношенную и истонченную).

Метод шариковой очистки имеет ограниченную область применения – конденсаторы паровых турбин. Термическая и вакуумная термическая сушка могут применяться только от отложений, обладающих способностью к растрескиванию и отслаиванию при высыхании.

Оценка влияния температуры на скорость ползучести высокотемпературных элементов паровых турбин и паропроводов

Герасимова А.Г., Криксина Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Наибольшее ограничение ресурса, обусловленное длительным воздействием высокой температуры, характерно для паропроводов и частей турбин высокого и среднего давления, которые под воздействием постоянных во времени напряжений подвержены явлению ползучести. Длительная эксплуатация в условиях ползучести приводит к накоплению в металле повреждений в виде пор и разрыхлений, которые впоследствии сливаются в макротрещину.

В зависимости от рабочей температуры различают несколько видов ползучести. При этом температура, равная температуре рекристаллизации металла является определяющей при установлении вида ползучести. Так как ползучесть не является элементарным процессом, определяемым единственным механизмом деформации, то трудно определить истинную энергию активации процесса. Поэтому экспериментально определяют кажущиеся величины энергии активации.

Ползучесть в высокотемпературной области обусловлена механизмом, зависящим от самодиффузии металлов. Коэффициент самодиффузии стали, как многокомпонентного сплава железа с легирующими элементами, можно приближенно определить из формулы

$$D_{sd} = \frac{1 - x_1}{\frac{x_2}{D_{sd12}} + \frac{x_3}{D_{sd13}} + \frac{x_4}{D_{sd14}} + \dots + \frac{x_n}{D_{sd1n}}}, \quad (1)$$

где $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ – процентное содержание компонентов сплава; $D_{sd12}, D_{sd13}, D_{sd14}, \dots, D_{sd1n}$ – коэффициент самодиффузии компонента 1 в смеси с компонентом 2, в смеси с компонентом 3 и т.д. В состав сталей, применяемых при высоких температурах, обычно входят такие тугоплавкие металлы как Cr, Ni, Mo и W. Наличие этих элементов в составе сплавов является одной из причин, обуславливающих снижение коэффициента самодиффузии D_{sd} , который по границам зерен обычно на два порядка выше, чем в теле зерна. По этим границам в дальнейшем происходит наиболее интенсивный рост пор, за счет их слияния и диффузии из тела зерна, перерастание их в трещины.

Применение крупнозернистых сталей способствует уменьшению протяженности границ зерен и снижает ползучесть.

Имея зависимость $D_{sd}=f(t)$ можно более точно оценить ресурсные характеристики применяемых сталей.

Анализ вариантов центрального хладоснабжения жилых районов

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

Централизованное холоднооснабжение – это система, в которой охлаждаемая вода распределяется по трубам от центральной станции к зданиям, для охлаждения помещений и на технологические нужды. Система централизованного холоднооснабжения состоит из трех основных элементов: источника охлаждения, системы распределения и потребителя.

Географическое местоположение Ирака характеризуется большим числом ясных дней. Климат Ирака субтропический средиземноморский с жарким сухим летом и теплой дождливой зимой. Наиболее выражены два сезона: продолжительное жаркое лето (май–октябрь, температура свыше $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) и более короткая прохладная, а иногда холодная зима (декабрь–март, температура около $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Потребность в охлаждении воздуха внутри жилых и офисных помещений начинается в середине апреля и продолжается до середины октября. Кроме потребности в кондиционировании воздуха, появляется увеличенная потребность в бытовых системах охлаждения (для охлаждения питьевой воды и других напитков и фруктов, для хранения пищевых продуктов и овощей, и для изготовления льда и т.д.).

Для анализа вариантов систем централизованного холоднооснабжения для климатических условий Республики Ирак, было рассмотрено 4 варианта:

- вариант 1 – применение парокомпрессионных холодильных машин (ПКХМ), как наиболее широко используемого типа системы охлаждения;
- вариант 2 – применение ПКХМ с производством электроэнергии от собственной ГТУ;
- вариант 3 – применение ПКХМ с приводом от паровой турбины, пар для которой генерируется в котле-утилизаторе, использующем теплоту отработавших газов в ГТУ;
- вариант 4 – применение водоаммиачных абсорбционных холодильных машин (АВХМ) использующих для производства холода теплоту отходящих газов ГТУ.

Сравнение вариантов проводилось по критерию системной эффективности. Дополнительно учитывались экологические аспекты. Результаты расчетов показали, что наибольшим системным эффектом обладает строительство системы централизованного холоднооснабжения по варианту 4, однако он обладает наибольшим экологическим воздействием и может иметь ограничения по применению в городах с тяжелой экологической обстановкой.

Создание энерготехнологических комплексов на промышленных предприятиях с применением паротурбинных установок с органическим теплоносителем

Седнин А.В., Богданович М.Л., Седнин А.А.
Белорусский национальный технический университет

Вопросу полезного использования низкопотенциальной теплоты различных источников в последнее время уделяется все больше внимания, что вызвано повышением цен на углеводородное сырье, а также вопросами глобального потепления.

Часто, технология производства, применяемая на различных промышленных предприятиях, предусматривает выброс большого количества тепловых потоков в окружающую среду. ВЭР возникают при естественном протекании технологических процессов и представляют собой, как правило, потоки жидких и газообразных сред с температурой 90–400 °С. Это обстоятельство является предпосылкой производства электроэнергии из большого количества сбросной теплоты.

Для производства электроэнергии с использованием низкопотенциальной теплоты предлагаются различные технологии, среди которых широкое применение нашли паротурбинные установки, работающие с органическим теплоносителем (ОРТ). Установки с органическим теплоносителем (ОРЦ-установки) работают по традиционной схеме обычных паросиловых установок на водяном паре, и включают в себя: парогенератор (испаритель), турбину, конденсатор, регенеративный подогреватель, питательный насос. Для ОРЦ установок в качестве рабочего тела применяется органический теплоноситель, характеризующийся более низкой температурой кипения, чем у воды, что позволяет понизить температуру испарения. При этом количество веществ, которые могут применяться в качестве рабочего тела для ОРЦ-модулей весьма значительное.

При выборе варианта установки ОРЦ модуля, как правило, решают следующие задачи:

- выбор рабочего тела, которое наиболее оптимально подходит для конкретных внешних условий;
- выбор оптимальных параметров цикла ОРЦ-установки, в первую очередь начального давления и температуры;

При фиксированных параметрах источника теплоты (ВЭР) оптимальная начальные параметры ОРЦ-установки должны определяются из условия максимального значения эффективной мощности турбины или мощности нетто всего модуля, при учете расхода электроэнергии на привод насоса оборотной (охлаждающей) воды.

Особенности аэродинамики факела при одностороннем и встречном расположении горелок

Тарасевич Л.А., Кузмич В.О.

Белорусский национальный технический университет

Современные котлоагрегаты имеют различное число и размеры горелочных устройств, а также различную компоновку размещения их на стенах. В связи с этим актуальным является изучение влияния относительных межгорелочных и межъярусных расстояний горелок, их расстояний от примыкающих стен, глубины топки на надежную и устойчивую работу топочного устройства.

Исследование аэродинамики факела одиночной горелки (при отключении крайних горелок фронтальной стенки) показало, что распределение осредненных компонент вектора скорости и избыточной температуры несимметрично относительно оси, хотя аэродинамическая ось факела совпадает с геометрической осью горелки. С удалением от устья горелки асимметрия потока уменьшается. В приосевой области факела имеется осевой обратный ток, максимальное количество рециркулирующих газов составляет примерно 3%. Факел сомкнутый, угол раскрытия примерно 45°, а его дальность, приблизительно $3,5D_{\text{амбразуры}}$.

При работе трех вихревых горелок, расположенных одноярусно, аэродинамика факела характеризуется сложным пространственным полем скорости и давления. Область развития струй в плоскости горелок условно можно разделить на две зоны:

- от устья горелки до границы пересечения соседних струй (начало взаимодействия);
- совместного движения струй до полного затухания.

В случае спутного направления вращения потоков в межгорелочной области уровень тангенциальной скорости повышается. При противоположном направлении вращения потоков между горелками в точке взаимодействия струй тангенциальная скорость меняет направление вращения и, естественно, принимает нулевое значение.

Включение горелок задней стенки оказывает заметное влияние на распределение осредненных значений скорости, давления и температуры. Повышается так же уровень статического давления и избыточной температуры. При работе встречно расположенных горелок максимальные избыточные температуры и характер их падения по \bar{x} заметно отличаются только на основном участке факела после $\bar{x} \approx 2$.

Тарасевич Л.А., Кузмич В.О.

Белорусский национальный технический университет

Устройства испарительного охлаждения известны достаточно давно и широко применяются. Наиболее распространёнными являются водохранилища, брызгальные бассейны, градирни. Градирни, представляя компактные устройства, нашли наиболее широкое применение.

Однако существует альтернатива даже для таких компактных устройств испарительного охлаждения как вентиляторные градирни. Это прямоточные распылительные охладители. Конструктивно они представляют собой струйный насос, движущей средой в котором является вода, движимой – охлаждающий воздух. При этом направление движения сред – прямоточное восходящее.

К достоинствам этого типа охладителей следует отнести:

- Практически не существует ограничения по максимальной скорости движения потока газов в отличие от градирен, где скорость воздуха должна быть не более скорости витания капли воды;
- Отсутствие необходимости насадки значительно упрощает конструкцию, увеличивая при этом надёжность, обеспечивает удобство эксплуатации и ремонта;
- Однородность соотношений расходов потоков по сечению в отличие от градирен, где присутствуют зоны с низкими удельными расходами воздуха, что ведет к значительным различиям в тепло-массообмене в разных слоях оросителя;
- Саморегулирование системы. Это свойство системы обусловлено самой конструкцией. Так как движущей силой является энергия движения капель воды, то, соответственно, с уменьшением расхода воды уменьшается и расход воздуха (то есть коэффициент эжекции остаётся постоянным). Кроме того, при увеличении давления в напорной системе (для увеличения расхода воды) размер получаемых капель воды уменьшается, а значит поверхность увеличивается, что приводит к интенсификации теплообмена;

Так же немаловажен тот факт, что возможна модернизация уже существующих градирен. При этом уменьшаются капитальные вложения в установку, а экономический эффект весьма значителен.

В настоящее время рядом исследователей получены интересные результаты и сформулированы практические рекомендации по проектированию и выбору режимных параметров этих устройств.

Потребление энергии и энергосберегающий потенциал в системах преобразования вещества

Бобич А.А.

Белорусский национальный технический университет,
Коломыцкая Н.А., Романюк А.В.

РУП «Белорусский теплоэнергетический институт»

Структура использования энергоресурсов указывает на теплотехническую направленность: до 74 % первичных энергоресурсов в РБ расходуется в тепловой форме, в промышленном производстве – до 89 %. Для большинства промышленных производств очевидна определяющая роль промышленной теплоэнергетики в энергосбережении. Эффективность преобразования энергии топлива недостаточна. Энергетически идеальное предприятие – основа для решения задачи снижения энергоемкости ВВП.

Энергетически идеальное теплотехнологическое предприятие не должно потреблять электроэнергию, произведенную не на его тепловом потреблении. Структура генерации энергии для рассматриваемых систем далека от энергетически идеальной. На сегодня лишь небольшая часть 34 % промышленного потребления тепловой энергии обеспечивается комбинированным способом, при этом на распределенные собственные источники приходится до 12 %. Оставшиеся 66 % промышленного потребления тепловой энергии обеспечиваются за счет котельных. При этом на обеспечение промышленности тепловой энергией затрачивается до 62 % первичных энергоресурсов, в том числе 30,8 % в процессах непосредственного сжигания топлива.

Решение задачи повышения эффективности энергоиспользования теплотехнологических производств наименее затратно и результативно на базе природного газа в качестве первичного энергоресурса. Развитая газотранспортная сеть и инфраструктура в Республики Беларусь обеспечивают необходимые соответствующие условия.

Структура энергопотребления теплотехнологических предприятий такова, что они могут стать самодостаточными в вопросе электрообеспечения. На базе их теплотехнологического потребления возможно дополнительно генерировать энергетически и экономически наиболее эффективной когенерационным способом поток электроэнергии суммарной мощностью до 2 ГВт. Соответствующее снижение потребности в импорте природного газа составляет 3 млн т у. т., что обеспечивает и значительное снижение энергоемкости ВВП. При одинаковых результатах снижения энергоемкости ВВП с альтернативными вариантами требуются существенно меньшие инвестиции.

Инженерное обеспечение когенерационных комплексов

Муслина Д.Б., Бобич А.А.

Белорусский национальный технический университет

Двигатели внутреннего сгорания все более широко внедряются в энергетике, в т. ч. и в промышленной энергетике, что может обеспечить снижение потребления природного газа до 30–40 %. Последнее возможно лишь при должном инженерном обеспечении работы когенерационных систем, стабилизирующих их работу независимо от внешних условий эксплуатации. Важнейшими внешними факторами являются: неравномерные графики энергопотребления, состав сопрягаемого оборудования генерирующего и потребляющего тепловую энергию, структура требуемых теплоносителей, температура окружающей среды. Игнорирование роли перечисленных факторов ведет к потере эффективности применения комбинированной выработки электроэнергии.

Мощность когенерационных комплексов (КК) определяется годовыми графиками теплопотребления по целевой функции – снижение потребления природного газа и должна превышать среднюю мощность потребления межотопительного периода на величину, определяемую экономическими условиями. При этом важно учитывать характеристики сопрягаемых теплогенерирующих источников, которые не должны вытеснять КК на всех режимах потребления отопительного и межотопительного периодов.

Суточные графики теплопотребления определяют емкость, мощность устройств заряда и разряда тепловых аккумуляторов, которые должны быть для всей гаммы требуемых теплоносителей. Для аккумуляции пара наиболее приемлемы аккумуляторы Рутса, широко используемые в технически передовых странах.

Теплотехнология предприятия должна быть максимально адаптирована к структуре генерации когенерационных комплексов, прежде всего, в отношении структуры теплоносителей и режимов работы.

Обращаясь к статистике о средней продолжительности стояния температур воздуха различных градаций по данным архивов метеорологических станций Беларуси за период 2006–2008 годы можно констатировать, что за год в течение 2 тыс. часов температура окружающего воздуха превышает значение 15 °С. Эта температура является пороговой для всасываемого воздуха ГТУ: при ее превышении падают мощность на 10–20 %, КПД – на 2 %, уменьшается расход выхлопных газов от газотурбинной установки и увеличивается их температура. Целесообразна стабилизация характеристик ГТУ в межотопительный период с помощью тригенерации. Окупаемость проекта не превышает 1,5 сезонов.

Выбор мощности когенерационных комплексов на МВТ и их альтернативных технологий

Романюк В.Н., Турлович Е.И., Пузик В.В.
Белорусский национальный технический университет

Постановление Советом Министров Республики Беларусь № 206 от 19.02.2007 определяет необходимость увеличить потребление местных видов топлива (МВТ) до 25% потребления первичных энергоресурсов. Определяющим фактором перехода к МВТ является удаленность сырьевой базы от мест потребления, что оставляет за МВТ энергогенерирующие источники малой мощности поселков городского типа (ПГТ).

Другим определяющим фактором является выбор технологии использования МВТ. Возможно применение различных технологий:

- 1) Комбинированное энергоснабжение с применением паротурбинных комплексов: с водой в качестве рабочего тела и с органическим рабочим телом.
- 2) Комбинированное энергоснабжение по смешанной схеме использования топлив: когенерационная часть работает на природном газе (ПГ), пиковые теплогенерирующие мощности – на МВТ.
- 3) Автономное теплоснабжение на базе водогрейных котлов.

Вода в качестве рабочего тела имеет известные недостатки, усложняющие эксплуатацию и делающую ее неприемлемой для условий ПГТ. Переход к органическим рабочим телам (ОРТ) снимает ряд проблем эксплуатации, выдвигая новые, которые на первый взгляд кажутся более приемлемыми. Вытеснение ПГ из приходной части энергобаланса Беларуси имеет место. Однако в обоих случаях энергетические характеристики когенерационных комплексов невысоки и не снижают, а увеличивают энергоемкость ВВП. Экономическая целесообразность, как правило, отсутствует, а если и есть, то оказывается на пределе допустимых значений и в сильной мере зависит от плеча доставки МВТ.

Смешанная схема использования топлива оказывается наиболее компромиссной. Ее отличает энергетическая целесообразность: снижается энергоемкость продукции, т.е. имеет место и годовая экономия топлива, и вытеснение из баланса страны ПГ. Обеспечивается надежное теплоснабжение при отсутствии ПГ. В неотапительный период обеспечивается хорошая экологическая обстановка.

Автономное теплоснабжение на базе МВТ является экономически приемлемой альтернативой комбинированному паротурбинному использованию этих первичных ресурсов.

**Комбинированное производство энергопотоков
на предприятиях легкой промышленности**

Романюк. В. Н., Муслина Д. Б.

Белорусский национальный технический университет

Легкая промышленность является одной из важнейших составных частей промышленного комплекса Беларуси, выпуская 3,4 % объема продукции страны. В части непродовольственных товаров ее вес возрастает до 40 %, при этом до 72% всего энергопотребления приходится непосредственно на тепловую энергию. Наибольший интерес представляет текстильная отрасль как сырьевая база швейных, трикотажных и обувных предприятий. На ее долю приходится более трети объема производства отрасли. Важно, что она является наиболее энергоемкой отраслью легкой промышленности: энергетическая составляющая себестоимости превышает 10 %.

Теплотехнологии текстильного производства, связанные, прежде всего, с красильными и сушильными процессами, использующие пар невысоких параметров в течение всего года, в наибольшей степени отвечают требованиям комбинированного энергообеспечения. При этом более 74 % всей потребляемой тепловой энергии вырабатывается за счет прямого сжигания природного газа. В результате раздельного энергетически неэффективного и экономически дорогого энергообеспечения, на фоне непрерывного роста цен на энергоресурсы, энергетическая составляющая себестоимости продукции сказывается на конкурентоспособности предприятий легкой промышленности. Для решения задач энергосбережения и одновременного улучшения финансового положения предприятий требуется максимальное использование собственной комбинированной выработки электроэнергии на теплотехнологическом потреблении отрасли. Структура энергопотребления отрасли позволяет полностью обеспечить ее предприятия дешевой электроэнергией от собственных распределенных энергоисточников.

В этой связи целесообразен переход на комбинированную выработку энергопотоков, как правило, на базе газо-поршневых агрегатов (ГПА) с выработкой пара, сетевой воды и электрической энергии. Для достижения наибольшего числа часов использования когенерационных комплексов требуется комплекс мер по выравниванию суточного технологического потребления пара, связанного с режимом работы предприятий и залповым технологическим теплопотреблением, изменение структуры теплоносителей и пр. Полезно ввести в состав теплоэнергетической системы промышленного предприятия различные аккумуляторы. В результате обеспечивается экономией ПГ более 25% и, главное, улучшается финансовое положение предприятий.

Распределенные когенерационные источники и регулирование генерации электроэнергии

Коломыцкая Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Проблема неравномерных графиков электрической нагрузки общеизвестна и характерна для большинства энергосистем. Известны основные пути ее решения, среди которых являются создание оптимальной структуры энергогенерирующих мощностей и реализация ограничивающих и стимулирующих мер по привлечению потребителей электроэнергии к выравниванию графиков. В этом контексте представляет интерес рассмотрение использования потенциала распределенных когенерационных энерготехнологических источников, вырабатывающих электроэнергию на базе теплотехнологической нагрузки производства асфальтобетонной смеси (АБС).

Специфика асфальтобетонных заводов (АБЗ) в том, что при всей значимости и актуальности их продукции имеет место крайне неравномерный режим работы предприятий. Во-первых, АБЗ работают с конца апреля до конца октября, т.е. имеет место сезонный режим в противофазе отопительному сезону. Во-вторых, АБС выпускается только в светлое время суток, т.е. в часы наибольшей суточной загрузки энергосистемы. В ночное время АБЗ стоят. Такой график работы, как и суммарное количество заводов в стране, определяются требованиями укладки асфальтобетонного покрытия. Годовое число часов работы АБЗ, выпускающих асфальтобетонные смеси, находится на уровне 2,0 тыс. Очевидно, что экономические ограничения, связанные, например, со сроком возврата инвестиций, при существующей ситуации на рынке энергоресурсов не могут быть выполнены в случае такого низкого годового числа часов использования когенерационных мощностей с номинальной мощностью, определенного ранее $\approx 2,0$ тыс. часов. В этой связи оказывается незаменимым использование контейнерных когенерационных комплексных установок, допускающих их демонтаж, перевозку и установку на новом месте в течение 3-х рабочих смен.

В данном контексте можно предложить следующую схему использования когенерационных контейнерных модулей: в межотопительный сезон установки эксплуатируются на асфальтобетонных заводах, в оставшееся время отопительного сезона – на ближайших котельных, например, системы Минэнерго. В обоих случаях когенерационные комплексы выполняют роль пиковых мощностей, работая на асфальтобетонном заводе параллельно со штатной системой генерации сушильного агента, а в котельной — параллельно с существующими теплогенерирующими установками. Системные экономический и энергетический эффекты оказываются высокими.

Устройство шахтных колодцев

Айдарова З.Б.

Белорусский национальный технический университет

Шахтные колодцы предназначены для получения воды из ближайшего от поверхности постоянного водоснабжения горизонта при глубине его залегания до 15-20м. В плане колодцы делаются круглыми или прямоугольными. Их стены выкладываются деревом, камнем, но чаще всего делаются из сборных железобетонных колец. Обшивка должна надежно защищать шахту от попадания в нее поверхностных стоков. С этой целью бетонные кольца (или другой материал обшивки) плотно укладывается на цементный раствор.

В приповерхностной части колодца устраивается глиняный замок шириной 1м и глубиной 2м, с отмошкой из кирпича, камня, асфальта или бетона с уклоном 0.01, направленным от центра. Надземная часть сооружения-оголовок-поднимается не менее чем над 0,8м над поверхностью земли. При этом желательно, чтобы его высота превышала расчетную среднестатистическую толщину снежного покрова в данной местности (талые воды с поверхности земли не должны попадать в колодец). Оголовок должен закрываться.

Если предполагается использовать колодец в зимний период, конструкция в целом должна быть теплоизолирована. Для ее защиты от промерзания применяются только экологически безопасные и не впитывающие воду утеплители, например, пеноизол или пенополистирол. Запрещается использовать минераловатные и асбестовые утеплители, поскольку их мельчайшие волокна вредны для здоровья, а впитываемые пары воды резко снижают теплоизолирующие свойства утеплителя.

Водоприемная часть колодца должна проходить через слой воды и заглубляться в твердый пласт хотя бы на 0,5м, но не более 2м. В ее стенках для обеспечения большей проницаемости делаются отверстия. На дне создается обратный фильтр из уложенных слоев гравия, щебня, песка. Каждый слой должен иметь толщину не менее 20см. Для вентиляции колодца рекомендуется устанавливать вентиляционный стояк – это предотвратит возможное скапливание «вредных газов» в нижней части сооружения. Также предусматривается лестница для возможного ремонта или очистки колодца.

Для подъема воды и подачи ее в дом колодцы оборудуют либо устройствами ручного подъема воды, либо электрическими насосами различных типов.

Автоматизация систем теплоснабжения зданий

Айдарова З.Б.

Белорусский национальный технический университет

Известны три ступени регулирования в системе теплоснабжения:

1. Центральное регулирование на источнике теплоты (на ТЭЦ или в котельной).
2. Местное (в тепловом пункте здания).
3. Индивидуальное (у потребителя, например, на отопительном приборе). При этом чем ближе средства регулирования к объекту регулирования, тем выше их технологические возможности, так как отражают тепловой режим непосредственно у потребителя.

Наиболее простым, но эффективным устройством индивидуального регулирования является радиаторный терморегулятор. Терморегулятор состоит из регулирующего клапана, устанавливаемого на трубопроводе, подводящем теплоноситель к отопительному прибору однотрубной или двухтрубной системы водяного отопления, и автоматического термостатического элемента. Внутри термоэлемента имеется сильфон, заполненный газом, который реагирует на любое незначительное изменение температуры воздуха в помещении, вызванное теплопритоками от освещения, людей, солнечной радиации и т.п. Растягиваясь при повышении температуры и сжимаясь при ее понижении, сильфон воздействует на конус регулирующего клапана, в результате чего сокращается или увеличивается расход теплоносителя через отопительный прибор и, соответственно, его теплоотдача.

Термоэлемент может быть настроен потребителем на любую желаемую температуру воздуха от $+6^{\circ}$ до -26° , а дальше прибор все сделает сам. Таким образом, терморегулятор обеспечивает экономию до 20% тепловой энергии, расходуемой на отопление, так как превышение температуры воздуха сверх заданной всего на 1 градус приводит к перерасходу энергии примерно на 5%.

Радиаторные терморегуляторы гарантируют необходимое распределение воды по всей системе отопления. При этом даже самые удаленные радиаторы будут обеспечивать требуемую подачу тепла.

Следующим элементом автоматизации являются балансировочные клапаны, которые применяются для автоматического поддержания постоянной разности давления в двухтрубных стояках или расчетного расхода теплоносителя в однотрубных стояках. Они также исключают возможность шумообразования в радиаторных терморегуляторах.

В настоящее время численные методы и интерактивная графическая техника составляют единое целое в программах систем автоматизации научных исследований и автоматизированного проектирования. В качестве вычислительного средства часто используется метод конечных элементов (МКЭ). Суть МКЭ состоит в замене математической модели исследуемого процесса или объекта системой алгебраических уравнений. Большинство математических моделей содержит систему дифференциальных или интегральных уравнений относительно тех функций от координат и времени, которые являются важнейшими характеристиками исследуемого процесса. При применении МКЭ исследуемый объект условно разбивается на небольшие части (конечные элементы). Каждый элемент включает некоторое количество узловых точек. Целью метода является вычисление искомых функций в этих узлах. Таким образом, МКЭ заменяет анализ сложной модели более простой задачей решения алгебраической системы, которая может содержать достаточно большое число неизвестных. С появлением компьютеров интерес к дискретному представлению объектов существенно возрос. МКЭ в отличие от метода конечных разностей основан на вариационном исчислении. В методе конечных разностей используется разностная аппроксимация производных, входящих в дифференциальные уравнения. При использовании метода конечных элементов, представляющего собой неявное применение метода Рунге (Рунге – Рунге – Галёркина) на отдельных отрезках, физическая задача заменяется кусочно-гладкой моделью. Дифференциальное уравнение, описывающее задачу, и соответствующие граничные условия используются для постановки вариационной задачи, которая затем непосредственно решается.

Основными этапами применения метода являются следующие: дискретизация задачи, т. е. представление расчетной области в виде совокупности конечных элементов, взаимосвязанных в узловых точках; получение матриц элементов; построение общей матрицы для всей области и вектора нагрузки; наложение граничных условий; решение системы уравнений; расчет любой другой функции, зависящей от узловых неизвестных. Решение задачи конечных элементов начинается с разбиения области на элементы (подобласти). Простейшим элементом для двумерной области является треугольный элемент с тремя узлами в вершинах треугольника. Целесообразно использовать треугольники, близкие к равносторонним, что приводит к наиболее точным результатам.

Исследование теплофизических характеристик материалов на экспериментальном стенде

Есьман Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Экспериментальное оборудование для контактной диагностики теплофизических свойств материалов включает измерительный комплекс для сбора и обработки информации на базе цифрового термометра ТК-5, измерителя-регулятора (ИР) «Сосна-003», индикатора теплового потока ИТП-20М и приборов ИТ-λ-400, ИТ-с-400 для измерений коэффициента теплопроводности и теплоемкости.

При исследовании тепловых процессов с использованием инфракрасных термографических систем, в отличие от контактных методов, используют уравнения, связывающие термодинамическую температуру с измеряемой величиной спектральной яркости. Неполная информация о радиационных свойствах реальных объектов приводит к возникновению методической погрешности измерений, которая может превышать инструментальную погрешность в десятки раз. Для уменьшения методической погрешности используются излучательные свойства объектов и промежуточной среды. В значительной степени упростить задачу корректного измерения температуры конденсированных сред позволяет предварительное экспериментальное определение спектральной излучательной способности исследуемых объектов по спектральной зависимости коэффициента отражения исследуемого объекта.

Камера IR SnapShot 525, использованная в экспериментах, является радиометрическим тепловизором, имеет широкий динамический диапазон, обеспечивающий точное измерение температуры. SnapShot 525 работает как цифровая камера, снимает и обрабатывает термограммы в широком температурном диапазоне, выводит термограмму на цветной 4-х дюймовый ЖК-экран. Изображения записываются на встроенной PCMCIA карте памяти, позволяющей записать до 280 термограмм на стандартной 8.0 Мбайт карте серии ATA. Обработка изображений производится с помощью прилагаемого программного обеспечения SnapView, работающего в среде Windows. Для обеспечения точного измерения температуры возможно задание значений коэффициента излучения.

В основу методов определения теплофизических характеристик материалов положено решение задачи теплопроводности, устанавливающее связь между временными и пространственными изменениями температуры тела под действием источника теплоты.

**Утилизация низкопотенциальных вторичных
энергетических ресурсов промышленных предприятий
с применением турбоустановки нового типа - ТурбоСферы**

Левков К.Л.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность вопросов энергоэффективности и энергосбережения неуклонно растет вместе с ростом цен на энергоресурсы. Уже очевидным является необходимость рационального использования всех видов энергии и экономии первичного топлива.

Стоит обратить внимание на промышленные теплотехнологии, которые обладают достаточно большим количеством низкопотенциальной энергии. В этой связи возникает необходимость рационального использования тепловых и других типов отходов промышленных предприятий в самом технологическом процессе (регенеративное теплоиспользование) или как вторичные энергетические ресурсы (ВЭР).

Тепловые ВЭР – наиболее распространенный вид энергетических отходов. Их утилизация должна проводится практически повсеместно. В то же время привлекаются в основном высокопотенциальные тепловые ВЭР. Значительно меньше используется среднетемпературные энергетические отходы, низкотемпературные применяются еще реже.

На сегодняшний день все большую актуальность приобретает новый путь использования тепловых отходов. Речь идет о выработке электрической или механической энергии с применением низкокипящих рабочих тел. К ним относят углеводороды (пентан, бутан и т.п.), фреоны и другие вещества с низкой температурой кипения. Традиционно выработка энергии осуществляется при помощи паротурбинных установок, работающих по органическому циклу Ренкина.

Существующие турбоустановки обладают рядом недостатков, ограничивающих их область применения. В этой связи разрабатываемый турбоагрегат ТурбоСфера способен увеличить количество вырабатываемой энергии за счет тепловых отходов. ТурбоСфера отличается от известных турбин тем, что в одном агрегате совмещаются турбина, теплообменник и электрогенератор. Многоступенчатое расширение потока происходит на одном рабочем колесе в ходе его последовательного перемещения с одного сектора колеса к другому. Нагрев потока происходит многократно, в соответствии с числом ступеней расширения.

Таким образом, ТурбоСфера позволяет получать электроэнергию без дополнительного потребления топлива.

**Изучение физико-химических свойств катализаторов Со/Га
в синтезе жидких углеводородов из монооксида углерода и водорода
с применением метода ТПД аммиака**

Краешкая О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Проблема получения моторных топлив и других химических продуктов из угля, природного газа или биомассы становится все более актуальной в связи с многочисленными прогнозами и скором исчерпании разведанных нефтяных запасов на фоне все возрастающего потребления нефти.

Одним из процессов получения жидких углеводородов из альтернативного сырья является синтез углеводородов из СО и Н₂ (синтез Фишера–Тропша).

Важной задачей этого процесса является разработка новых катализаторов, обладающих высокой активностью, селективностью, стабильностью и механической прочностью.

Перспективными катализаторами Фишера–Тропша являются Со-системы, в присутствии которых образуются в основном жидкие и твердые алканы нормального строения. Природа носителя оказывает значительное влияние на активность и селективность Со-контактов. В последнее время возрос интерес к носителям-цементам (галюмину). Для создания научных основ цементсодержащих катализаторов необходимо установить связь между физико-химическими свойствами и химическими характеристиками катализаторов.

Катализаторы Со/галюмин являются полифункциональными. Они содержат металлический кобальт и оксидные соединения кобальта, нанесенные на цементный носитель. В состав галюмина входит Al₂O₃, обладающий льюисовской кислотностью. Для выявления связи кислотных свойств катализатора с составом образующихся на нем продуктов синтеза нами был применен метод ТПД аммиака.

Спектры ТПД аммиака всех образцов 20%Со/Га, промотированных Pd, Ru и ZrO₂ содержат интенсивные пики десорбции в области 20–280°C, температура максимумов которых лежит около 120°C. В области 280–400°C наблюдаются малоинтенсивные десорбционные пики. Выше этой температуры также наблюдается десорбция, которая относится не к аммиаку, а к воде, десорбирующейся из галюмина.

Таким образом, методом ТПД аммиака показано, что условия, при которых происходит восстановления катализаторов и состав оксидной составляющей активной Со-фазы, зависят от вида промотора.

Система теплоснабжения санаторного комплекса

Пузик В.В., Турлович Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня повышение эффективности использования первичных энерго-ресурсов (ПЭР) стало одним из приоритетных направлений экономической политики РБ. Немаловажную роль играет рационализация схемы тепло- и электроснабжения. Для реализации наибольшего энергосберегающего потенциала требуется комплексный подход: эффективное использование ПЭР в комбинированных установках производства тепловой и электрической энергии (ТЭ и ЭЭ), использование альтернативных источников (теплонасосных установок (ТНУ) воздушного и грунтового типа подвода утилизируемого потока тепловой энергии).

Существуют некоторые особенности проектирования систем теплоснабжения (СТС) санаторных комплексов, а именно:

1. Характер объекта и его функциональное назначение определяют неравномерный режим работы энергогенерирующего оборудования (ЭГО).
2. Следует обеспечить комфортные условия для оздоровления отдыхающих на территории пансионата, что исключает использование торфа в качестве основного топлива.
3. Оздоровительный комплекс располагается в лесном массиве, что исключает и природный газ как топливо из-за сложности и высокой стоимости прокладки газопровода.

Выбор вариантов должен учитывать как энергетические и экономические критерии, так и функциональное назначение объекта. Данным факторам отвечают современные схемы теплоснабжения на базе ТНУ, газопоршневых установок, электродкотлов (ЭК) и котлов для резервного топлива. Парокомпрессионные ТНУ с электроприводом, например, обеспечивают выработку ТЭ с использованием энергии окружающей среды (воздух, грунт) с коэффициентом преобразования до 4. Высокая стоимость оборудования и работ значительно ухудшают показатели эффективности работы ТНУ. Для ее повышения следует максимально гибко использовать ЭГО с учетом графиков потребления ЭЭ энергосистемы: загрузка оборудования, потребляющего ЭЭ на выработку ТЭ, максимальна в ночное время, когда действуют пониженные тарифы на покупку ЭЭ. Помимо отмеченных сдерживающими факторами распространения ТНУ являются: недостаточная апробированность в Республике Беларусь, сложность адаптации существующих СТС под требования ТНУ, новизна таких СТС в Беларуси в совокупности с наличием негативных примеров (НПО «Интеграл»), дорогая ЭЭ и пр.

Исследование теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения полевого госпиталя, функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций

Несенчук А.П., Качар И. Л.

Белорусский национальный технический университет

Исследуется теплоотдача отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного полевого медицинского учреждения, функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций. Данное исследование позволяет оценить эффективность данной системы, где в качестве источника теплоснабжения используется вихревой теплогенератор ВТГ-2.2 с приводом от автономного источника энергии.

Эксперименты проводились с использованием мягкого отопительного прибора в соответствии с планом эксперимента при установившемся тепловом режиме. Такие эксперименты представляют значительный интерес при условии естественной конвекции в горизонтальной щели.

Опыты (в соответствии с планом эксперимента) выполнялись в десяти точках и были связаны с измерением температур теплоотдающей и теплопринимающей поверхности, а также температуры в щели. В качестве инструментария использовались бесконтактный пирометр AR852B и хромель-копелевые термомпары.

Для оценки теплоотдачи от свободной поверхности отопительного прибора был получен коэффициент теплоотдачи: $\alpha = 5,942 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (при средней температуре теплоотдающей поверхности 74°C).

Для замкнутого пространства (горизонтальной щели) результаты обработки опытных данных, устанавливающие зависимость между критериями подобия Nu , Gr , Pr , были представлены в виде графика. Анализ графика показал, что нанесенные на него точки, являющиеся результатом обработки данных опыта, практически укладываются на одну прямую линию. Уравнение для линии может быть представлено в виде $\lg Nu = a_0 + a_1 \lg(Gr \cdot Pr)$. Определение коэффициентов при неизвестных выполнялось по методу наименьших квадратов. В результате проведенных расчетов при помощи программного средства MathCAD 15 было получено критериальное уравнение $Nu = 0,236 (Gr \cdot Pr)^{0,251}$, позволяющее производить расчеты интенсивности теплообмена в условиях естественной конвекции в ограниченном пространстве (горизонтальной щели). Согласно данному критериальному уравнению для значений температур теплоотдающей поверхности от 65°C до 85°C были получены значения коэффициентов теплоотдачи, меняющие свои значения, от 2,7 до 3,2 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ соответственно (температура теплопринимающей поверхности 46°C).

Использование вихревого теплогенератора для теплоснабжения мобильных объектов (полевого госпиталя)

Качар И. Л.

Белорусский национальный технический университет

Автономность функционирования (отсутствие зависимого источника электрической энергии и элементов системы теплоснабжения, имеющих значительную массу) медицинского учреждения, работающего в условиях чрезвычайных ситуаций, может быть достигнута при использовании в качестве источника теплоснабжения вихревого теплогенератора с двойным преобразованием энергии (электрическая форма движения материи – механическая – тепловая форма движения материи).

Вихревой теплогенератор подключается к практически независимому от внешних условий мобильному дизель-генератору, которым наряду с 400-сильным основным двигателем оснащено самоходное, отлично защищенное устройство БТР-82.

Автономный источник на базе БТР-82 служит устройством многократного использования. Все остальные элементы системы теплоснабжения (как и сам полевой госпиталь) используются одноразово.

Вихревой теплогенератор запускается в работу от дизель-генератора одновременно с работами по сборке системы теплоснабжения (время сборки последней – 5-10 мин). Незначительное время сборки системы теплоснабжения объясняется тем, что все ее элементы (отопительные приборы, трубы и штуцеры) выполнены из мягкого пластика, имеющего в сравнении с металлом небольшую массу. В итоге время подготовки объекта к работе составляет 20-40 мин.

При свертывании объекта в связи с передислокацией время существенно сокращается (1-5 мин), так как все системы теплоснабжения и сам объект оставляются на месте старой дислокации.

Значительным преимуществом теплоснабжения объекта является возможность использования отопительных приборов в непосредственной близости от пациента (абсолютная стерильность и подвижность).

В ходе эксперимента со стороны первичного теплоносителя использовалась вода с температурой 70°C. Измерения температур теплоотдающей поверхности (свободная конвекция в неограниченном объеме) нагревательного прибора из пластика производили бесконтактным пирометром инфракрасного излучения AR852B и выполняли в прямоугольной сетке в 158 точках, расположенных на поверхности. Было выполнено сравнение теплоотдачи с уже имеющимися в литературе данными.

О роли футеровки печи в процессе теплообмена при нагревании садки

Несенчук А.П., Ковалев С.С.

Белорусский национальный технический университет

Выбор оптимальной схемы отопления печи должен прежде всего отвечать таким требованиям, как равномерное температурное поле в печи, экономичность эксплуатации, качественное и эффективное сжигание топлива и высокая надежность тепловой обработки металлической садки.

Нагрев изделий с заданной равномерностью по всему сечению является важным критерием в отношении ожидаемого качества горячего формообразования. Кроме того, в случае различных геометрических размеров нагреваемых заготовок, а также варьировемых марок сталей следует точно выдерживать температурные графики нагрева. Адаптируемые температурные зависимости позволяют избежать термического перегрева материала. Выдержать конкретный температурный график можно лишь при правильно организованном процессе теплообмена.

Теплообмен излучением является основным способом передачи теплоты в печах с температурой выше 800 °С. Чем выше температура печи, тем (при определенных условиях) большее значение имеет излучение. Поэтому, как правило, интенсификация теплообмена в нагревательных печах выполняется за счет лучистой составляющей теплообмена.

При теплообмене в печах особую роль играет футеровка рабочего пространства (кладка). Основное назначение футеровки состоит в доведении к минимуму неизбежных тепловых потерь во внешнее пространство через ограждающие конструкции. Кроме того, футеровка, получая теплоту от первичного излучателя – нагревателя (факела или газов), поглощает теплоту и передает ее обратно в печь. Поглощенная футеровкой теплота при наличии хорошей внешней теплоизоляции стен также возвращается в печь путем собственного излучения кладки и в конечном итоге передается нагреваемому металлу. В дополнение к этому, горячая поверхность футеровки, интенсивно омываемая потоком газов, получает от них теплоту конвекцией, которая после поглощения ее кирпичной кладкой переизлучается к поверхности металла. Таким образом, кирпичная кладка (футеровка) в этом случае является трансформатором теплоты, полученной конвекцией от газов, в теплоту излучения. При специально организованном интенсивном развитии теплопередачи конвекцией от газов к кирпичной кладке трансформация теплоты конвекции в излучение может играть заметную роль в общей теплопередаче на поверхность металла, что имеет место при отоплении плоскопламенными (сводовыми) горелками.

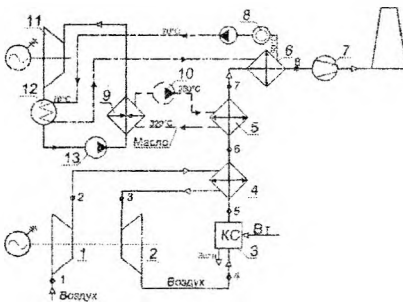
Комбинированная установка выработки электрической и тепловой энергии с использованием биомассы

Седнин В.А., Левшеня А.И.

Белорусский национальный технический университет

Среди современных технологий комбинированного производства электрической и тепловой энергии из биомассы, в диапазоне малых мощностей установок (до 5 МВт), можно выделить следующие технологии: паросиловые циклы на водяном паре средних и низких параметров; паросиловые циклы с применением низкотемпературных рабочих тел (циклы ОРЦ); циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинные циклы на газогенераторном газе, получаемом в процессах термической конверсии (газификации) топлива или на биогазе, получаемом путем сбраживания органических отходов; газотурбинные циклы с прямым сжиганием твердого топлива в камере сгорания газовой турбины; газотурбинные циклы с внешним сжиганием топлива; установки на основе цикла Стирлинга. Перечисленные технологии имеют свои плюсы и минусы.

В докладе представлены результаты численного исследования технологической схемы теплофикационной установки (см. рисунок), представляющей комбинацию паротурбинной установки ОРЦ и газотурбинной установки, с внешним сжиганием топлива. В качестве котельной установки выбран котел с кипящим слоем, позволяющий в качестве топлива рассматривать древесные отходы, фрезерный торф и комбинированные виды твердого топлива.



1 - компрессор; 2- газовая турбина; 3- топка котла; 4- высокотемпературный воздухоподогреватель; 5- теплообменник промежуточного масляного контура; 6- экономайзер; 7- дымосос; 8- потребитель тепловой энергии; 9- испаритель НРТ; 10- насос промежуточного масляного контура; 11-турбина; 12- конденсатор; 13- питательный насос

Рисунок - Технологическая схема комбинированной энергетической установки

Полученные данные позволяют судить о перспективности реализации данной схем при строительстве миниТЭЦ на местных видах топлива. Достигаемые электрический КПД составляет 28...30 %.

Новые возможности диверсификация энергоресурсов в Республике Беларусь твердыми местными видами топлива

Несенчук А.П., Рыжова Т.В., Бегляк А.В., Бегляк В.В.
Белорусский национальный технический университет, ОАО «МАЗ»

Перспективные виды топлива в Республики Беларусь

1. Бурые угли.

Можно выделить 2 этапа использования данных ресурсов:

Этап 1. Разработка Житковчского, Тонежского и Бриневского месторождений;

Этап 2. Разработка Лельчицкого месторождения.

В таблице 1 сведены сравнительные данные о бурых углях.

Таблица 1. Сравнительные данные месторождений

Показатель	Этап 1	Этап 2
Срок разработки, лет	2-3	8-10
Теплотворная способность, ккал/кг	1500-1600	3500-4000
Предполагаемые запасы, млн. т (млн т.у.т.)	151 (34)	234 (134)
Ориентировочная стоимость добычи при выходе на номинальную мощность, \$/т.у.т.	70	140

2. Нефтяной кокс

После 2013 г. на ОАО «Нафтан» появится вторичный ресурс, который также можно использовать для сжигания. Свойства кокса в таблице 2.

Таблица 2. Свойства нефтяного кокса

Наименование показателя	Единица измерения	Величина
Низшая теплотворная способность	МДж/кг	31,14
Влажность	%	До 8
Зольность	%	0,55
Анализ сухой пробы (массовый %):		
Углерод, С	%	89,9
Водород, Н	%	3,50
Кислород, О	%	0,72
Азот, N	%	1,74
Сера, S	%	3,54
Зольность	%	0,60

Эволюция технологий получения моторного топлива из биомассы

Лосюк Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Существует множество методов конверсии биомассы в моторное топливо. Их можно отнести к двум комплексным направлениям: термохимическим и биохимическим. В этом материале рассмотрим модернизацию технологий, объединенных биохимическим направлением.

Одним из крупнейших в мире по масштабам является превосходство этанола, которое в последние годы оценивается десятками миллионов кубических метров в год. Ведущее место принадлежит традиционной технологии первого поколения – получение и сбраживание сахаров из сахарного тростника. И крахмалосодержащих зерновых, кукурузы и клубневых растений. Недостатком этой технологии является использование фактически продуктов питания человека.

Для получения биодизельного топлива основой являются масляничные культуры: семена рапса и подсолнечника, соевые бобы. Плоды масляничной пальмы и растение ятрофы. Часть этих растений также представляет продукты питания.

Технологии второго поколения конверсии биомассы базируются на переработке целлюлозы древесных и различных отходов сельскохозяйственного производства, не вовлекаемых в изготовление продуктов питания.

Так, швейцарские фирмы предлагают перерабатывать целлюлозу, минуя широко применявшуюся стадию гидролиза. По этому методу раздробленные целлюлозосодержащие остатки подвергаются обработке паром, расщепляющим молекулы целлюлозы. Затем в действие вступают грибки и дрожжи. В результате конверсии биомассы, кроме этанола получают протеиновую пасту и волокна. Протеин служит кормом для скота, а волокна перерабатываются в изоляционные или связующие материалы.

Перспективной является технология конверсии бумаги, которая ранее выбрасывалась на полигоны для отходов. Ферментация целлюлозы в этом случае позволяет получать до 350-400 литров этанола из 1 т использованной бумаги. В конверсию биомассы начинают вовлекаться нанотехнологии. Китайские исследователи используют нанокатализаторы на базе Ca и Fe_3O_4 при выработке биодизельного топлива.

Технология термохимической конверсии биомассы разработана в Швеции. Вначале отходы древесины газифицируются, а затем полученные продукты перерабатываются в этанол.

Анализ методов очистки биогаза от диоксида углерода и сероводорода

Лосюк Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Биогаз, получаемый из отходов сельского хозяйства, стоков пищевых перерабатывающих предприятий, молочных, сыродельных, пивных, спиртовых заводов, наряду с основными компонентами метаном CH_4 и диоксидом углерода CO_2 , содержит до 2-3% сероводорода H_2S , водорода H_2 и азота N_2 . Поэтому для использования на автозаправочных станциях и при заполнении трубопроводов природного газа его необходимо очищать. При этом повышается энергетическая ценность биогаза. Кроме того, в некоторых случаях, например, при сборе биогаза с полигонов твердых бытовых отходов в него попадает значительное количество влаги, также требующей удаления.

Для разделения газовой смеси, которую представляет биогаз, можно применить адсорбционные технологии с использованием активных углей, природных и синтетических цеолитов. Приемлемые результаты дает процесс мембранного разделения газов с выделением H_2 , CO_2 и H_2S .

Предварительный анализ показывает, что достаточно эффективной является технология промывки биогаза холодной проточной водой под давлением с последующей подсушкой очищенного газа. Процесс основан на том, что растворимость CO_2 и H_2S в воде превышает растворимость метана. С помощью этого метода можно добиться необходимой степени очистки биогаза путем увеличения расхода или давления применяемой воды. Для подсушки очищенного газа используется теплота, полученная при частичном сжигании биогаза в газовом котле.

УДК 620.9(094), 006.72, 083.74

Особенности проектирования трубопроводов систем централизованного теплоснабжения

Криштофик А.В.

Белорусский национальный технический университет

Разработка проектной документации, а также монтаж трубопроводов различного назначения, играет важную роль в промышленном и гражданском строительстве.

В настоящее время для систем централизованного теплоснабжения наиболее часто используются трубопроводы с промышленной ППУ (пенополиуретан) – изоляцией. В ряде зарубежных пособий по проектированию

теплопроводов с ППУ - изоляцией приводятся номограммы для определения габаритов Г, Z-образных поворотов и П-образных компенсаторов. Некритическое использование этих номограмм может привести к серьезным ошибкам при принятии проектных решений.

Данное обстоятельство объясняется тем, что точность построения номограмм, как правило, не превышает 10-15%. В результате чего при их использовании небольшая погрешность в величине компенсируемого расширения Δ может привести к значительной разнице в размере необходимого вылета. Также следует отметить тот факт, что специфика поведения трубопроводов, заземленных в грунте не характерна для трубопроводов, проложенных на открытом воздухе.

Отказ от упрощенных методик расчета необходим не только по причине развития компьютерных технологий (использование персональной вычислительной техники дает возможность обработки большого объема исходной информации, что в свою очередь повышает точность результатов), а также ввиду сложившихся экономических факторов (постоянное повышение цен на энергоносители требует более тщательной проработки проектных решений).

Особенность компьютерного моделирования заключается в том, задача расчета сводится не к максимально точному воспроизведению чертежа реального трубопровода, а к выбору подходящей расчетной схемы, применение которой обуславливается невозможностью учета всех свойств реальной конструкции.

Таким образом, одним из главных факторов повышения точности вычислительных процессов является разработка современных методик расчета с использованием компьютерного моделирования.

УДК 620.9(094), 006.72, 083.74

Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения

Криштофик А.В.

Белорусский национальный технический университет

Сложившаяся со времен СССР система централизованного теплоснабжения средних и малых городов Беларуси от центральных источников тепла (котельных) продолжает активно развиваться и в нынешнее время

Данная тенденция объясняется слабым развитием и внедрением нетрадиционных источников энергии, так же не всегда имеется возможность применения децентрализованных источников теплоснабжения ввиду особенностей территориального расположения зданий.

Эффективность использования топливно-энергетических ресурсов в жилищно-коммунальной сфере является сегодня крайне низкой по ряду причин:

- нерациональное использование тепловой энергии (низкий уровень тепловой защиты ограждающих конструкций зданий; использование энергозатратного, а в ряде случаев разуконплектованного теплоэнергетического оборудования: отсутствие требуемых средств автоматизации и др.);

- низкая эффективность существующих систем теплоснабжения (тысячи километров трубопроводов теплоснабжения, лежащих на балансе министерства энергетики и коммунального хозяйства, находятся в аварийном состоянии и нуждаются в замене);

- низкая культура обслуживающего персонала (отсутствие квалифицированных кадров в значительной степени сказывается на работе теплоэнергетического оборудования).

В настоящий момент разработан и широко применяется комплекс программного обеспечения (СТАРТ, АРС, Pipe Flow Expert, FluidFlow, Гидросистема и др.), предназначенный для компьютерного моделирования сложных технологических процессов, что в свою очередь дает возможность избежать многих ошибок в процессе проектирования, а так же эксплуатации уже работающих систем.

Разработка и внедрение новых компьютерных программ на базе современных методик и лабораторных исследований позволит обрабатывать комплекс исходных данных, что в свою очередь отразится как на скорости проектирования, так и на достоверности результатов.

УДК 620.9(094), 006.72, 083.74

Разработка нормативной документации для проектирования и эксплуатации биогазовых комплексов (БКГ) на территории Республики Беларусь

Прокопеня И.Н.

Белорусский национальный технический университет

Как известно грамотно и качественно проектировать и эксплуатировать любые технологические системы, в том числе и биогазовые комплексы, можно только при наличии полной базы нормативной документации регламентирующей эти процессы.

На сегодняшний день в Республике Беларусь существует всего один документ, который урегулирует деятельность в области биогазового хозяйства – ТКП 17.02-03-2010 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Правила размещения и проектирования биогазовых комплексов».

Информация, которую предоставляет вышеупомянутый ТКП, очень скудна и не дает адекватного представления о проектировании и эксплуатации биогазовых комплексов. Неохватченными остаются такие важнейшие области как: обоснование возможности и необходимости строительства БГК, выбор оптимальной схемы и состава технологического оборудования БГК, проектирование и строительство технологических установок БГК, проектирование и эксплуатация биогазового хозяйства БГК, регламентация качества, свойств и компонентного состава используемого при сбраживании сырья и получаемого биогаза

В результате совместной работы с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь было разработано два нормативно-правовых акта: СТБ «Охрана окружающей среды и природопользование. Биогаз топливный для и использования в промышленных и энергетических целях. Технические условия» и ТКП «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок расчета экономической эффективности биогазовых комплексов». Данные документы разработаны в соответствии с действующим законодательством и отражают специфические особенности работы с биогазовыми комплексами.

Введение разработанных ТНПА позволит с одной стороны более адекватно оценить возможность и необходимость строительства биогазовых комплексов, а с другой стороны позволит осуществлять контроль за производимым биогазом и используемым для этого сырьем.

УДК 62.50:620.4

К выбору температуры теплоносителя при центральном количественно-качественном регулировании отпуска теплоты

Седнин В.А., Шкляр И.В.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в Республике Беларусь вследствие автоматизации тепловых пунктов теплопотребителей был осуществлен переход теплоисточников на режим с переменным расходом теплоносителя в тепловых сетях. Тем самым вызвана необходимость перехода на метод количественно-качественного центрального регулирования отпуска тепловой энергии. В то же время, согласно нормативам проектирования, применение методов количественного или количественно-качественного регулирования на источнике теплоты требует технико-экономического обоснования. Для действующих систем теплоснабжения в качестве критерия эффективности можно принимать затраты топлива на производство и транспорт тепловой энергии.

В данной работе был предложен расчет вышеуказанного критерия с учетом диссипации тепловой энергии при её транспорте. В случае, когда в системе теплоснабжения источником теплоты является водогрейная котельная, данный критерий будет состоять из следующих составляющих:

1) расхода топлива, сжигаемого, в котле для производства теплоты, которая состоит из тепловой нагрузки потребителей, расхода теплоты на собственные нужды, теплопотерь при транспорте тепловой энергии от теплоисточника к тепловому потребителю, а также диссипации тепловой энергии при её транспорте;

2) расхода топлива, сжигаемого на электростанциях энергосистемы, для выработки электроэнергии, потребляемой на собственные нужды и для привода сетевых насосов котельной.

Очевидно, что данный критерий зависит от величин, специфичных для конкретной системы теплоснабжения, и конкретных условий эксплуатации, в частности от протяженности и гидравлических характеристик теплосети. Поэтому оптимальный температурный график должен рассчитываться индивидуально для каждой системы теплоснабжения.

В ходе работы была реализована компьютерная программа которая наглядно показала, что учет диссипации тепловой энергии позволяет снизить температуру прямой сетевой воды на 1-4°C и способствует сокращению расхода топлива на производство и транспорт тепловой энергии.

УДК 629.735

Гидридные тепловые двигатели и перспективы их внедрения

Северин А.П.
ОАО «Мозырсьоль»

Утилизация низкопотенциальных тепловых потоков вторичных энерго-ресурсов (ВЭР) является актуальной задачей, решение которой затруднено из-за отсутствия соответствующих потребителей тепловой энергии. В этом контексте представляет интерес использование указанных ВЭР для выработки электроэнергии, однако приемлемое решение этой актуальной задачи на данный момент отсутствует. Известны соответствующие схемы на основе двигателей Стирлинга, но достаточно низкая удельная мощность этих двигателей в рассматриваемом температурном диапазоне не позволяет достигнуть требуемых экономических показателей. Альтернативным вариантом двигателям Стирлинга могут стать гидридные тепловые двигатели, в которых используются процессы сорбции водорода металлгидридами.

Соответствующие сорбционные эффекты используются в различных устройствах. В 1967 году был изобретен первый гидридный компрессор. Сегодня подавляющее большинство существующих разработок направлено на создание гидридных холодильных машин и тепловых насосов. Наибольших успехов в этой области добилась Япония.

Первый образец гидридного теплового двигателя предложила американская компания Ergenics, Texas. Анализ конструкций существующих гидридных тепловых двигателей определяет их общий и существенный недостаток: работа гидридных тепловых двигателя циклическая, требующая попеременного нагрева и охлаждения одного из двух гидридных блоков. Очевидно, что такая попеременная работа существенно усложняет эксплуатацию двигателей, резко сужая рамки их технического применения.

Нами предложена схема гидридного теплового двигателя непрерывного действия, т.е. не требуется попеременное охлаждение и нагрев одной и той же части установки. Процессы подвода и отвода тепловой энергии стабильны, что придает схеме гидридного двигателя большую привлекательность. Обширная сфера применения этих двигателей связана, прежде всего, с расширением утилизации низкопотенциальных тепловых потоков ВЭР с температурой 50–90 °С, что позволяет повысить энергетическую эффективность использования первичных энергоресурсов в различных теплоэнергетических системах — в этом основное преимущество гидридных двигателей.

В данном контексте область применения этих тепловых двигателей весьма широка: промышленные системы преобразования вещества и преобразования энергии, сельскохозяйственные комплексы и частные коттеджи.

УДК 541.128.

Разработка новых модификаций Со-катализаторов на основе цирконий содержащих носителей для синтеза углеводородов

Краецкая О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Перспективным методом переработки угля является его газификация с последующим превращением смеси СО и Н₂ в углеводороды (синтез Фишера–Тропша), которые могут быть использованы в качестве компонентов моторных топлив. Основная задача развития этого процесса — создание

высокоэффективных каталитических систем. Важным направлением для их получения является разработка новых носителей.

Применение смешанных оксидов кремния и металлов – металлосиликатов – в качестве носителей Co-катализаторов синтеза Фишера–Тропша является перспективным с точки зрения эффективности процесса.

В настоящей работе проведено сравнительное изучение зависимости активности и эффективности катализаторов $\text{Co}/x\text{ZrO}_2 \cdot (100-x)\text{SiO}_2$ от количественного состава носителя, доля оксида циркония в составе которого изменяется от 0 до 100 мас. %.

В результате проведенных исследований установлено, что активность и эффективность катализаторов $20\%\text{Co}/\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ в синтезе жидких углеводородов из CO и H_2 зависит от количества оксида циркония в составе носителя. Основные показатели процесса изменяются при увеличении доли ZrO_2 в составе носителя от 0 до 100 мас. %, причем изменения не являются монотонными. Так, наибольшей общей активностью, оцененной по конверсии CO, обладают катализаторы, содержащие 25–30% ZrO_2 . В их присутствии конверсия CO несколько выше, чем на исходном образце $20\%\text{Co}/\text{SiO}_2$ (86%), и составляет 90 и 92% соответственно. Использование в качестве носителя ZrO_2 , напротив, приводит к снижению общей активности катализатора примерно 1,5 раза (до 59%).

Наиболее эффективными в образовании жидких продуктов являются катализаторы на основе носителя, содержащего 25–30% ZrO_2 . Выход C_5+ на них составляет 139 и 143 г/м³, то есть более чем в 1,2 раза превышает аналогичный показатель, полученный на Co/SiO_2 .

Однако в присутствии катализатора Co/ZrO_2 выход жидких углеводородов снижается почти вдвое, по сравнению с Co/SiO_2 (до ~ 57 г/м³).

УДК 665.66

Эффективная технология переработки отработанного масла

Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Ковтанец М.В.,
Шишковская А.Ю., Горлов А.С.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
(г. Луганск, Украина)

На современном этапе развития промышленности важным и актуальным является вопрос вовлечения в производство вторичного сырья, в частности, отработанных масел. При переработке данного сырья в первую очередь ставится задача его очистки от твердых включений. Проведенные экспериментальные исследования показали, что эту операцию целесооб-

разно производить с использованием ультразвука. Согласно теории кавитационно-волнового распыления жидкостей, распыление осуществляется путем отрыва капелек жидкости с гребней стоячих капиллярных волн, параметрически возбуждаемых на поверхности раздела сред жидкость-воздух. Т.к. твердые загрязнения имеют значительно большую плотность и вес, то с поверхности раздела жидкость – газ отделяется жидкая фракция (масло) в виде тумана, а твердая не может преодолеть этот барьер. Т.о. масло очищается от твердых включений.

После отделения масла от основной массы загрязнения, требуется окончательная очистка с применением фильтра тонкой очистки. В настоящее время перед подачей масла в фильтр тонкой очистки, для разжижения его и более эффективного просачивания через фильтр применяют устройства подогрева, которые энергетически невыгодны. Установлено, что в качестве теплового носителя можно использовать устройство с СВЧ. При этом тепловые волны проникают вглубь жидкости, преобразование тепловой энергии происходит не на поверхности, а по всему ее объему, потому достигается интенсивное нарастания температуры при равномерном нагреве.

Достоинством применения предлагаемой технологии регенерации масла является малая энергоемкость процесса, отсутствие дополнительных расходов (газ, растворители и т.д.) и повышенная эффективность нагрева.

Энергетическое строительство

Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности

Ануфриев В.Н., Джумабекова Б.А.*

Белорусский национальный технический университет,
Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати*
(Республики Казахстан)

Предприятия пищевой промышленности являются крупным потребителем воды. Так по данным Белорусского государственного концерна пищевой промышленности на производственные нужды в отрасли забиралось 17,87 млн. м³ в год, при этом данные предприятия являются источниками образования 15,6 млн. м³ в год сточных вод различной степени загрязненности. В водные объекты отводится порядка 4,4 млн. м³ в год сточных вод, из них 4,1 млн. м³ в год нормативно-чистых сточных вод, которые образуются при охлаждении технологического оборудования и продукции и которые отводятся без предварительной очистки. Сточные воды, подлежащие очистке (0,3 млн. м³ в год) отводятся в водные объекты очищенными до установленных нормативов до 98,2 % от их расхода, при этом 1,75 % отводятся недостаточно очищенными, 0,03 % - загрязненными без очистки.

Пищевая промышленность Республики Казахстан также потребляет значительные количества воды и требует отведения больших расходов сточных вод. Одной проблем, из актуальных как для Беларуси, так и для Казахстана, является очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. Сточные воды таких предприятий характеризуются высокими значениями органических загрязнений, в том числе жиров. Отведение таких сточных вод без предварительной обработки в системы водоотведения населенных пунктов вызывает негативное воздействия на эксплуатацию сетей водоотведения и городских очистных сооружений. Для обработки таких сточных вод в настоящее время большой интерес вызывают анаэробные методы биологической очистки. Из-за большого содержания в таких сточных водах органических соединений и повышенной температуры технико-экономические показатели установок по сбраживанию становятся более конкурентными в сравнении с альтернативными вариантами. Немаловажным аспектом такой очистки является возможность получения биогаза и образования меньших объемов избыточного активного ила, который необходимо подвергать обезвоживанию. Вследствие чего затраты энергии на эксплуатацию анаэробных установок биологической очистки намного ниже в сравнении с методами аэробной очистки, что является важным показателем эффективности в условиях роста стоимости энерго-ресурсов.

**Определение пропускной способности существующих коллекторов
дождевой канализации с учетом полученных деформаций**

Ануфриев В.Н., Станкевич А.П., Корнеев В.Н.,
Белорусский национальный технический университет, Центральный
НИИ комплексного использования водных ресурсов

При реконструкции систем водоотведения населенных пунктов возникает ряд задач, связанных с определением пропускной способности отдельных участков трубопроводов. Определение пропускной способности участков трубопроводов на сети дождевой канализации при прямых уклонах не вызывает каких-либо затруднений и решается по уравнениям равномерного установившегося движения /1/. В случае деформаций, в том числе образования обратных уклонов при просадке труб, образования отложений в лотках труб, задача установления пропускной способности отдельных участков трубопроводов намного усложняется. В данном случае расчетным режимом становится неустановившееся неравномерное течение жидкости. Так при установлении пропускной способности деформированного участка сети дождевой канализации в районе ул. Селицкого г. Минска использовались зависимости учитывающие влияние обратного уклона участка трубопровода, подпора возникающего в камерах при сужении потока, при изменении направления движения потока, изменении формы живого сечения потока. Основные параметры, которые использовались для выполнения расчетов неравномерного движения воды: площадь сечения, уклон дна трубопровода, расходная характеристика («модуль расхода»), коэффициент шероховатости. Для определения характеристик безнапорного водного режима при различных уровнях, включая кривые свободной поверхности и скоростной режим, а также максимальную пропускную способность для всего участка трубопроводов использовались численные решения неравномерного установившегося движения воды в водотоках /2/ и адаптированного к условиям течения потока в безнапорном трубопроводе.

Указанный метод расчетов позволил получить параметры, необходимые для оценки возможности дальнейшей эксплуатации участка трубопровода.

Литература

1. Курганов, А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник. – Л.: Стройиздат, 1986 – 440 с.
2. Рогунович В.П. Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1989 - 263 с.

Задачи повышения устойчивости земляного полотна дорог
в условиях высокого уровня грунтовых вод

Ковалев Я.Н., Ковалев К.Г.

Белорусский национальный технический университет

Анализ результатов работ, выполненных в Ростовском инженерно-строительном институте и другими исследователями, показал следующее:

- в настоящее время разработана физико-математическая интерпретация капиллярного всасывания воды в грунтах, основанная на исследовании ее электростатического состояния в порах грунта;
- дано объяснение контрактации грунта и отжима воды из него под действием слабых электрических полей;
- выявлена возможность и практическая целесообразность упрочнения грунта слабыми электротоками;
- выявлены естественные постоянные источники слабых блуждающих электротоков в грунте и разработаны способы их концентрации для упрочнения земляного полотна автомобильных дорог, подтапливаемых высокими грунтовыми водами. В частности, для массового применения рекомендуется индукционная система с металлическими проводами из ст.3, защищенными от коррозии специальными обмазками.

Рассмотрев указанный нетрадиционный подход к повышению устойчивости земляного полотна дорог, возникает ряд задач по дальнейшему исследованию указанной проблемы. В частности, необходимо:

1. Разработать метод компьютерного (имитационного) моделирования условий стабилизации земляного полотна для различных уровней залегания грунтовых вод применительно к различным грунтам, доминирующим в массиве земляного полотна.
2. Рассмотреть возможность применения естественных статических источников электрического тока для стабилизации земляного полотна на слабых торфяных основаниях (возможности их осушения).
3. Произвести технико-экономический расчет эффективности стабилизации земляного полотна новыми методами по сравнению с традиционно применяемыми.

В целом затронутая проблема является актуальной, для ее полного комплексного решения необходимо привлечь специалистов – представителей фундаментальных наук (прежде всего, физико-химиков и энергетиков, занимающихся исследованиями электростатических полей малой напряженности), а также ученых – прикладников, специализирующихся в области геотехники земляного полотна.

Влияние возврата осветленных промывных вод в голову сооружений на эффект обезжелезивания воды

Михайлик Л.Г.

Белорусский национальный технический университет

Метод фильтрования с предварительной аэрацией воды, широко применяемый для удаления из нее железа, требует для регенерации загрузки больших объемов воды на промывку фильтров, составляющих до 10 % и более от производительности станции водоподготовки. В соответствии с ТКП 45-4.01-31-2009 «Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования» при производительности станции более 5000 м³/сут промывные воды следует подвергать специальной обработке, которая в большинстве случаев сводится к отстаиванию в статических отстойниках. Продолжительность отстаивания должна быть не менее шести часов, после чего осветленную воду равномерно перекачивают в голову сооружений с расходом не более 5 % от общего станции. Продолжительность перекачки в зависимости от содержания железа в промывных водах после отстаивания может составлять от трех до пяти часов.

Исследования проводились на экспериментальной установке, состоящей из модельного фильтра с песчаной загрузкой и отстойника. Часть опытов проводилась без добавления промывных вод для уточнения параметров протекания процесса. Другая часть проводилась с добавлением промывных вод после отстаивания в течение 6 или 12 часов. Во время проведения опытов каждые 30 минут контролировались содержание железа, скорость фильтрования и потери напора.

По результатам исследований, проводившихся как в лабораторных, так и в полупроизводственных условиях, выполнена статистическая обработка данных и получены регрессионные модели протекающих процессов. Выявлено, что возврат осветленных промывных вод в количестве, не превышающем 5% от расхода очищаемой воды, не оказывает заметного ухудшения протекания процесса обезжелезивания подземных вод и не приводит к значительному увеличению потерь напора. Ниже представлена регрессионная модель для расчета потерь напора в фильтре (H , см) в зависимости от исходного содержания железа в воде ($Fe_{исх}$, мг/л), скорости фильтрования (v , м/ч) и его продолжительности работы фильтра (t , ч):

$$H = 21,61 + 1,015 Fe_{исх} + 5,13 v + 5,7 t$$

При содержании железа 10 мг/л, скорости фильтрования 10 м/ч и продолжительности работы фильтра в течение 24-х часов потери напора составят $H = 21,61 + 10,15 + 51,3 + 136,8 = 219,9$ м, что значительно меньше допустимого значения 3 м (300 см).

Комплексная электростанция на станции водоочистки

Смирнов А.И.

НПООО «Малая энергетика»

Гатилло С.П., Моргунов С.В., Ясько Г.М.

Белорусский национальный технический университет

Успехи в области использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) зависят в первую очередь, конечно, от их потенциальных запасов в той или иной стране. Но 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, гидроэнергетических установок, тепловых насосов. При рассмотрении работы очистных сооружений крупного города наиболее логичным является использование в первую очередь основного объекта их производства – сточных вод.

После очистки сточных вод очищенная вода отводится в ближайший водоток, а иловый осадок транспортируется к месту захоронения в иловых прудах-накопителях.

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

Был проведен анализ возможностей установки гидроагрегатов на отводящем тракте водовыпуска МСА. Имеющийся расход воды (до $9,7 \text{ м}^3/\text{с}$) и перепад уровней (от 7,0 до 8,0 метров) при отводе водного потока в р.Свислочь позволяют установить гидроагрегаты общей мощностью до 500 кВт.

Что касается илового осадка, получаемого после процесса очистки сточных вод г.Минска, то он может быть использован для получения биогаза путем мезофильного сбраживания в метантенках, устанавливаемых на территории МСА. Затем биогаз может быть сожжен с помощью когенерационных установок, позволяющих получить электрическую и тепловую энергию. При этом общая мощность когенерационных установок может быть принята равной 3,8 МВт. Некоторая часть электроэнергии и все тепло будет использовано для поддержания процесса сбраживания, остальная электроэнергия будет поступать в электроэнергосистему.

Перспективы гидро- и ветроэнергетики Беларуси

Смирнов А.И.* , Гатилло С.П.

НПООО «Малая энергетика»*

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в стране работает более 40 малых ГЭС общей установленной мощностью около 15 000 кВт.

Основной гидроэнергетический потенциал Республики Беларусь сосредоточен на трех реках: Западной Двине, Немане и Днепре. На Западной Двине намечено сооружение каскада из четырех ГЭС: Верхнедвинской (установленной мощностью 29,0 МВт), Полоцкой (23,0 МВт), Бешенковичской (30,5 МВт) и Витебской (40,0 МВт). На реке Неман намечено сооружение каскада из двух ГЭС: Гродненской (17,0 МВт) и Немновской (20,5 МВт). На реке Днепр намечено сооружение каскада из трех ГЭС: Оршанской (4,9 МВт), Шкловской (5,5 МВт) и Могилевской (5,0 МВт).

Кроме указанных выше относительно крупных для Беларуси ГЭС, в ближайшие 10 лет достаточно реально сооружение ряда малых ГЭС на существующих водохранилищах, на притоках основных рек (Неман, Зап. Двина, Днепр), а также на промышленных водосбросах, в частности, на очистных сооружениях.

С учетом указанных малых ГЭС общий гидроэнергетический потенциал можно с достаточной степенью достоверности оценить в размере 215 – 220 МВт. Проведенные исследования показали, что для большинства ГЭС число часов использования максимума установленной мощности лежит в пределах 4500 – 5000 час/год.

Что касается ветроэнергетического потенциала Беларуси, то в стране имеется как минимум 50-70 площадок, подходящих для сооружения ветроэлектростанций (ВЭС) или даже ветроэлектроустановок (ВЭУ) или даже ветроэлектростанций (ВЭС). Это природные возвышенности с фоновыми скоростями ветра на высоте 10 м от 5,9 до 6,2 м/с, что соответствует скоростям ветра на высоте ступицы рабочих колес ВЭУ 50 - 90 м соответственно 7,5 – 8,5 м/с. Т.е. скоростям, при которых применение ВЭУ технически возможно и оправдано. Следовательно, скромно, но смело 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 будет говорить о потенциале в 1600 МВт. Используя его, можно будет вырабатывать порядка 3 млрд. кВт*ч электроэнергии ежегодно.

Измерительные информационные системы бассейнов рек

Рогунович В. П., Евдокимов В. А.

Белорусский национальный технический университет

Вследствие влияния природных и техногенных факторов частота возникновения и интенсивность чрезвычайных явлений в гидросфере существенно возросла. Анализ паводковых явлений на территории Беларуси показал увеличение экстремальных величин стока в период после 1965г. на Припяти с 14 до 30%, на Западной Двине с 16 до 26% [1].

В сложившейся ситуации следует не только стремиться к минимизации отдельных видов ущербов, но и создавать интегрированные технологии, способствующие как снижению последствий природных катаклизмов, так и повышению безопасности при возникновении экстремальных явлений в гидросфере.

Сотрудниками кафедры гидротехнического и энергетического строительства БНТУ совместно с кафедрой радиофизики БГУ при поддержке Министерства образования Республики Беларусь по гранту № ГР2007905 создана экспериментальная многоканальная автоматическая измерительная информационная система (ИИС) для изучения разрывных и плавно изменяющихся течений жидкостей и газов. Система позволяет с заданной частотой дискретизации во времени наблюдать характеристики разрывных и плавно изменяющихся процессов при помощи десятков разнородных датчиков. Первая модификация ИИС ориентирована на измерение полей локальных давлений, скоростей воды и уровней на различных вертикалях в окрестности исследуемого объекта. Результаты наблюдений обрабатываются в автоматическом режиме и представляются в виде осредненных значений относительных характеристик с доверительными интервалами заданной доверительной вероятности.

Принципиальная особенность созданной ИИС – возможность оперативной подкалибровки датчиков перед измерениями и проверки калибровки после измерений. ИИС можно использовать для оценки устойчивости сооружений в пойме водотоков, обосновании рекомендаций по их защите, выработки эффективных управленческих решений, основанных на достоверной и наиболее полной оперативной информации. Оснащение ИИС современными автоматическими средствами передачи и приема информации будет способствовать процессу перехода к давно обсуждаемому и необходимому бассейновому принципу управления водными ресурсами.

1. Гольберг, М.А. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справочник. Республиканский гидрометеорологический центр. - Мн.: Бел НИЦ "Экология", 2002.-132 с.

Определение расстояний между дренами при реконструкции мелиоративных систем Белорусского Полесья

Селезнев В.И., Линкевич Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

При мелиорации торфяно-болотных почв Белорусского Полесья строились в 80-90 годы 20-го столетия в основном осушительно-увлажнительные системы. В целях увеличения производства высококачественных и дешевых кормов и предохранения торфяных почв от излишней минерализации, ветровой и водной эрозии осуществляется переход к использованию этих земель в качестве культурных сенокосов и пастбищ или же в севооборотах с преобладанием многолетних трав.

Современная реконструкция мелиоративных систем должна проводиться со строгим учетом всех природных особенностей каждого массива. Недопустимо глубокое (сверх нормы) понижение грунтовых вод, а необходимы осушительно-увлажнительные системы, чтобы регулировать влажность корнеобитаемого слоя в оптимальных пределах.

При реконструкции мелиоративных систем Полесья, там, где мелкозалежные торфяники, подстилаются песками и необходимо проводить шлюзование, поскольку рельеф местности малоуклонный.

В 2010 году вышел из печати ТКП 45-3.04-177-2009 (02250) "Реконструкция осушительных систем. Правила проектирования", где не рассматриваются вопросы подпочвенного увлажнения.

Расстояние между дренами мелиоративных систем необходимо рассчитывать как для условия осушения в весенний период, так и для увлажнения в летний, по методике А.И. Мурашко или формулам А.И. Ивицкого, которые учитывают действие проводящей сети, принимая меньшее.

При увлажнении шлюзованием не следует допустить предельного снижения УГВ, а делать предупредительное шлюзование, то есть при опускании УГВ на величину, близкую к оптимальной норме осушения, ограничить сток с полей путем закрытия подпорных сооружений.

Высокое плодородие мелиорируемых земель обеспечивается созданием благоприятного для сельскохозяйственных растений водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя и внесением удобрений.

Верхний предел оптимального влагосодержания почвы обычно выражают через необходимый минимум аэрации в процентах от полной скважности (85%). Нижний предел легкодоступного влагосодержания выражают в процентах от предельной полевой влагоемкости (ПВ), под которой понимается максимальная водоудерживающая способность почвы, находящейся выше капиллярной каймы (75-80%).

Особенности распределения продольных осредненных скоростей в неравномерных и неустановившихся открытых потоках

Богданович М.И.

Белорусский национальный технический университет

В неравномерных и неустановившихся открытых потоках поля продольных скоростей могут иметь отличия от полей скоростей равномерных потоков. Это необходимо учитывать при решении многих водохозяйственных задач.

Теоретические исследования распределения скоростей в неравномерных и неустановившихся открытых потоках позволяют сделать лишь качественный вывод о подобии «при определенных условиях» их полей скоростей с полями скоростей равномерных потоков. Поэтому получение практических результатов связано с экспериментальными исследованиями.

Немногочисленные результаты экспериментальных исследований неравномерных и неустановившихся открытых потоков, которые опубликованы, имеют противоречивый характер. Например, имеются утверждения, что профили скоростей при неравномерном движении в открытых потоках незначительно отличаются от профилей скоростей равномерных потоков (Залуцкий, Зубков) и обратные утверждения (Лийв У.Р.). Результаты исследований в открытых неустановившихся потоках, выполненные Шабриным А.Н. показали, что профили скоростей в равномерных и неустановившихся потоках одинаковы, тогда как исследования Федорова Г.Ф. показывают, что при ускоренном движении профиль скорости более заполнен, а при замедленном менее заполнен, чем при равномерном движении воды.

Выполнен анализ результатов наших экспериментальных исследований неустановившихся открытых потоков. При этом использовались новые параметры неравномерности и нестационарности a и b :

$$a = \frac{C^2 h}{g v^2} \frac{\partial v}{\partial t} \quad b = \frac{C^2 h}{g v^2} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}$$

Здесь l -продольная координата; $v = Q/\omega$ - средняя скорость (Q -расход воды; ω - площадь живого сечения.); C -коэффициент Шези; $h = \omega/B$ - средняя глубина в живом сечении (B -ширина сечения по зеркалу воды); g -ускорение свободного падения; t - время. Анализ показывает, что влияние неравномерности и нестационарности движения воды на поле скорости существенно зависит от отношения сил инерции потока к силам сопротивления. С использованием новых параметров появилась возможность определить степени нестационарности, при которых профили скоростей нестационарных потоков близки к профилям скоростей равномерных потоков, или отличаются от них существенно.

К вопросу подбора смесительных насосов для системы отопления

Копко В.М., Покотилов В.В.

Белорусский национальный технический университет

В диапазоне температуры наружного воздуха $t_n = +8^\circ\text{C}$ до температуры в точке излома графика центрального и качественного регулирования t_n и температура сетевой воды задается не ниже $t_1 = 70^\circ\text{C}$ ввиду необходимости нагрева водопроводной воды на нужды горячего водоснабжения до температуры не ниже $t_r = 60^\circ\text{C}$. Поэтому температура сетевой воды для систем отопления здания в этот период значительно выше требуемой, что приводит к «перетопу» при отсутствии эффективной системы автоматизации теплового пункта.

Предлагается поддерживать температуру воды в системах отопления по графику качественного регулирования путем подмешивания обратной воды в узле смешения индивидуальных тепловых пунктов (ИТП). Предусматривается установка смесительного насоса на перемычке вместо элеватора. Тип смесительного насоса – с электронным управлением скорости вращения ротора по задаваемому перепаду давления на насосе, подача смесительного насоса $G_n = G_{\text{общ}}$, равная сумме расходов прямой воды G_1 и подмешиваемой G_2 , расчетный расход в системе отопления равен $G_{\text{общ}}$, расчетные потери давления в системе отопления равны $\Delta P_{\text{лотр.}}$, а расчетные потери давления регулирующего органа $\Delta P_{\text{р.о.}}$, устанавливаемого на подающем трубопроводе перед узлом смешения. Перепад давления перед узлом смешения при любом гидравлическом режиме является неизменным $\Delta H = \text{const}$.

В этом случае суммарная расчетная насосная характеристика совпадает с требуемой насосной характеристикой и соответствует суммарным насосным характеристикам при любой степени открытия регулирующего органа (РО).

Гидравлические характеристики системы будут соответствовать требуемым параметрам $G_{\text{общ}}$ и $\Delta P_{\text{лотр.}}$ при любой степени открытия РО, например, при любом положении РО общий расход в системе отопления не изменяется $G_{\text{общ}} = G_1 + G_2$.

Описанный гидравлический режим обеспечивает требуемые характеристики узла смешения в процессе автоматического регулирования и является наиболее приемлемым для автоматизации индивидуальных тепловых пунктов при зависимой схеме присоединения к тепловым сетям.

**Методические рекомендации по выполнению работы по расчету
тканевого фильтра для очистки выбросов в атмосферу**

Сизов В. Д., Короткий В. Н., Бракович И. С.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с утвержденной программой по дисциплине «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение» студенты должны выполнить расчетно-графическую работу, которая включает три раздела из программы курса, а именно: расчет циклона – пылеуловителя, расчет систем термической и каталитической очистки газовых выбросов. Но такой важный раздел, как фильтрование газовых выбросов, которому в настоящее время в условиях промышленного производства уделяется все большее внимание, оказался неохваченным. Поэтому и возникла необходимость разработки новой расчетно-графической работы.

Основная цель работы – научить студентов по заданным параметрам исходных данных рассчитывать основные технические характеристики рукавных фильтров. Для этого в качестве исходных данных задаются следующие параметры: расход газов, концентрация пыли на выходе, плотность частиц, медианный диаметр частиц пыли, температура отходящих газов. Исходные данные задаются формулами для их расчета, где в качестве переменной функции выступает номер студента в списке группы, что позволит исключить дублирование исходных данных, а также обеспечить простое и эффективное контролирование выполнения работы со стороны преподавателя. Кроме того, студентам необходимо подобрать вентилятор и определить мощность электродвигателя привода при заданном значении гидравлического сопротивления системы, КПД вентилятора и других параметров системы.

Методические рекомендации должны содержать кроме формул для расчета исходных данных теоретические материалы по процессам фильтрации в волокнистых, тканевых и зернистых фильтрах. Основные методы расчета рукавных фильтров базируются не только на методах математического анализа, но и требуют от студентов овладения навыками подбора технологического оборудования по заданным параметрам, поэтому рекомендации должны сопровождаться необходимым табличным и графическим материалом. Кроме того, они должны содержать примеры расчета как самих исходных данных, так и параметров фильтров, подбора вентилятора и определения мощности электродвигателя привода.

Для более детального ознакомления с методами расчета параметров рукавных фильтров, включая и процессы регенерации фильтров, должен быть приведен список основной и дополнительной литературы.

Термодинамические особенности определения теплотерь паропроводов при транспортировке перегретого пара

Сизов В. Д., Кудрявцев П. А.

Белорусский национальный технический университет

При транспортировке перегретого пара с незначительным перегревом (порядка 20-30 °С) на большие расстояния (свыше 1 км) могут возникнуть предпосылки к его конденсации и перехода пара в состояние сухого насыщенного, а затем и влажного насыщенного.

Для предотвращения нежелательных состояний пара проводится расчёт точки насыщения графическим методом, для чего строится кривая изменения температуры пара по длине паропровода, соответствующую ей кривую изменения давлений пара по длине трубопровода, а также соответствующую ей кривую температур насыщения насыщенным давлением пара. Абсцисса точки пересечения последних двух кривых даёт расстояние от начала паропровода до точки конденсации.

В инженерных расчётах при определении энтальпии пара на выходе из паропровода у потребителей энтропия пара (её изменение в начале и в конце паропровода) не учитывается. В действительности же эта зависимость существует:

$$h_2(p_2, t_2) = h_1(p_1, t_1) + T_0(s_2 - s_1).$$

Однако получить её в аналитическом виде, удобном для расчётов на данный момент не представляется возможным (в экспериментальном виде представлены лишь номограммы).

На состояние пара у потребителя в значительной мере влияет падение давления по длине и в местных сопротивлениях (по существующей методике теплотери главным образом определяют состояние пара, а потери давления учитываются косвенно в дросселирующем эффекте, величина которого принимается по таблицам в зависимости от давления пара и степени перегрева). Практические данные (паропровод, поставляющий пар на фабрику комбикорма в Смиловичах) показывают недостаточную точность данной методики и требуют более точного учёта падения давления пара на магистральных участках, что также подтверждается теоретически при эксергетическом анализе данного процесса.

Для решения поставленных проблем требуются дальнейшие исследования в данной области с целью получения аналитической зависимости для уточнения существующей методики инженерного расчёта проектируемых паропроводов, а также устранения недостатков с минимальными финансовыми затратами на уже введённых в эксплуатацию паропроводах.

Особенности организации и планирования монтажа тепловых сетей из ПИ-труб при бесканальной прокладке

Станецкая И.И., Каливиченко Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Технология бесканальной прокладки предварительно изолированных в заводских условиях труб и фасонных частей для систем теплоснабжения является прогрессивным способом энергосбережения, поскольку позволяет снизить тепловые потери, увеличить срок службы трубопроводов, уменьшить годовые затраты на эксплуатацию тепловых сетей.

Предварительно изолированные трубы (ПИ-трубы) представляют собой жесткую конструкцию типа «труба в трубе», состоящую из стальной трубы, изолирующего слоя из пенополиуретана и внешней защитной оболочки из полиэтилена низкого давления, выполненной методом экструзии. ПИ-трубы и фасонные изделия серийно оснащены сигнальными проводами системы дистанционного контроля (СОДК).

Технология монтажа ПИ-труб и ПИ-фасонных частей при бесканальной прокладке имеет ряд особенностей по сравнению с прокладкой стальных труб, например, в армопенобетонной, пенобетонной, битумоперлитовой или другой изоляции, которые в свою очередь отражаются в вопросах организации и планирования строительно-монтажных работ.

Основными из них являются:

- монтаж трубопроводов выполняется, как правило, на дне траншеи; допускается производить сварку прямых участков труб в секции на бровке траншеи только в том случае, если это оговаривается проектом;

- отрывка прямых для сварки требует больших трудозатрат, так как количество прямых определяется количеством стыковых соединений, причем в прямых осуществляется не только сварка ПИ-труб и монтаж фасонных частей, но и теплогидроизоляция стыков и монтаж СОДК;

- стыковые соединения ПИ-труб являются не только самым ответственным элементом трассы, но и самым трудоемким; монтаж СОДК и заделка стыков требуют использования специальных материалов, оборудования, соблюдения технологии и специального обученного персонала;

- тепловые камеры по трассе не предусматриваются; управление запорной арматурой – шаровыми кранами – осуществляется через люки и необслуживаемые колодцы диаметром 100...300 мм; монтажные работы по устройству узлов управления шаровыми кранами требуют гораздо меньших трудозатрат по сравнению с монтажом тепловых камер.

Все эти особенности должны быть отражены при разработке основного документа ППР – календарного плана производства работ.

К вопросу подбора оборудования газорегуляторных пунктов и установок

Артихович В.В.

Белорусский национальный технический университет

В последние годы в организациях газового хозяйства Республики Беларусь активно внедряются новые образцы оборудования ГРП (ГРУ) производства РУП «Белгазтехника». Но в технической документации на это оборудование отсутствуют расчетные зависимости для определения пропускной способности регуляторов давления, сопротивления фильтров при параметрах газа, отличных от паспортных. Поэтому подбор регуляторов давления и фильтров приходится производить по максимальному расходу газа при заданном максимальном входном давлении, в результате чего они зачастую подбираются с запасом (большого калибра).

Потери давления в фильтрах ФГ могут быть определены по формуле

$$\Delta P_{\phi} = \Delta P_{\phi} \cdot \left(\frac{V_p}{V_n} \right)^2 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_n} \cdot \frac{P_{\phi}}{P_{\phi n}}, \quad (1)$$

где ΔP_{ϕ} – сопротивление фильтра (МПа) при расходе газа V_n ($\text{м}^3/\text{ч}$), давление газа перед фильтром $P_{\phi n}$ (МПа) и плотности газа $\rho_n = 0,73 \text{ кг/м}^3$ (применяется по паспортным данным); V_p , ρ_0 , P_{ϕ} – фактические значения расхода, плотности и давления газа перед фильтром.

Для определения пропускной способности комбинированных регуляторов давления могут быть использованы следующие выражения:

$$\text{при } P_2/P_1 < 0,55 \quad V = 0,855 \frac{V_n \cdot P_1}{P_{1n} \cdot \sqrt{\rho_0}}; \quad (2)$$

$$\text{при } P_2/P_1 \geq 0,55 \quad V = 0,855 V_n \sqrt{\frac{\Delta P \cdot P_2}{\Delta P_n \cdot \rho_0 \cdot \rho_{2n}}}; \quad (3)$$

где V_n – пропускная способность регулятора ($\text{м}^3/\text{ч}$) при абсолютном давлении газа перед регулятором P_{1n} (МПа) и после него P_{2n} (МПа), плотности газа $\rho_n = 0,73 \text{ кг/м}^3$ (принимаются по паспортным данным); V , P_1 , P_2 , ρ_0 – фактические значения этих параметров.

После определения пропускной способности регулятора давления проверяется устойчивость его работы. Он работает устойчиво, если расход газа через него находится в пределах 20-80 % от пропускной способности. Если это условие не соблюдается, следует принять к установке другой регулятор давления.

Тепловой режим промышленного холодильника

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

Необходимость расчета теплового режима здания промышленного холодильника вызвана определением необходимого термического сопротивления строительных конструкций при переводе холодильника на более низкий температурный уровень эксплуатации с $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. и нахождением толщины дополнительной теплоизоляции.

Теплопритоки в помещения холодильника составляют

$$Q = \sum Q_1 + \sum Q_2 + \sum Q_3 + \sum Q_4.$$

В балансе учитывали теплопритоки за счет теплопередачи через строительные конструкции $Q_{1т}$ и от солнечного нагрева стен и потолка камер, $Q_{1с}$; от термообработки продукции, $Q_{2пр}$ и от тепла вносимой тары $Q_{2т}$; от вентиляции, Q_3 ; от инфильтрации наружного воздуха в камеры вследствие открывания дверей, $Q_{4инф}$, от освещения, $Q_{4ос}$, от присутствия персонала, $Q_{4лс}$; от подъемно-транспортных средств, $Q_{4тр}$; от двигателей вентиляторов, $Q_{4эл}$; тепловыделения при оттаивании испарителей $Q_{4н}$; тепловые нагрузки, связанные с созданием ледяных экранов, $Q_{4э}$, и тепловыделения прочих механизмов, работающих в камере - $Q_{4пр}$.

При определении теплопритоков через наружные ограждения коэффициенты теплопроводности материалов теплоизоляционной конструкции принимались с учетом их действительной массовой влажности.

Фактическое сопротивление теплопередаче наружных стен южного направления $R_T = 3,55\text{ (м}^2\text{ }^{\circ}\text{C)/Вт}$, а северо-западного направления – $3,29\text{ (м}^2\text{ }^{\circ}\text{C)/Вт}$

Теплопритоки эксплуатируемого холодильника, полученные расчетом с учетом состояния ограждающих конструкций и их действительных величин сопротивления теплопередаче, соответственно равны: 668 кВт при $t_x = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 704 кВт при $t_x = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$, причем из всех теплопритоков наибольшее значение имеют первые два: $\sum Q_1$ и $\sum Q_2$.

Задача уменьшения теплоступлений решена за счет увеличения сопротивления теплопередаче наружных стен до нормативной величины в соответствии с ТКП 45-3.02-151-2009 «Промышленные холодильники» равной $R_T = 4,7\text{ м}^2\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ и изменения технологического регламента загрузки-разгрузки холодильника.

Результаты расчетов теплового режима холодильника использованы при проектировании дополнительной изоляции промышленного объекта.

Вопросы энергосбережения на заводах ЖБИ

Орлович А.И., Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Производство бетона и железобетона в нашей стране относится к высокоэнергоемкой отрасли, хотя при сопоставлении с технически развитыми странами есть основание полагать, что резервы экономии энергоресурсов имеются значительные. Проводимые на протяжении нескольких десятилетий техническое перевооружение и реконструкция предприятий по производству бетонных и железобетонных изделий значительно снизили энергопотребление в данной отрасли. В 80-х годах удельный расход теплоносителя на производство 1 м^3 бетонных изделий составлял в среднем 2000 МДж/м^3 , в 90-х годах уже – $1250 - 1460 \text{ МДж/м}^3$, а в настоящее время – $920 - 1130 \text{ МДж/м}^3$, однако и эта цифра в 2-3 раза превышает удельный показатель в технически развитых странах.

Наличие значительного парка морально и физически устаревшего теплотехнического оборудования, слабая обеспеченность предприятий современными средствами учета и контроля потребления теплоты не дают возможности сократить удельные расходы теплоты. Тепловые установки на заводах – это преимущественно ямные пропарочные камеры (75%). Основным теплоносителем в технологическом процессе является водяной пар. КПД его использования низок и составляет 12-18%. Анализ статей теплового баланса установок показывает, что непроизводительные затраты тепловой энергии составляют около 40 – 70%. В тепловых сетях потери теплоты зависят от протяженности трассы, способа ее прокладки и надежности тепловой изоляции.

На наш взгляд необходимо более взвешенно подходить к выбору теплотехнического оборудования и виду теплоносителя. Применение способов ускорения твердения бетона с использованием электрической энергии, органических и неорганических масел, замена парка ямных пропарочных камер современными тепловыми установками позволит повысить эффективность производства бетона и снизить энергопотребление.

В этом случае снизится нагрузка на канализационные сети, а отсутствие паровых сетей с паропроводами высокого давления, конденсатных сетей и приближение источника теплоснабжения к потребителю, не только уменьшит удельные расходы теплоты, но и будет способствовать улучшению санитарно-гигиенических условий в цехах.

Устаревшие психологические стереотипы, выражающиеся в неверии в эффективность и целесообразность энергосбережения на заводах ЖБИ, также являются тормозом в снижении потребления теплоты.

Нестеров Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что нормативные документы по строительству, которые используются для проектирования, расчета, монтажа и другим технологическим процессам, должны содержать научно обоснованные данные, проверенные практикой. Они должны отражать современный уровень развития отрасли, технологии и применения новых материалов. В этом смысле ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника» в некоторых вопросах обладает неопределенностью, неточностью и даже ошибками.

Основные вопросы по ТКП возникают при рассмотрении влажностного режима наружных ограждений. В соответствии с п.9, при расчете сопротивления паропрооницанию ограждений в качестве параметров наружного воздуха принимаются средние за отопительный период температура и относительная влажность. Проводя аналогию в физических процессах (перенос теплоты и водяного пара) в случае расчета влажностного режима параметры наружного воздуха необходимо принимать в соответствии с периодом максимального проявления влажностных процессов. В прежних СНиП даже при их многочисленных переизданиях расчетными параметрами наружного воздуха для этого расчета являлись параметры наиболее холодного месяца, т.е. более «жесткие» условия по сравнению с принимаемыми сейчас в Беларуси. Эти же параметры рекомендуются и К.Ф.Фокиным – неоспоримым специалистом в строительной теплофизике. На наш взгляд следует «вернуть» эти параметры. В этом же п.9 указывается на положение плоскости возможной конденсации в многослойной конструкции при наличии слоя теплоизоляции. А если теплоизоляционных слоев два? Современная схема утепления трехслойных панельных стен как раз и предусматривает наличие дополнительной изоляции. Этот вариант должен быть оговорен в документе.

Вопрос по поводу защитного слоя при утеплении зданий. Как правило, это полимерная композиция (клей, сетка, краска) и, несмотря на небольшую толщину, может представлять значительное сопротивление паропрооницанию. Таблицу приложения Ж ТКП следует дополнить применяемыми в настоящее время материалами.

В соответствии с пп. 8.1, 8.2 необходимо рассчитывать требуемое сопротивление воздухопроницанию наружных ограждений (стен). В прежних СНиП с ней сравнивалась величина действительного сопротивления воздухопроницанию. Однако что с этой характеристикой делать в дальнейшем не указывается.

**Тепло-и массоперенос в стволах
дымовых труб**

Акельев В.Д, Крень В.В.

Белорусский национальный технический университет

В сложившихся на сегодняшний день условиях организации, использующие в своем производстве котельные, заинтересованы не только в эффективном сжигании топлива, но и в снижении выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Данная тенденция объясняется повышением суммы штрафов за превышение допустимых выбросов предприятиями.

В ходе научно-исследовательской работы были проанализированы конструктивные и тепломассозащитные решения отдельных элементов дымовой трубы и предложена технология, которая исключает низкотемпературную коррозию несущих слоев дымовой трубы и предотвращает выброс в атмосферу части загрязняющих веществ, содержащихся в дымовых газах.

Предлагаемый способ реконструкции предусматривает установку стеклопластикового газоотводящего ствола внутри железобетонной оболочки дымовой трубы.

В кольцевое пространство, образовавшееся вследствие разности диаметров снизу и сверху стеклопластиковой трубы, организовывается приток наружного воздуха через воздушные клапаны. Наружный воздух, омывая стеклопластиковый газопровод у внешней поверхности, понижает температуру его внутренней поверхности до «точки росы».

В холодный период года, когда температура внутренней поверхности газопровода достигает «точки росы» без организации притока наружного воздуха, воздушные клапаны закрываются. В качестве исполнительного механизма воздушных клапанов может быть использован электрический привод, который позволяет регулировать количество наружного воздуха.

В теплый период года, когда наружный воздух имеет слишком высокую температуру, для охлаждения может быть использована вода технического качества, омывающая внутреннюю либо наружную поверхность газопровода.

Для сбора конденсата, образовавшегося на стеклопластиковом газопроводе, предусматривается лоток в форме кольца, подключенный к системе дренажа.

Предложенная технология позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу, а также создать устойчивую к процессам низкотемпературной коррозии конструкцию, сохраняя при этом требуемые теплотехнические, аэродинамические и другие характеристики дымовой трубы.

**Использование ячеистых ограниченных контуров
в наружных ограждающих конструкциях**

Акельев В. Д., Адамович А.И.

Белорусский национальный технический университет

Использование ограниченных контуров в ограждающих конструкциях позволяет, при тех же прочностных, деформационных характеристиках, иметь сопротивление теплопередаче не менее чем нормируемое в ТКП «Строительная теплофизика», снизить стоимость строительства, увеличить паропроницаемость, ускорить монтажные работы, снизить транспортные расходы.

Ограниченные контуры – это контуры цилиндрических, сферических и других форм, из которых komponуются модули различных профилей.

Ограниченные контуры komponуются в укрупненные модули и используются в качестве теплоизоляционных материалов при производстве стеновых панелей. Технология производства стеновых панелей остается неизменной, но в них вместо минераловатных плит и пенополистирола используются укрупненные модули из ограниченных контуров. Для уменьшения радиационного теплообмена в укрупненные модули помещают три слоя материала с высокой отражательной способностью и с высокой паропроницаемостью. Высокая паропроницаемость достигается также путем точечного соединения контуров между собой.

Ограниченные контуры можно использовать и в горизонтально ориентированных конструкциях, и в конструкциях, ориентированных под углом к горизонтальной плоскости.

Одним из определяющих критериев при выборе теплоизоляционного материала является его стоимость. Теплоизоляция из пенополистирола дешевле теплоизоляции из минераловатных плит, поэтому актуально проводить сравнительный анализ стоимости теплоизоляций из пенополистирола и ячеистых ограниченных контуров. Исходным сырьем для ячеистых ограниченных контуров, как и для пенополистирола, будут являться полимерные материалы, стоимость которых приблизительно равна. Затраты по трудоемкости, стоимости используемых машин и механизмов, времени производства будут приблизительно одинаковы. Укрупненные модули из ячеистых ограниченных контуров можно производить непосредственно на заводах крупнопанельного домостроения, что значительно снизит транспортные расходы. Предлагаемый теплоизоляционный материал из ячеистых ограниченных контуров будет не дороже используемых теплоизоляционных материалов на сегодняшний день, но паропроницаемость у предлагаемого материала гораздо выше, что является его преимуществом.

Особенности процессов тепло- и массообмена в общественных зданиях с большой площадью светопрозрачных конструкций

Борухова Л.В., Шибeko А.С.

Белорусский национальный технический университет

В результате обследования зданий, имеющих большую площадь светопрозрачных конструкций, установлено несоответствие параметров микроклимата большинства помещений требованиям санитарно-гигиенических в тёплый период года. Анализируя работу систем вентиляции и проектные данные на примере здания ОАО «БПС-Банк», был сделан вывод, что причинами несоответствия являются не только эксплуатационные недостатки, но определённые особенности, которые необходимо учитывать при расчёте и конструировании.

Во-первых, это расчёт теплопоступлений через заполнение световых проёмов в помещения с большой площадью светопрозрачных конструкций. Современное увеличение площади светопрозрачных конструкций ведёт к тому, что данный вид теплопоступлений для общественных зданий становится доминирующим.

Во-вторых, вентиляция большинства таких помещений рассчитывается по кратностям. В настоящее время для рабочих кабинетов и комнат кратность притока и вытяжки установлена 1,5...2. Однако кратности нуждаются в корректировке, так как они определены для холодного периода года при определённом количестве людей и не учитывают современную насыщенность офисов оргтехникой и ориентацию помещений.

В-третьих, необходимо уделять особое внимание расположению вентиляционного оборудования, протяжённости вентиляционных трактов и воздухозаборных устройств. Например, большая протяжённость всасывающего тракта приточных систем ведёт к тому, что в тёплый период года температура приточного воздуха выше температуры наружного воздуха.

В связи с этим, при расчёте теплопоступлений можно, во-первых, для условий Республики Беларусь количество теплоты, поступающей на вертикальные и горизонтальные поверхности, сделать независимыми от широты и усреднить значения для 54° северной широты. Во-вторых, отказаться от использования величин прямой и рассеянной солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление, а использовать тепловые потоки, падающие на поверхность. Доля поступившей в помещение теплоты должна учитываться посредством солнечного фактора – отношения общей солнечной энергии, поступающей в помещение через остекление, к энергии падающего солнечного потока. Величина солнечного фактора приводится в документации на стеклопакеты или рассчитывается.

Развитие храмового строительства и способов поддержания параметров микроклимата помещений православных храмов

Борухова Л.В., Гумашик Е.П.

Белорусский национальный технический университет

Христианский храм как архитектурное сооружение имеет длительную историю своего становления. Уже начиная от древнейшей формы храма, представлявшего собой простую деревянную избу, одним из самых актуальных являлся вопрос поддержания тепловлажностного режима помещений для сохранения наружных ограждающих конструкций, внутреннего убранства и настенной живописи. На протяжении столетий накапливался опыт технических решений и рекомендаций по поддержанию микроклимата помещений, применяемых при строительстве и эксплуатации храмов. Примером могут служить разделение храмов на летний и зимний, использование «подклета», печного отопления совмещенного с воздушным, для поддержания положительных температур в холодный период, сооружение внутренних пониженных сводов и устройство глухих барабанов не сообщающихся с основным объемом храма, для сохранения тепла, а так же использование в качестве ограждающих конструкций материалов с высоким сопротивлением теплопередаче. Искусство создавать сооружения, в которых веками сохранялось внутреннее убранство, было практически утрачено в период вынужденного семидесятилетнего перерыва храмового строительства. В наше время строительство, реконструкция и ремонт храмов ведется с использованием современной нормативной базы, материалов и оборудования. Отсутствие опыта проектирования сооружений подобного типа приводит к возникновению различных проблем при эксплуатации храмов, связанных, как правило, с нарушением тепловлажностного режима помещений.

Основываясь на результатах проведенных исследований параметров микроклимата помещений православных храмов, можно сделать следующие выводы: теплозащитные характеристики ограждающих конструкций современных храмов не соответствуют нормативным требованиям, а так же имеют самую низкую тепловую инерцию по сравнению с конструкциями, применяемыми при строительстве храмов на более ранних этапах; применение конструкций с заниженными теплозащитными характеристиками, в большей степени, перекладывает функцию поддержания требуемых параметров микроклимата на системы отопления и вентиляции. Ошибки при проектировании данных систем, а так же отсутствие комплексного подхода неблагоприятно сказываются на тепловлажностном режиме помещений православных храмов.

Математические методы в проектировании систем отопления и вентиляции

Захаревич А.Э.

Белорусский национальный технический университет

Параметры микроклимата в помещении в значительной мере определяют самочувствие людей, и (или) качество производимой продукции. Поэтому обеспечение требуемых условий внутренней среды в помещениях является важной задачей.

На распределение параметров микроклимата влияет множество факторов, среди которых отметим следующие: теплотехнические свойства ограждений, геометрические характеристики помещения, наличие в нем препятствий для движения воздуха в виде перегородок, мебели, оборудования и т.п., вид, мощность и местоположение отопительных приборов, способ обеспечения вентиляции.

Учесть все многообразие определяющих факторов, а также многомерный и нестационарный характер задачи формирования полей микроклимата возможно только при использовании вычислительной техники и математических методов, применяемых для решения исходных дифференциальных уравнений переноса теплоты и вещества.

Представим применение компьютерного моделирования на примере расчета параметров микроклимата в многосветном пространстве проектируемого торгово-развлекательного центра в г. Минске. Высота сплошного остекления – 20 м. Задача – оценить возможность применения конвекторов для обеспечения допустимой температуры на поверхности витража. Результаты показали, что при столь большой высоте витража возникающий на его поверхности холодный поток воздуха приобретает значительную интенсивность. Теплый поток воздуха от расположенных под остеклением конвекторов не в состоянии справиться с ним. В итоге нагретый воздух от отопительных приборов уносится вглубь помещения. В данных условиях температура внутренней поверхности остекления снижается до отрицательных значений, что неизбежно приводит к образованию инея. Анализ дополнительных расчетов показал, что обеспечить приемлемую температуру поверхности остекления можно при размещении конвекторов непосредственно у витража через каждые 2...3 м по высоте.

Таким образом, численное моделирование все более широко используется в проектной деятельности. Применение компьютерного моделирования на основе системного анализа процессов переноса позволяет с минимальными затратами времени и средств найти оптимальное решение задач по обеспечению требуемых параметров микроклимата.

Анализ основных характеристик водяных гелиоколлекторов и гелиосистем

Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет

Основным компонентом солнечной энергетической системы является солнечный коллектор, который преобразует лучистую энергию солнца в полезную тепловую энергию и отдает это тепло теплоносителю. Теплоноситель переносит тепло в аккумулятор для дальнейшего использования. Для эффективного использования коллектор должен иметь правильную ориентацию и угол наклона (зависит от географической широты местности). Конструктивные элементы плоского солнечного коллектора: прозрачная изоляция, лучепоглощающая поверхность (абсорбер) с трубками для нагреваемой жидкости, корпус, изоляция.

Идеальной поверхностью для абсорбера является та, которая не отражает коротковолнового светового излучения до 2 мкм (она его полностью поглощает) и полностью отражает длинноволновое излучение более 2 мкм (совершенно его не излучает). Такая идеальная поверхность называется селективной поверхностью. Также такая поверхность должна обладать способностью выдерживать кратковременный перегрев поверхности, обладать хорошей коррозионной стойкостью, быть совместимыми с материалом основы и иметь низкую стоимость.

Основной теплотехнической характеристикой коллектора является тепловая эффективность. Она зависит от метеорологических параметров (интенсивность солнечной энергии, температура наружного воздуха), конструктивных характеристик коллектора и свойства абсорбера (материал и толщина листа, толщина и коэффициент теплопроводности теплоизоляции, шаг труб, число слоев остекления и его пропускательная способность), рабочих параметров коллектора (расход теплоносителя и его температура на входе в солнечный коллектор).

Повышение тепловой эффективности солнечных коллекторов может быть достигнуто путем применения: концентраторов солнечного излучения, селективно-поглощающего покрытия абсорбера, вакуумирования пространства внутри коллектора, нескольких слоев прозрачной изоляции, соговой ячеистой структуры в пространстве между абсорбером и остеклением, антиотражательных покрытий на остеклении. Также положительное влияние оказывает низкая температура теплоносителя на входе в коллектор.

В результате применения указанных методов снижаются тепловые потери коллектора, и повышается его тепловая эффективность.

К вопросу реконструкции дымовых труб

Питиримов В. В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время строительные нормы Республики Беларусь (СНиП П-35-76 «Котельные установки», П1-03 «Проектирование автономных и крышных котельных» к СНиП П-35-76) предусматривают проектирование стволов дымовых труб из металла, железобетона и кирпича. Дымовые трубы из этих материалов теплоизолируются и футеруются для обеспечения аэродинамических характеристик системы дымоудаления и увеличения срока эксплуатации. Стоимость строительства дымовых труб существенна, а срок возведения может составлять несколько лет.

Наиболее распространенными являются дымовые трубы из нержавеющей стали, которые имеют меньший срок монтажа и стоимость по сравнению с дымовыми трубами из других указанных материалов, но, следует отметить так же, что дымовые трубы из нержавеющей стали имеют меньший срок эксплуатации.

В настоящее время в странах СНГ получили наибольшее распространение дымовые трубы из стеклопластика для котельных различной теплопроизводительности и работающих на различных видах топлива. Свойства и характеристики стеклопластиковой дымовой трубы напрямую зависят от состава композиционных связующих материалов и от способа изготовления. Прочностные характеристики стеклопластика близки по своим показателям к углеродистой стали, а объемная масса (удельный вес) стеклопластика составляет величину $1,8 \text{ т/м}^3$, что в 4,3 раза меньше, чем у стали. Такие свойства стеклопластика позволяют создавать из него дымовые трубы любой конструкции, как с подвесными, так и с самонесущими газоотводящими стволами, отдельностоящие дымовые трубы и дымовые трубы с газоотводящими стволами, раскрепленными в металлических или железобетонных несущих конструкциях. При этом стеклопластиковые газоотводящие стволы представляют собой единый газонепроницаемый газоотводящий тракт, не имеющий сварных швов или других мест для возможного развития повышенной активной коррозии и мест возможного проникновения конденсата, в процессе эксплуатации отсутствует необходимость периодической очистки внутренней поверхности газоотводящего ствола от продуктов коррозии.

Целесообразность и экономическую эффективность применения стеклопластиковых дымовых труб на территории Республики Беларусь необходимо оценить.

Использование средств автоматизированного проектирования систем ТГВ

Волчек Е.А., Гуриш В.В.

Белорусский национальный технический университет

AutoCAD – это двух- и трехмерная система автоматизированного проектирования (САПР), наиболее популярная в мире на сегодняшний день. Благодаря удачно сделанному интерфейсу, AutoCAD довольно простой в использовании, несмотря на кажущуюся сложность.

За это время были созданы тысячи дополнений и специализированные решения от сторонних фирм и самой компании Autodesk. На данный момент в мире насчитывается около 6 млн. пользователей AutoCAD

В январе 1982 года Джон Уолкер, работавший в то время в созданной им же компании Marinchip Systems, разослал знакомым программистам обычное бумажное письмо, в котором предложил создать компанию, разрабатывающую программное обеспечение. Совершенно революционной идеей Уолкера было создавать программы для персональных компьютеров. 26 апреля 1982 года в Калифорнии была зарегистрирована компания Autodesk, Inc. С июля Autodesk переносит новую программу на платформы CP/M и IBM PC, назначает ей название AutoCAD (датой создания которого считается 25 августа 1982 года) и поздней осенью 82-го демонстрирует программу на выставке, где к ней был проявлен большой интерес.

Ранние версии AutoCAD оперировали простыми объектами, такими как круги, дуги и др., из которых составлялись более сложные объекты. Также первые версии AutoCAD были созданы для работы в MS-DOS. Начиная с AutoCAD 1997 года запускать программу можно только под Windows.

В апреле 1983 выходит AutoCAD R2, в котором добавляется возможность расстановки размеров, в августе 83-го - AutoCAD R3 и так далее. В ноябре 1993 года выходит упрощенная версия — AutoCAD LT, которая позиционируется как программа именно для черчения. В версии AutoCAD 1985 года была добавлена специальная возможность - язык для описания переменных и выражений, в дальнейшем переименованный в AutoLISP. В AutoCAD 1990 года появляется возможность трехмерного моделирования.

С августа 1983 года выпущено 23 версии AutoCAD, с 2003 года новые версии AutoCAD выходят ежегодно, в марте месяце. Последняя на данный момент версия AutoCAD 2011 выпущена 25 марта 2010 г.

Придет время – появятся новые версии AutoCAD, но те, у кого сохранились проекты, созданные в старых версиях, могут не беспокоиться. Новые версии программы сохраняют совместимость со старыми документами, начиная с версии R2 1983 года.

Энергоэффективные технологии

Однозначность капельной формы цилиндрического слоя магнитной жидкости при его распаде

Баштовой В.Г.¹, Рекс А.Г.¹, Налетова В.А.²

¹ Белорусский национальный технический университет, г. Минск

² НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Изучен распад цилиндрических слоев магнитной жидкости на проводнике с электрическим током. Электрический ток создает вокруг себя аксиальное неоднородное магнитное поле с направленным к центру проводника градиентом напряженности.

В неоднородном магнитном поле возникает объемная магнитная сила, под действием которой магнитная жидкость стремится расположиться вокруг проводника и образует цилиндрический слой. При отключении тока под действием капиллярных сил этот слой подобно струе распадается на отдельные капли. Соотношение давления, вызванного объемной магнитной силой, и давления сил поверхностного натяжения характеризуется магнитным числом Бонда $Bo_m = \mu_0 M \nabla H a^2 / \sigma$.

Данная работа посвящена исследованию влияния направления изменения тока в проводнике на капельную форму, которую приобретает цилиндрический слой магнитной жидкости в результате распада.

В эксперименте на горизонтальном цилиндрическом проводнике формировался цилиндрический слой из магнитной жидкости на керосиновой основе МК-23 в водном растворе глицерина.

Капельная форма распавшегося на проводнике слоя магнитной жидкости при промежуточном значении числа Бонда Bo_{mk} была получена двумя способами. Первый способ состоит в полном выключении тока до нуля ($Bo_m \rightarrow 0$) и затем через некоторый промежуток времени – в повторном включении его до значения, которому соответствует промежуточное значение числа Бонда Bo_{mk} .

По второму способу число Бонда изменяется сразу скачком от критического значения ($Bo_m > 1$) до промежуточного Bo_{mk} , и в результате равновесный цилиндрический слой сразу распадается на число капель, соответствующее данному Bo_{mk} .

Установлено, что гистерезис капельной формы распавшегося цилиндрического слоя магнитной жидкости отсутствует. Конфигурация распавшегося слоя при заданном Bo_{mk} является однозначной, т.е. не зависит от характера изменения тока, т.е. и магнитного числа Бонда.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

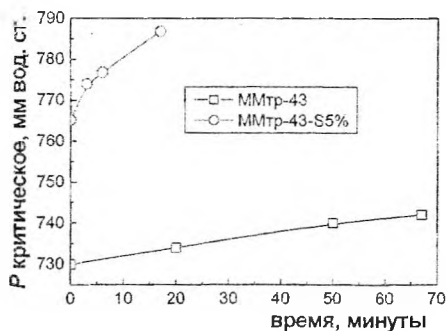
Статика капли магнитной суспензии в цилиндрическом канале*

Рекс А.Г., Климович С.В., Моцар А.А.
Белорусский национальный технический университет

Целью работы является изучение статике капли магнитной жидкости и магнитной суспензии, помещенной в цилиндрический канал.

При нелинейном распределении напряженности магнитного поля в жидкости магнитные частицы концентрируются в тех областях, где напряженность магнитного поля H больше. Это приводит к нелинейному росту величины объемной магнитной силы со временем t . Наличие немагнитных включений в суспензии должно привести к более быстрой переконцентрации частиц и к более быстрому росту величины объемной силы, действующей на каплю суспензии.

В ходе эксперимента капля магнитной жидкости помещается в горизонтальный канал известной конфигурации, расположенный между постоянными магнитами. Величина напряженности магнитного поля близка к однородной в зазоре между магнитами, а по краям магнитов поле ослабевает и имеется градиент поля $\Delta H/\Delta x$ направленный вдоль зазора к его центру. С одной стороны канал сообщается с атмосферой, а с другой на каплю действует сила давления. Силе давления противодействует объемная магнитная сила. На рисунке 1 построена зависимость удерживаемого давления от времени, в течение которого капля находилась в неоднородном поле. Длина капли жидкости $l=15$ мм, оставалась постоянной в ходе всего эксперимента. В эксперименте использовалась магнитная жидкость на основе трансформаторного масла марки ММТр-43,



а также суспензия, изготовленная на ее основе. В качестве немагнитных включений для суспензии использовались частички силики диаметром 0,7 мкм, концентрация которых составила 5%. Установлен более быстрый рост величины удерживаемого давления для суспензии по сравнению с чистой магнитной жидкостью.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

*Работа выполнена под руководством Баитова В.Г.

Исследование возможности использования магнитно-жидкостной мембраны для создания слухового имплантата

Балабанова О.В.

УЗ «10-я Минская городская больница»

Целью работы является, изучение возможности трансформации звуков непосредственно минуя цепь колебаний слуховых косточек среднего уха в жидкостную улитку с помощью магнитно-жидкостной мембраны.

Для исследования возможности создания слухового имплантата, предполагаем, исследовать колебательную систему с магнитно-жидкостным инертным элементом, подпружиненным изолированной газовой полостью.

Система воздействия на жидкостную улитку в границе звукового диапазона представляет собой колебательную систему с управляемой магнитно-жидкостной вставкой. Данную систему можно рассматривать как магнитно-жидкостную мембрану (МЖМ) наделенную свойством приема-излучения звуковых и электромагнитных импульсов.

Схематически устройство создаваемой экспериментальной колебательной системы МЖМ показано на рисунке 1. Оно представляет собой каплю магнитной жидкости 2 перекрывающей внутреннее сечение постоянного кольцевого магнита 1 с внутренним диаметром 5 мм намагниченного вдоль оси. Закрепленную на имитаторе жидкостной улитки 3, к которому подсоединен регистрирующий комплекс в составе АЦП (позиция 8) и ПЭВМ (позиция 9).

Возбуждение МЖМ производит размещенный соосно с постоянным кольцевым магнитом соленоидом 4, который запитан от блока питания 5.

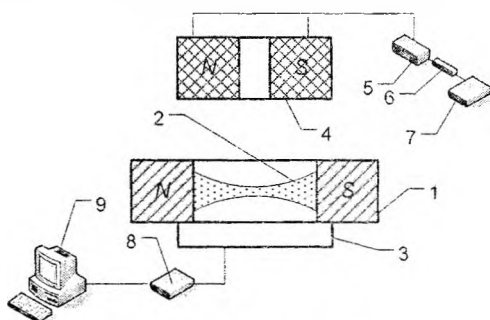


Рисунок 1

Индукующий электромагнитный импульс генерируется генератором частоты 7 через усилитель мощности 6 на основе изменения тока питания соленоида. Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

Влияние броуновской диффузии на «магнитный вес» магнитно- жидкостной суспензии

Баштовой В.Г.¹, Кужир П.П.², Климович С.В.¹

¹ Белорусский национальный технический университет

² Университет Ниццы-Сотифа Антиполис (Франция)

Целью работы является изучение процессов магнитофореза и броуновской диффузии в неоднородном магнитном поле приводящие к перераспределению концентрации частиц в магнитной жидкости (МЖ) и магнитно жидкостной суспензии (МЖС). Экспериментальные исследования выполнены на установке, рисунок 1. Кювета с магнитной жидкостью 1 размещена на немагнитной опоре 2, установленная на электронных весах 6. Регистрация изменения «магнитного веса» МЖ и МЖС производится подключенным к электронным весам персональным компьютером 5. Под кюветой на немагнитной опоре 3 установлен источник неоднородного магнитного поля 2 (система наборов постоянных феррит бариевых или самарии кобальтовых магнитов). Напряженность магнитного поля в области дна кюветы достигала значения 100 кА/м, градиент поля 11000 кА/м². В экспериментах использовались магнитные жидкости на основе трансформаторного масла, они служили основой для магнитно жидкостных суспензий в состав которых вводились немагнитные круглые частицы Silica диаметром D=7 мкм. В объеме МЖ и МЖС происходила переконцентрация ферромагнитных частиц, процесс магнитной диффузии в область наибольшего градиента магнитного поля (возле постоянного магнита). На дне кюветы образовывался слой ферромагнитных частиц, концентрация их была очень заметна относительно остального объема магнитной жидкости в кювете, процесс интенсивнее происходил в МЖС с увеличением концентрации Silica. Графики изменения по магнитному весу для основы ММтр-39 представлены на рисунке 2. Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.

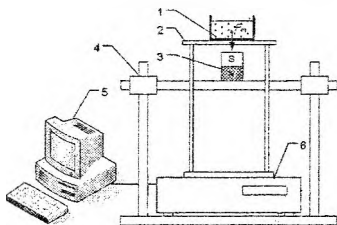


Рисунок 1

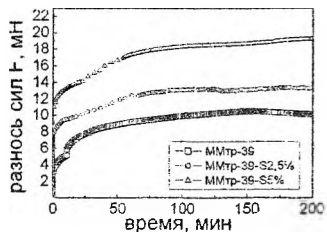


Рисунок 2

Эффективность замещения традиционного моторного топлива его альтернативными видами

Падалко Л.П.

Институт энергетики НАН Беларуси

В настоящее время основными видами топлива, используемыми автомобильным транспортом являются бензин и дизельное топливо, продукты переработки нефти. Запасы нефти ограничены и с каждым годом истощаются.

Актуален поиск альтернативных видов топлива, запасы которых более велики. Запасы природного газа оцениваются в размере, достаточном для его добычи в течение 250 лет. К альтернативным видам топлива, помимо природного газа могут быть отнесены: синтетическое топливо, получаемое из углеводородного сырья, диметиловый эфир, биогаз, генераторный газ, топливный этанол и другие. Для Беларуси перспективно применение природного газа, это определяется экономическими и экологическими соображениями, ценой, которая в два раза меньше цены бензина и дизельного топлива и меньшими объемами выбросов загрязняющих веществ. Перевод автомобилей с жидкого топлива на природный газ требует инвестиционных затрат на переоборудование, включающих в себя затраты на газобаллонное оборудование и топливную аппаратуру. Затраты окупятся в приемлемые сроки за счёт экономии затрат на топливо. В Беларуси предпочтение отдаётся компримированному (сжатому) природному газу, который должен производиться на автогазонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС). Расчёты подтверждают экономическую целесообразность развития газомоторного транспорта. Что является экономической основой эффективности перевода автотранспорта на газ. Техничко-экономические расчёты показывают, что при нынешнем соотношении цен на КПП и жидкое нефтяное топливо и стоимости переоборудования сроки окупаемости получаются не более двух лет, а в отдельных случаях не более года, и во многом зависит от величины годового пробега автомобиля. Чем выше его величина, тем меньше срок окупаемости. Этот фактор определяет сферу приоритетного замещения жидкого топлива природным газом.

Для развития рынка необходимо строительство новых АГНКС и перевод автотранспорта на газ, причём оба этих направления следует осуществлять одновременно. Необходима господдержка развития газомоторного транспорта, которая должна выражаться в подготовке нормативной правовой базы, в разработке государственных программ, в выделении дотаций и субсидий и др.

Горение двухфазных аэрозольных систем

Кривошеев Ю.К.

Белорусский национальный технический университет

Горение двухфазных сред отличается рядом специфических особенностей, обусловленных протеканием химических реакций в условиях динамического и теплового взаимодействия реагентов, интенсивного массопереноса при фазовых превращениях, а также зависимостью параметров процесса как от термодинамического состояния системы, так и от ее структурных характеристик.

Распространение волн горения в газозвеси обусловлено передачей теплоты от высокотемпературной к низкотемпературной зоне пламени посредством теплопроводности и излучения. Кондуктивный q_k и радиационный q_R потоки в пламени зависят от теплофизических и оптических характеристик газообразной и конденсированной фазы, концентрации и размеров твердых частиц и изменяются в широких пределах.

Соотношение между q_k и q_R определяется безразмерным параметром $N = \tau_k / \tau_R$, характеризующим относительную интенсивность прогрета частиц при различных механизмах теплопередачи (τ_k и τ_R - время соответственно кондуктивного и радиационного прогрета). Так как $\tau \sim \delta^2$, $\tau_R \sim \delta$ и $N \sim \delta$, то кондуктивный теплоперенос оказывает существенное влияние на распространение пламени в мелкодисперсной взвеси, а радиационный - на горение взвеси крупных частиц. Распространение волны горения зависит от интенсивности теплопередачи в зоне прогрета. Изменение температуры частиц в этой зоне определяется параметром $N_K = \tau_K / \tau_{\Pi}$, характеризующим соотношение между масштабным временем теплообмена и пребывания частиц в зоне прогрета. В зависимости от значения параметра N_K могут реализовываться режимы, при которых разогрев частиц до температуры воспламенения осуществляется либо за счет теплоотдачи от газа к частицам ($N_K < 1$, $T_2 \approx T_1$ - медленное горение), либо за счет самоускорения реакции в частицах ($N_K > 1$, $T_2 > T_1$ - быстрое горение). При радиационном переносе тепловой поток прогревает преимущественно частицы. Разогрев газовой фазы в данном случае происходит только за счет теплоотдачи твердых частиц. Изменение температуры последних в зоне прогрета зависит от интенсивности лучистого теплообмена и его продолжительности и определяется параметром $N_R = \tau_R / \tau_{\Pi}$. Здесь $\tau_{\Pi} = l / u \sim (u \delta^2 n)^{-1}$, l - толщина зоны прогрета; n - концентрация частиц. В зависимости от значения параметра N_R могут реализовываться режимы, отвечающие воспламенению частиц при $T_2 > T_1$.

Определение модуля Юнга литых композиционных материалов

Кривошеев Ю.К., Воронин Е.А.

Белорусский национальный технический университет

Физический смысл модуля упругости E определяется как напряжение, необходимое для увеличения длины образца в 2 раза. Однако такое толкование (во всяком случае для керамики, металлов и многих других материалов) довольно искусственно, поскольку величина упругого удлинения у большинства твердых тел редко достигает даже 1% и никогда не достигает 100%. Величину E можно рассматривать как характеристику упругого сопротивления или упругой упрочняемости металла, т.е. как характеристику интенсивности нарастания напряжения с увеличением удлинения.

Принято считать, что большинство свойств композитов формируется вследствие смещения компонентов и образующаяся система подчиняется правилу аддитивности. Процессы переноса тепла, фильтрации, электричества математически описываются уравнениями одного и того же типа. Это позволяет проводить расчет макроскопических коэффициентов теплопроводности диффузии и других по тождественным формулам. Для явлений переноса существенным является не только концентрация компонентов смеси, но и их пространственное расположение в объеме материала и в сечении, через которое этот перенос осуществляется.

В экспериментах по определению эффективного модуля E при одноосном нагружении установлено, что при величине параметра C , характеризующим объемную долю сферических включений, равном 0,7, аддитивная модель дает значение эффективного модуля в 3,5 раза больше, чем в эксперименте.

Этот факт говорит о том, что аддитивная модель нуждается в замене более совершенной моделью. Более точной является полидисперсная модель композиционного материала, где включения рассматриваются в виде сфер. Согласно этой модели, с каждой отдельной сферой радиуса a связана оболочка из материала матрицы радиуса b . Абсолютные значения радиусов a и b различны, но отношение радиусов должно оставаться постоянным. Тогда модуль упругости выражается следующим образом

$$E = CE_F + (1 - C)E_M + \frac{4C(1 - C)(\nu_F - \nu_M)^2 \mu_M}{(1 - C)\mu_M + \frac{C\mu_M}{k_M + \frac{\mu_M}{3}} + 1}$$

где ν – коэффициент Пуассона, μ – модуль сдвига, k – объемный модуль, C – объемная доля включений. Индексы F и M относятся к включениям и матрице соответственно.

Моделирование обогрева стекла с электропроводящим покрытием

Шахновская А.А.¹, Чорный А.Д.², Соболевский Д.Ю.¹

¹ Завод стеклопакетов и архитектурного стекла

² Белорусский национальный технический университет

Задача теплообмена в твердых телах при прохождении электрического тока рассматривается с точки зрения возможного решения практической проблемы оптимизации электрообогрева стеклянных фасадных покрытий зданий при устранении конденсата или удалении снега и льда с их поверхностей.

Особенностью, вызывающей трудности использования стандартных инженерных методик для оценки степени однородности тепловых потоков и распределений температуры в архитектурных стеклах, является разнообразие их геометрических конфигураций, отличающихся от стандартных прямоугольных форм.

В настоящей работе рассматривались стекла с электропроводящим покрытием (ЭПП) в виде многоугольников и методами компьютерного моделирования производились расчеты теплообмена в двухслойной пластине «ЭПП-стекло» за счет прохождения электрического тока в ЭПП.

Математическая модель включала:

- уравнения электростатики для определения распределения электрического потенциала по поверхности ЭПП;
- уравнения теплопроводности в ЭПП с учетом теплового потока за счет Джоулева нагрева электрическим током;
- уравнения теплопроводности в стекле, поверхность которой соприкасается с окружающей средой.

Количество теплоты, генерируемое в ЭПП, переносилось теплопроводностью через поверхность контакта ЭПП и стекла в само стекло и далее часть теплоты уносилось конвекцией в окружающую среду. Предполагалось, что поверхность ЭПП, обращенная от стекла, и боковые стенки двухслойной пластины теплоизолированы.

Таким образом, присутствовал перенос тепла через поверхность ЭПП в направлении стекла и рассматривалось температурное поле ЭПП и стекла. Для расчетов привлекался программный комплекс FlexPDE5.1.0s, в котором используется метод конечных элементов для решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Расчеты проводились для стекол с ЭПП с определением джоулевой теплоты в зависимости от электрического сопротивления ЭПП, разности электрических потенциалов, силы и времени прохождения тока.

Численное моделирование ветровых нагрузок на здание сложной конструкции

Жукова Ю.В.¹, Киреенко А.В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

Современные здания все чаще представляют конструкции сложной формы. Однако проблема определения различных нагрузок и воздействий на подобные здания стоит очень остро. Это связано, например, с выбором материала и крепежа облицовочных панелей, которые придают зданиям современный вид и способствуют энергосбережению.

Производители подобных материалов предоставляют инструкцию по допустимым нагрузкам и правила крепления в зависимости от величин нагрузок, но сама проблема определения нагрузок ложится на проектировщиков здания. В связи с тем, что стоимость проведения физических исследований в аэродинамических трубах постоянно возрастает, все большее широкое применение находят методы численного моделирования.

Для моделирования используется трехмерная модель здания. Решались уравнения движения (уравнения Навье-Стокса, осредненные по Рейнольдсу), для замыкания которых использовалась модель Спаларта-Аллмараса, а также уравнение неразрывности.

Расчетная область, окружающая исследуемый объект может иметь различную геометрическую форму, но при этом границы расчетной области должны отстоять от моделируемого объекта на расстоянии не менее 3 характерных высот объекта. С наветренной стороны задается профиль скорости, на поверхности земли и объектов – условия прилипания, на остальных границах расчетной области – мягкие граничные условия.

В настоящее время для описания ветровых нагрузок на здания используются коэффициенты лобового сопротивления и подъемной силы. Но это – осредненные характеристики, поэтому с их помощью нет возможности получить полную картину распределения давления по поверхности и поэтому основное внимание при выборе облицовки должно уделяться локальному давлению. В результате моделирования можно получить локальные зоны повышенного и пониженного давления на стенках здания, а так же линии тока вокруг здания. В зонах пониженного давления требуется усиленное крепление стеклопакетов и наружной облицовки здания, а карта ветров поможет выработать рекомендации для решения проблемы высушивания почвы для зеленых насаждений.

Исследование возможности использования магнитно-жидкостной «пробки» для фиксации бронхиального свищаБалабанова О.В.², Климович С.В.¹, Моцар А.А.¹¹ Белорусский национальный технический университет² УЗ «10-я городская больница»

Целью работы является, изучение возможности использования свойств магнитной жидкости эмпиемы плевры со свищом.

При данном заболевании в легком в результате гнойно-воспалительного процесса образуется дефект, сообщающийся с бронхом, т.е с воздухоносными путями. В результате этого сообщения между легким и грудной стенкой (в плевральной полости) образуется воздушная полость, где может скапливаться гной (полость эмпиемы плевры), ликвидировать которую сложно.

В настоящий момент это достигается следующим способом. В полость проводится трубка, подсоединяемая к вакууму. Если полость небольшая, а легкое не утратило своей эластичности в результате воспалительного процесса, оно «притягивается» к грудной стенке и приклеивается к ней, полость ликвидируется. Однако, если в легком имеется дефект, сообщающийся с воздухоносными путями (бронхом), то при подключении к вакууму воздух из внешней среды засасывается через нос (рот) по воздухоносным путям в полость эмпиемы плевры, т.е. система негерметична, открыта. Герметичности можно добиться, если закрыть дефект в легком. Это возможно сделать оперативно, однако, это тяжелая для ослабленных больных операция. Поэтому привлекают консервативные методики лечения.

На сегодняшний момент предлагается окклюзия (закупорка) сообщающегося с дефектом бронха различными материалами при помощи процедуры бронхоскопии. Однако эти пломбы плохо фиксируются в просвете бронха и при воздействии силы (кашель или действие подключенного вакуума) смещаются и не выполняют свою функцию. Этим недостатком лишена капля магнитной жидкости. Она удерживается с помощью укрепленных извне магнитов и устойчива как к воздействию силы кашля, дыхательных движений, так и вакуума. Кроме того, необходимое положение капли в бронхе можно контролировать рентгенологически, поскольку она рентген контрастна. Магнитная жидкость по данным литературы не оказывает токсического влияния на биологический объект. Описанная методика воспроизведена в технической модели и требует дальнейшего исследования на биологических моделях.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

Особенности синтеза магнитных жидкостей на основе глицерина

Сулова Л.В.¹ Балабанова О.В.²

Белорусский национальный технический университет¹

² УЗ «10-я Минская городская больница»

Магнитная жидкость (МЖ) представляет собой коллоидный раствор мелкодисперсных частиц (с размером порядка 10^{-8} м) магнитного материала в жидкости-носителе, стабилизированных поверхностно-активным веществом. Из-за малости размеров частицы однодоменны, имеют магнитный момент и являются элементарными носителями магнитных свойств жидкости.

Выбор дисперсионной среды, на основе которой создается магнитная жидкость, определяется ее назначением и местом использования. В зависимости от решаемой задачи могут понадобиться магнитные жидкости на водной или водорастворимой основе, на основе углеводов, нефтяных или синтетических масел (кремнийорганических или фторорганических соединений). Представляет интерес синтез магнитных жидкостей на основе глицерина для использования в высокоточных магнитно-жидкостных демпферах (МЖД).

Задачей синтеза магнитной жидкости является выбор поверхностно-активного вещества, которое обеспечит равномерное покрытие частиц феррофазы с образованием в дальнейшем устойчивого коллоидного раствора магнитной жидкости.

Для синтеза магнитной жидкости на глицериновой основе использовалась олеиновая кислота в качестве ПАВ и магнетит получаемый методом химической конденсации, а именно соосаждением солей 2- и 3-валентного железа ($\text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) избытком 25% водного раствора гидроксида аммония (NH_4OH).

Синтезированные магнитной жидкости на основе глицерина устойчивы к действию центробежных и магнитных сил и имеют намагниченность насыщения 29 кА/м. Характеристики синтезированных магнитных жидкостей на основе глицерина приведены в таблице 1.

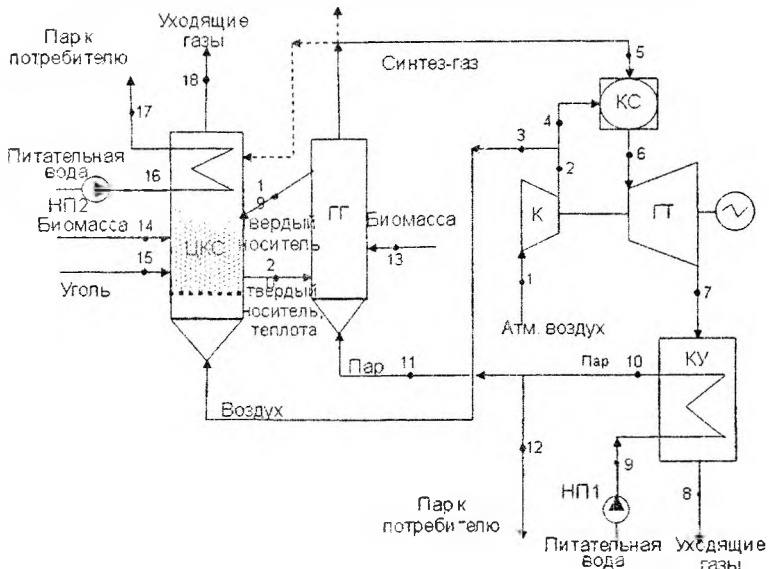
Таблица 1

Марка магнитной жидкости	Намагниченность насыщения M_s , кА/м	Плотность, кг/м ³
МГ-31-10	29	1339
МГ-30-10	29	1335

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.

Разработка схемы мини-ТЭЦ с термохимической конверсией биомассы

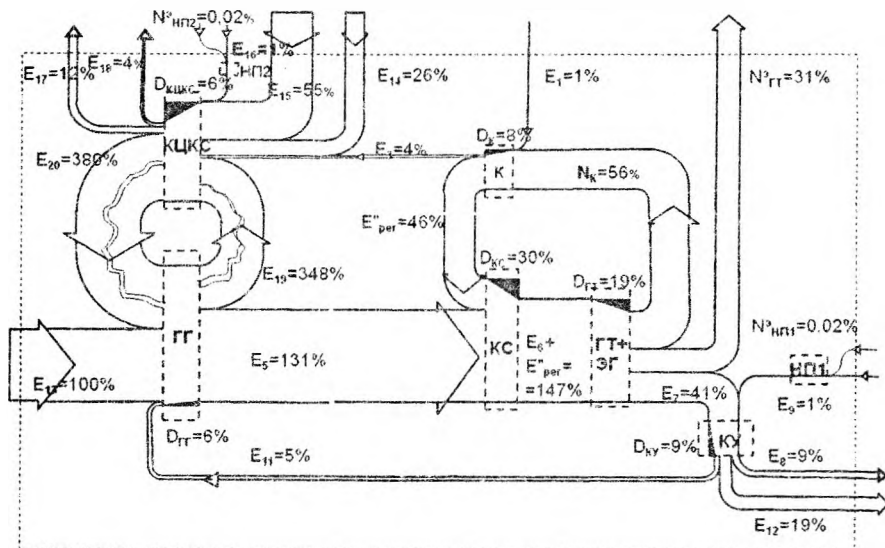
Хутская Н.Г., Пальченок Г.И., Космачёва Э.М., Янцевич И.В.
Белорусский национальный технический университет



Когенерационная система, принципиальная схема которой представлена на рисунке, осуществляет выработку электрической энергии в ГТУ, работающей на синтез-газе – продукте паровой газификации влажной биомассы, и тепловой энергии в виде водяного пара, генерируемого в двух агрегатах схемы: котле-утилизаторе (КУ) на выходе ГТУ и котле с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС), использующим смесь твердых топлив (влажная биомасса + уголь). Горение топлива в котлах с ЦКС осуществляется в присутствии большого количества разогретого наполнителя слоя (зола + сорбент), находящегося в состоянии псевдооживления, либо движущегося в потоке топочных газов. Это обеспечивает относительно низкую температуру в зоне горения топлива (850...900 °С), наиболее благоприятную для связывания серы сорбентом; низкие выбросы оксидов азота, не более 200 мг/нм³; исключение шлакования стен топки и поверхностей нагрева котла; высокую устойчивость топочного процесса; возможность работы на смесях топлив, осуществляя смешивание этих топлив в нужных соотношениях непосредственно в топке котла.

Энергетический и эксергетический анализ схем мини-ТЭЦ с термохимической конверсией биомассы

Хутская Н.Г., Пальченок Г.И., Космачёва Э.М., Янцевич И.В.
Белорусский национальный технический университет



ЦКС- котел с циркулирующим кипящим слоем; ГГ – газогенератор; К – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ+ЭГ – газовая турбина; КУ – котел-утилизатор; НП1 и НП2 – насосы питательной воды

Рисунок 1 – Диаграмма потоков эксергии мини-ТЭЦ с паровой газификацией биомассы в кипящем слое

Эксергетический КПД мини-ТЭЦ определяется выражением

$$\eta_e = \frac{N_{ГТ}^3 - (N_{ГТ1} + N_{НП1} + N_{НП2}) + (E_{12} - E_9) + (E_{17} - E_{16})}{(E_6)_{ЦКС} + (E_9)_{ЦКС} + (E_6)_{ГТ} + E_1}$$

Для принятых параметров работы мини-ТЭЦ эксергетический КПД составил $\eta_e = 0,331$, что значительно ниже энергетического $\eta_e = 0,641$, что характерно для систем, сжигающих органическое топливо и вырабатывающих два неравновеликих в эксергетической оценке вида энергии: электрическую и относительно низкопотенциальную тепловую (пар промышленных параметров).

Макрокинетические процессы термохимической конверсии биомассы

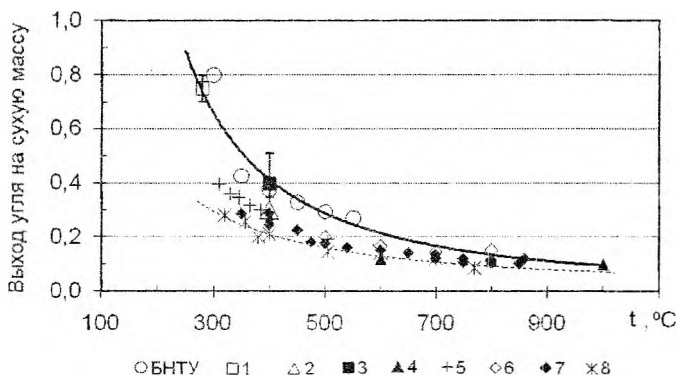
Пальченок Г.И.

Белорусский национальный технический университет

Торрефикация (обжарка) – мягкий пиролиз биомассы, осуществляемый в инертной атмосфере при температуре, близкой к началу термического разложения органической массы (220–280° С) в непродуваемом плотном слое или в среде "сокового" водяного пара, выделяющегося из обрабатываемого сырья.

Организация циркуляции парогазовой смеси по замкнутому контуру между зонами сушки, пиролиза и охлаждения сырья в совокупности с регенерацией теплоты сгорания пиролизических газов позволяют реализовать энергосберегающие схемы торрефикации. Основной продукт – твердая торрефицированная древесина ("серый" биоуголь) – гидрофобный, устойчивый против гниения, высокореакционный полукокс с влажностью 0.1–5%, зольностью ~ 1%, содержанием связанного углерода 35–40% и теплотой сгорания до 21 МДж/кг. Массовый выход биоугля составляет 70–80%.

Медленный пиролиз крупных кусков и стволов древесины осуществляется при скоростях нагрева 5–7 К/мин и $t = 350\text{--}550^\circ\text{C}$ (рисунок). Наиболее распространенным практическим применением является производство



древесного угля в обжиговых печах. Степенная эмпирическая зависимость $m_{yc} / m_o^c = at^b$, где m_{yc} – масса угля, m_o^c – сухая масса исходной древесины,

t – температура, °С, $a = 7006$, $b = -1,63$. описывающая данные БНТУ (сплошная линия), также хорошо обобщает данные по промышленным установкам несмотря на существенные различия в размерах обрабатываемых частиц древесины ($\sim 10^{-2} \dots 10^{-1}$ м в промышленных установках и $\sim 10^{-3}$ м – в лабораторной).

Влияние меридионального течения и термомагнитной конвекции на характеристики магнитожидкостного уплотнения (МЖУ)

Краков М.С.¹, Никифоров И.В.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет

Исследовано влияние вызванного вращением вала течения в меридиональном сечении МЖУ на распределение концентрации магнитных частиц в объеме магнитной жидкости в низкоскоростных уплотнениях. Изучено также влияние термомагнитной конвекции на структуру этого течения и на распределение температуры в высокоскоростных магнитожидкостных уплотнениях. Проблемы исследовались численными методами. Обнаружено, что даже слабое вращение вала гомогенизирует распределение концентрации магнитных частиц в уплотнении и тем самым существенно повышает его эксплуатационный ресурс (рисунок 1). В высокоскоростных уплотнениях термомагнитная конвекция обеспечивает доставку потока жидкости в область узкого зазора и выравнивает распределение температуры, снижая ее максимальное значение (рисунок 2), и тем самым также увеличивает ресурс. Обнаружено также, что влияние термомагнитной конвекции возрастает увеличением вязкости магнитной жидкости.

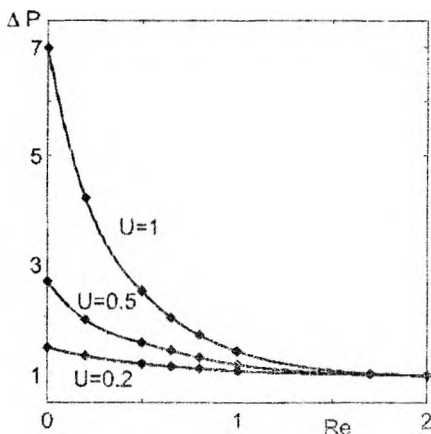


Рисунок 1 Зависимость удерживаемого МЖУ перепада давления от скорости вращения вала для различных значений магнитного момента частиц

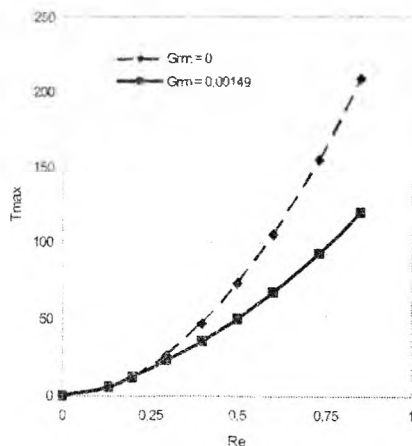
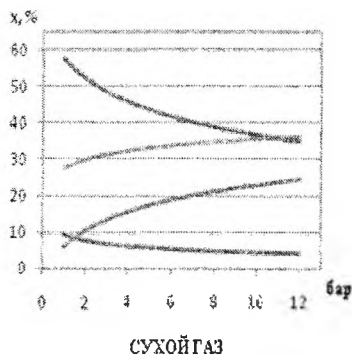
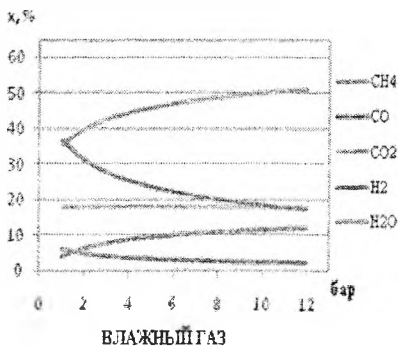


Рисунок 2 Зависимость перегрева магнитной жидкости от скорости вращения вала без учета конвекции ($Gr_m = 0$) и с ее учетом ($Gr_m = 0.00149$)

Равновесный состав газификации древесины

² Бельская Л.Э., ¹ Хутская Н.Г.¹ Белорусский национальный технический университет,² УО «Государственный институт повышения квалификации и переподготовки кадров в области газоснабжения «ГАЗ-ИНСТИТУТ»

Термохимическая конверсия древесной биомассы в воздушном потоке является известным методом получения низко- и среднекалорийного генераторного газа, который может быть непосредственно использован в качестве топлива для газотурбинных (ГТУ), парогазовых (ПГУ) и газопоршневых (ГПУ) энергетических установок, а после специальной очистки – для получения синтез-газа и водорода. Термодинамический равновесный состав продуктов конверсии рассчитывался с помощью пакета СЕА, разработанного Льюисовским исследовательским центром НАСА (США) для численного исследования сложных равновесных составов на основании метода минимизации термодинамических потенциалов – свободной энтальпии Гиббса (для изобарно-изотермических процессов) и свободной энергии Гельмгольца (для изохорно-изотермических процессов) для равновесной смеси газовых и конденсированных компонентов. Результаты расчета равновесных составов продуктов воздушной конверсии древесных гранул в зависимости от давления при постоянной температуре приведены на рисунке. Рост давления в газификаторе отрицательно сказывается на качестве газа: при низких температурах газификации в интервале 550-750 К наблюдается максимальная концентрация метана, что о достаточно высокое значение теплотворной способности генераторного газа; при дальнейшем повышении температуры происходит снижение объемной концентрации метана, что компенсируется за счет увеличения концентрации водорода и CO .



Повышение эффективности использования солнечной фотозлектрической установки

Ивашенко Е.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В данный момент существует множество гелиоэнергетических установок для преобразования солнечной энергии в электрическую. Недостатком таких устройств является низкая эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую и ускоренный износ поверхности фотозлектрических преобразователей ввиду того, что не предусмотрена система охлаждения поверхности фотозлектрических преобразователей. В данной работе предлагается система для повышение эффективности выработки электрической энергии за счет использования тепловой энергии, полученной при охлаждения поверхности фотозлектрических преобразователей. Задача решается за счет того, что в солнечной фотозлектрической установке, содержащей солнечную батарею с линзами Френеля, для повышения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую применяется устройство для охлаждения фотозлектрических преобразователей, выполненное в виде тепловой трубы, состоящей из испарителя и конденсатора. На рис. 1 показана схема солнечной энергетической установки для преобразования солнечной энергии в электрическую и тепловую.

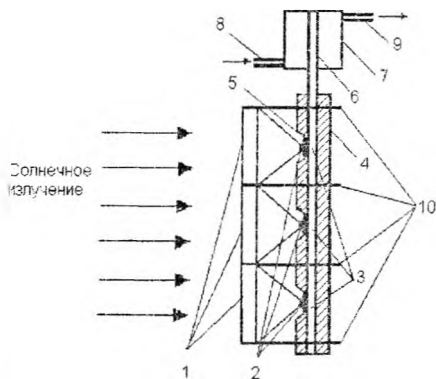


Рис. 1. Солнечная фотозлектрическая установка на тепловых трубах:

- 1 – линзы Френеля; 2 – фотозлектрические преобразователи; 3 – тепловые трубы; 4 – теплоизоляция; 5 – непокрытые участки поверхности; 6 – конденсатор; 7 – теплообменный аппарат; 8 – входной патрубок ТА; 9 – выходной патрубок ТА; 10 – крепления

Исследование влияния температуры на вязкость магнитных жидкостей

Рекс А.Г., Аль- Джаниш Таха

Белорусский национальный технический университет

Вязкость магнитных жидкостей наряду с характеристиками их намагниченности является наиболее информационным физическим свойством, позволяющим судить о внутренней структуре магнитных жидкостей. Поэтому необходимо определение температурной зависимости коэффициента вязкости магнитной жидкости. Ведь дезориентирующее действие температуры способствует частичному разрушению структур магнитной жидкости. Существует два механизма влияния температуры на вязкость магнитной жидкости. Во-первых, с увеличением температуры уменьшается вязкость жидкой основы магнитных жидкостей, что приводит к уменьшению вязкости магнитных жидкостей. Во-вторых, температура также влияет на интенсивность теплового движения частиц в жидкости и, как следствие, на количество агрегатов и прочность связей частиц в них.

Для исследований были изготовлены магнитные жидкости на основах трансформаторного (МТр) и дизельного масла (МД). Образцы магнитных жидкостей и их основы были исследованы в отсутствие магнитного поля на ротационном вискозиметре НААКЕ Viscotester VT 550 для получения температурной зависимости коэффициента вязкости в диапазоне температур от 20 С до 70 С. В вискозиметре НААКЕ Viscotester VT 550 в качестве измерительной головки использована чувствительная система

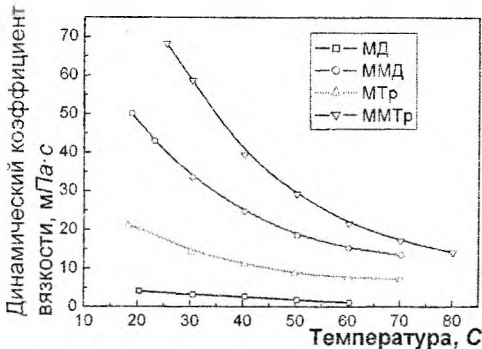


Рисунок 1

DIN 53019. Полученные результаты температурной зависимости коэффициента вязкости магнитных жидкостей и их основ представлены на рисунке 1, где обозначения ММД – магнитная жидкость на основе дизельного масла, а ММТр на основе трансформаторного.

Работа выполнена при поддержке ФФИ Республики Беларусь.

Перспективные направления внедрения когенерационных установок в Беларуси

Кравченко Е.В., Кафыров К.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Когенерация в настоящее время является одним из наиболее экологичных и одновременно экономически эффективных способов совместного производства тепла и электричества. Это достигается за счет высокого КПД когенерационных установок, который составляет около 87-92%. Тепло и электроэнергия вырабатываются в непосредственной близости от потребителя, что снижает потери энергии, а соответственно и затраты, на транспортировку энергии.

Основными направлениями внедрения когенерационных установок в Беларуси являются:

- использование в качестве топлива предварительно подвергнутых биоконверсии отходов животноводства и сельского хозяйства;
- модернизация существующих ТЭЦ с применением когенерации;
- использование когенерационных установок на очистных сооружениях сточных вод;
- использование когенерационных установок на свалках коммунальных отходов или мусороперерабатывающих предприятиях;
- интеграция когенерационных установок в циклы тригенерации.

Интерес представляют тригенерационные циклы, в которых, помимо электроэнергии и тепла, вырабатывается холод. Это достигается сочетанием КГУ и абсорбционных холодильных установок.

Тригенерация является более выгодной по сравнению с когенерацией, поскольку даёт возможность эффективно использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и летом для кондиционирования помещений или для технологических нужд. Такой подход позволяет использовать генерирующую установку круглый год, тем самым не снижая высокий КПД энергетической установки в летний период, когда потребность в вырабатываемом тепле снижается.

В целях расширения использования когенерации в Беларуси будет целесообразно:

- разработка когенерационных установок, использующих в качестве топлива солому;
- разработка комплексов по переработке горючих сланцев с выделением газов и последующим их сжиганием в когенерационных установках.

Сравнение энергоэффективных схем предварительного и последующего дробления, применяемых в комбикормовой промышленности

Червинский В.Л.

Белорусский национальный технический университет

В республике Беларусь наблюдается устойчивый рост энергопотребления сельхозпроизводством. Сельскохозяйственные предприятия оснащаются более энергоемким производством, в частности производство комбикорма является одним из наиболее энергоемких в животноводстве. Концепция предварительного и последующего дробления при производстве кормов означает, что дробление может производиться до или после дозирования. В системе предварительного дозирования все материалы, подлежащие измельчению, накапливаются в накопительном силосе, затем измельчаются и транспортируются через дозирующий силос, после которого происходит дозирование и смешивание. Для системы последозирования все сырьевые материалы накапливаются непосредственно в дозирующих бункерах, после чего они измельчаются и смешиваются согласно заданным рецептам. Литературный анализ позволил сделать следующие выводы по двум схемам. Система предварительного дробления рассматривает традиционный процесс и применяется тогда, когда только несколько сырьевых материалов должно быть измельчено и общее количество рецептов кормов ограничено. Преимуществом этой схемы являются: постоянный процесс измельчения, для которого может быть применена более простая схема подачи и управления подачей сырья; процесс измельчения отделен от производственного процесса. Это значит, что не будет задержек на выпуск продукции из-за того, что дробилка остановлена для ремонта или профилактического обслуживания; нет необходимости проводить дробление в то же самое время, когда производится основной производственный процесс. Это дает возможность использовать дешевые ночные тарифы на электроэнергию. Применение системы последозирования было обусловлено возрастанием количества сырья с различными физическими свойствами, а также возрастанием количества производимых рецептов. Преимущества этой системы: получается более однородная смесь, которая необходима, когда корм должен быть гранулирован и требуется высокое качество гранул; снижается себестоимости по причине меньшего удельного энергопотребления; требуются меньшие инвестиции из-за меньшей емкости бункеров; тонкость измельчения может быть отрегулирована на определенную порцию.

**Информационные
технологии
и автоматизация**

Применение CAD/CAM/CNC-систем в рамках концепции преемственности учебных дисциплин

Новичихин Р.В., Крюков Д.В., Гуриштынович С.Г.
Белорусский национальный технический университет

Для подготовки специалистов в области автоматизации и роботизации технологических процессов и производств большое значение имеет, на наш взгляд, преемственность информации и навыков, приобретаемых студентом в процессе всего обучения. Идеальная схема при этом выглядит следующим образом. Уже на начальных семестрах студент получает задание на комплексную инженерную разработку. Каждый новый курс, помимо приобретения общетеоретических знаний, позволяет студенту практически решить определенные компоненты своего конкретного задания. Все курсовые работы и проекты выполняются в единой автоматизированной системе поддержки жизненного цикла изделия CALS и сливаются к концу обучения в целостную и завершенную разработку. Дипломный проект по реальной тематике предприятия выполняется по аналогии с уже пройденным учебным проектированием.

На кафедре «Робототехнические системы» применяются элементы такого подхода. Конечный результат – комплексный курсовой проект автоматизированной производственной системы механообработки на 5 курсе обучения (дисциплина «Проектирование ГПС»). Начало разработки – 2 курс, разработка трехмерной твердотельной модели заданной детали-представителя как предмета производства (среда CAD, дисциплина «Автоматизированное проектирование»). Другие этапы разработки: 3 курс, автоматизированное проектирование технологического процесса обработки по трехмерной модели детали (среда CAM, «Технология»); компьютерное моделирование и оптимизация производства (среда CAE, «Оборудование»); 4 курс, разработка исполнительных, информационных и управляющих устройств локального оборудования производственной системы («Автоматизированный привод», «Сенсорные устройства» и «Системы управления»); 5 курс, проектирование управляющих программ для MC, PLC и CNC (среда CAM и компьютерные симуляторы/эмуляторы, «Программное управление»); разработка централизованной системы управления, контроля и визуализации производства (среда PDM и SCADA, «АСУ ТП»).

Эффект преемственности усиливается тем, что все методическое, программное и аппаратное обеспечение, а также учебные стенды и реальное оборудование построены на единой платформе одного производителя – фирмы Mitsubishi.

Информационные технологии управления

Капустина А.М., Волосевич И.И.

Белорусский национальный технический университет

Целью информационной технологии управления является обработка данных для принятия решений на любом уровне:

- оценка планируемого состояния объекта;
- оценка отклонений от планируемого состояния;
- выявление причин отклонений;
- анализ возможных решений и действий.

Информационная технология управления направлена на создание различных видов отчетов. Регулярные отчеты создаются в соответствии с установленным графиком, определяющим время их создания.

Специальные отчеты создаются по запросам или имеют форму суммирующих, сравнительных и чрезвычайных отчетов.

В суммирующих отчетах данные объединяются в отдельные группы, и представляются в виде промежуточных и окончательных итогов по отдельным направлениям.

Сравнительные отчеты содержат данные, полученные из различных источников или классифицированные по различным признакам и используемые для целей сравнения.

Чрезвычайные отчеты содержат данные исключительного характера.

Для принятия решений на уровне управленческого контроля информация должна быть представлена так, чтобы просматривались тенденции изменения данных, причины возникших отклонений и возможные решения.

Основные сведения должны быть отсортированы по значению критического для данного отклонения показателя. Компоненты входной информации поступают из систем операционного уровня. Выходная информация формируется в виде отчетов в удобном для принятия решений виде. Содержимое базы данных при помощи соответствующего программного обеспечения преобразуется в периодические и специальные отчеты, поступающие к специалистам, участвующим в принятии решений.

Документы могут создаваться как по запросу, так и периодически в соответствии с необходимостью.

Информационная технология должна обеспечивать высокую степень расчленения всего процесса обработки информации на этапы, операции, действия и включать весь набор элементов, необходимых для более эффективного управления и достижения цели

**Автоматизация методов неразрушающего контроля
литых изделий**

Шардыко П.П., Цегельник Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Автоматизированные методы радиационного и акустического контроля получили наибольшее применение для обнаружения внутренних дефектов литых изделий. Функционирование такой системы контроля структуры и свойств литых изделий каждого типа можно подразделить на два этапа.

На первом этапе построения (аналитической или логической) математической модели производится передача из устройства контроля в компьютер собранных и первично обработанных фонограмм звучания изделий, а так же загружаются в компьютер результаты контроля структуры, полученные стандартными методами.

Полученная компьютером информация, прежде всего, сортируется и сохраняется в базе данных для последующего использования. Затем программа из базы данных отбирает информацию аналогичную полученной из устройства и производит построение математической зависимости параметров структуры материала данного типа литых изделий от их акустических характеристик.

Такой подход в построении зависимости с накоплением и использованием накопленной информации позволяет повышать статистическую значимость и снижать погрешность результатов математической обработки.

Параметры полученной компьютером зависимости загружаются в устройство для последующего экспресс контроля структуры отливок данного типа.

На втором этапе производится непосредственно экспресс контроль структуры и свойств материала литых изделий данного типа. Устройство считывает фонограмму звучания контролируемого изделия и передает в компьютер. Автоматизированная система контроля производит обработку фонограммы, результатом которой является спектральный состав фонограммы, и, с помощью зависимости, параметры которой были сформированы при помощи запроса к базе данных, рассчитывается параметры структуры материала изделия. Результаты расчетов выводятся на монитор в виде графиков, диаграмм и таблиц.

Полученные расчеты заносятся в память компьютера для дальнейшего анализа, выявления зависимостей и, при необходимости, внесения в базу данных.

Постреляционная СУБД CACHE'

Шардыко П.П., Прусакова А.В.

Белорусский национальный технический университет

Объектно-ориентированные базы данных (ООБД) по сравнению с традиционными (например, реляционными) БД обеспечивают следующие преимущества: в таких БД хранятся не только данные, но и методы их обработки, инкапсулированные в одном объекте; ООБД позволяют обрабатывать мультимедийные данные; ООБД допускают работу на высоком уровне абстракции; ООБД позволяют пользователям создавать структуры данных любой сложности.

При всех достоинствах современной объектной технологии разработки баз данных имеется несколько препятствий, которые удерживают разработчиков от принятия решения о переходе с реляционной технологии на объектную. Основным препятствием является значительный объем разработок, опирающихся на реляционные СУБД. Ведь при переходе на объектную технологию необходимо многое начинать "с нуля". Кроме того, объектная технология, поддерживаемая в ряде постреляционных СУБД, не имеет развитого и стандартизированного языка генерации отчетов и анализа данных, каким является язык запросов SQL.

Данные проблемы были решены при создании постреляционной СУБД Cache' от InterSystems. СУБД Cache' обеспечивает не только реализацию основных возможностей объектно-ориентированной технологии, но и позволяет во многом облегчить переход с реляционной технологии на объектную, а также может выступать в роли шлюза к реляционным базам данных.

Одличительной особенностью СУБД Cache' является независимость хранения данных от способа их представления, что реализуется с помощью, так называемой, единой архитектуры данных Cache'. В рамках данной архитектуры существует единое описание объектов и таблиц, отображаемых непосредственно в многомерные структуры ядра базы данных, ориентированных на обработку транзакций. Как только определяется класс объектов, Cache' автоматически генерирует реляционное описание данных этого класса в формате SQL. Подобным же образом, как только в Словарь данных поступает DDL-описание в формате реляционной базы данных, Cache' автоматически генерирует реляционное и объектное описание данных, устанавливая тем самым доступ в формате объектов. При этом все описания ведутся согласованно с одним описанием данных.

Численный метод определения параметров математической модели объекта управления

Кулаков А.Т., Худенко Д.О.

Белорусский национальный технический университет

Определение математической модели объекта управления часто выполняется путем аппроксимации экспериментальной переходной характеристики, как реакции звена на ступенчатое входное воздействие.

Многие промышленные объекты управления с самовыравниванием можно аппроксимировать моделью в виде нескольких последовательно соединенных аperiodических звеньев с одинаковыми постоянными времени [1]:

$$W(p) = \frac{1}{(Tp + 1)^n}, \quad (1)$$

где T – постоянная времени звеньев; $n = 1, 2, 3 \dots$ – количество аperiodических звеньев.

Известен ряд графоаналитических методов определения параметров T и n модели объекта вида (1). В работе [1] определение этих параметров основано на построении касательной в точке перегиба переходной характеристики. Метод, приведенный в работе [2], базируется на определении моментов времени, в которые график переходной характеристики достигает двух заданных уровней значений.

Предлагаемый метод аппроксимации объекта передаточной функцией вида (1) основан на численном интегрировании. Сущность метода заключается в следующем. Вычисляется площадь S над графиком нормированной переходной характеристики. Величина площади S связана с параметрами модели объекта следующей зависимостью $S = nT$. Итерационный процесс поиска значений параметров T и n модели начинается со значения $n=1$ и, соответственно, $T=S/n$. Критерием завершения процесса является минимальное значение интеграла от разности между экспериментальной переходной характеристикой и переходной характеристикой модели.

Метод реализован в виде приложения на языке программирования Delphi.

1. Настройка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами: Справочное пособие / Под ред. А.С. Ключева. – М.: Энергия, 1977.- 399с.
2. Гурецкий, Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер с польского. – М.: Машиностроение, 1974. – 328с.

**Комплексное моделирование производственных систем в среде
PIMMS**

Новичихина Е.Р., Бранкевич Э.С., Самойленко А.В.
Белорусский национальный технический университет

На кафедре робототехнических систем БНТУ разработан универсальный программный комплекс PIMMS для моделирования механообрабатывающих участков и линий. Назначение комплекса – прогнозирование с помощью компьютерного моделирования показателей функционирования указанных систем, таких как выработка, производительность, освоенная номенклатура, срок или вероятность выполнения к сроку планового задания, длительность производственного цикла и доля продуктивной составляющей в нем, коэффициент использования оборудования, загрузка персонала, заполнение накопителей, очереди заказов, операционных и транспортных партий. Тип организационной структуры и уровень автоматизации систем – любые, кроме роторно-конвейерных, а именно: участки универсального оборудования с ручным управлением; участки отдельных единиц оборудования с ЧПУ; участки автономных автоматизированных ячеек (автоматов, РТК, ГПМ); ГПС типа автоматизированных участков; ГПС типа автоматизированных линий; переналаживаемые автоматические линии; автоматические линии с фиксированными рабочими позициями (классические).

Программный комплекс содержит ряд взаимодействующих моделей, отражающих различные аспекты производственной системы: номенклатуру обрабатываемых деталей; технологические процессы; плановое задание; структуру системы; организацию работы; алгоритмы функционирования и управления; обслуживающий персонал.

Отличительная особенность комплекса – дружелюбность. Он функционирует по принципу «без программирования, без знания методов моделирования». От пользователя требуются знания только в предметной области технологии машиностроения и организации производства.

С теоретическими предпосылками, концепцией и возможностями PIMMS подробнее можно ознакомиться в монографии [1], а с инструкцией пользователя – в пособии [2].

1. Новичихин, Р.В., Новичихина Е.Р. Моделирование производственных систем обработки деталей в машино- и приборостроении. – Минск: БНТУ, 2010. – 309 с.
2. Новичихина, Е.Р., Шардыко П.П. Моделирование производственных систем в среде PIMMS. – Минск: БНТУ, 2008. – 24 с.

Особенности систем ЧПУ архитектуры STEP PCNC

Ожинский А.Б., Рудько Д.В., Лившиц Ю.Е.
Белорусский национальный технический университет

STEP CNC (пошаговая система управления), система ЧПУ построена на основе систем PCNC. PCNC (Personal Computer NC) – системы управления построенные на основе персонального компьютера основное отличие которых заключается в ударо- и виброзащищенном исполнении, а также в наличии специальной интерфейсной платы, обеспечивающей сопряжение ПЭВМ с приводами, датчиками, электроавтоматикой станка.

Основная идея STEP NC CNC – исключить участие человека в подготовке к процессу обработки. В состав программного обеспечения такой системы обязательно входят пакеты CAD, CAPP, CAM. Функционирование осуществляется по шагам:

Шаг 1: выполняет система CAD. Обеспечивает автоматизацию разработки чертежа обрабатываемой детали и подготовку геометрической и технологической информации к передаче в CAPP и системы CAM.

Шаг 2: система CAPP – определяет технологию обработки заготовки детали на оборудовании (устанавливает способы обработки, назначает режимы, устанавливаются режущий и вспомогательный инструменты, устанавливает последовательность и состав переходов обработки).

Шаг 3: система CAM –осуществляет по результатам предыдущих шагов расчет траектории перемещений инструмента, определение моментов и последовательность событий управления приводами и электроавтоматикой станка. Результатом работы системы CAM –является управляющая программа (УП), которая в дальнейшем обрабатывается оборудованием (это позволяет легко модернизировать существующие системы PCNC до STEP NC CNC).

Особенности аппаратной реализации систем ЧПУ архитектуры PCNC рассмотрим на примере ЧПУ «Ирис М64» производства МПОВТ. Система построена на базе промышленного компьютера, оснащаемого отдельной платой ЧПУ-контроллера – РМАС (Programmable Multi-Axes Controller) – высокопроизводительным модулем ЧПУ MELDAS MAGIC 64 производства Mitsubishi Electric Corp. Контроллер выполнен в виде модуля персонального компьютера и устанавливается в PCI слот, что и является основной особенностью однокomпьютерной концепции PCNC. Одноплатный ЧПУ-компьютер решает геометрическую и логическую задачи управления.

Программное обеспечение систем ЧПУ: решение терминальной задачи управления и коммерческие приложения пользователя

Лившиц Ю.Е., Ожинский А.Б., Рудько Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Архитектура систем ЧПУ на прикладном уровне определяется количеством и составом прикладных разделов, называемых задачами управления. В числе подобных задач можно упомянуть: геометрическую, логическую, технологическую, диспетчеризации, терминальную,

Терминальная задача призвана обеспечить следующие функции системы ЧПУ: поддержание диалога с оператором, отображение состояний системы, редактирование и верификация управляющих программ.

Наполнение терминальной задачи определяет привлекательность и конкурентоспособность системы ЧПУ на рынке.

Рассмотрим решение терминальной задачи на примере системы УЧПУ «Ирис М64» производства МПОВТ. Данная система управления использует архитектуру персонального компьютера и располагает широкими возможностями организации человеко-машинного интерфейса MMI (Man-Machine Interface) в операционной среде Windows XP. Проектирование MMI-приложения предполагает создание скелета приложения, реализацию экранов, разработку интерпретатора диалога, организацию информационных сессий с другими модулями системы управления.

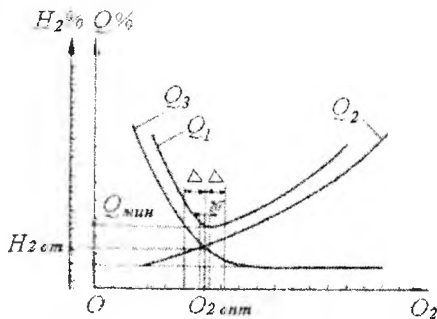
Все вышеперечисленные задачи в системе УЧПУ «Ирис М64» решаются специализированным ПО – управляющей программой OperatorCNC. Программа устанавливается на промышленный компьютер в составе стойки ЧПУ. Она представляет собой совокупность экранных меню, в которых осуществляется ввод информации, необходимой для обработки детали (ввод или загрузка кода управляющей программы, ввод корректоров и т.д) и отображение информации о ходе обработки (состояние приводов, текущие координаты и т.д.).

Также рассмотрено применение коммерческих приложений пользователя в составе системы ЧПУ «ИРИС М64», а именно встраиваемой САМ системы EdgeCAM. Под САД системой понимают программное обеспечение, которое автоматизирует труд инженера-конструктора и позволяет решать задачи проектирования изделий при помощи персонального компьютера. Главные преимущества, которые получает технолог при взаимодействии с системой, заключаются в наглядности работы, удобстве выбора геометрии, высокой скорости расчетов, возможности проверки и редактирования созданных траекторий.

Способ оптимизации управления процесса горения

Москаленко А.А., Кононенко З.И., Каштанова М.С.
Белорусский национальный технический университет

Процесс горения в котлоагрегате энергоблока относится к довольно сложным технологическим процессам с точки зрения управления. Для



регулирования процесса горения используются три регулятора: главный регулятор, регуляторы топлива и воздуха. Неоптимальное соотношение топливо/воздух может приводить, во-первых, к уменьшению КПД, во-вторых, к перерасходу топлива, к химическому недожогу, загрязнению окружающей среды, а также усиливает

низкотемпературную коррозию, связанную с так называемой «точкой росы». Оптимальное соотношение топливо/воздух зависит от нагрузки энергоблока и локальных избытков воздуха. Зависимость от нагрузки может быть рассчитана и учтена при реализации алгоритма вычисления через набор постоянных. Другая зависимость не может быть рассчитана. В случае неравномерного распределения воздуха по горелкам содержание кислорода в уходящих газах возрастает. Этот факт является необходимым условием определения неравномерности распределения воздуха по горелкам, но недостаточным, т.е. необходимо дополнительное условие. Таким дополнительным условием является уменьшение содержания водорода в уходящих газах относительно его оптимального значения. На рисунке 1 показаны графики зависимости потерь тепла с уходящими газами плюс потери тепла на тягу и дуге от избытка кислорода Q_2 и потерь тепла с химическим недожогом от избытка кислорода Q_3 . Таким образом, оптимальное значение избытка кислорода в уходящих газах для газо-мазутных котлов без учета чувствительности аппаратуры авторегулирования лежит на пересечении графиков Q_2 и Q_3 , а минимальные суммарные потери Q_1 будут минимальными в точке $O_{2\text{ опт}}$, что будет соответствовать максимальному значению КПД котлоагрегата. Как видно из рисунка, значения O_2 и H_2 изменяются в противоположных направлениях от $O_{2\text{ опт}}$. Эти данные являются основой для построения оптимизатора процесса горения на базе микропроцессорного контроллера.

Микропроцессорное устройство оптимизации процесса горения

Москаленко А.А., Кононенко З.И., Саболевская Е.К.
Белорусский национальный технический университет

Микропроцессорное устройство оптимизации процесса горения должно включать следующие узлы и блоки: аналогово-цифровой преобразователь, блок сравнения, анализатор, датчик оптимальных значений O_{2i} ($i = 1, 2, 3 \dots$), датчик оптимального значения химического недожога H_{2opt} , блок регулирования и коммутатор регулирующих воздействий. Такое устройство целесообразно выполнить на базе микроконтроллера со встроенным АЦП.

В основу работы оптимизатора положены следующие предельно допустимые значения по кислороду $[O_2]^+$, $[O_2]^-$ и химическому недожогу $[H_2]$:

$$\begin{aligned} [O_2]^+ &= (O_{2\text{опт}} - \delta) - \Delta; \\ [O_2]^- &= (O_{2\text{опт}} - \delta) - \Delta; \\ [H_2] &= H_{2\text{опт}}. \end{aligned} \quad (1)$$

где δ - допустимая зона определения $O_{2\text{опт}}$; Δ - зона чувствительности регулятора общего воздуха, причем $\Delta > \delta$.

Анализатор формирует одно из следующих значений:

$$[O_2]^- \leq O_2 \leq [O_2]^+, H_2 = [H_2]; \quad (2)$$

$$O_2 > [O_2]^+, H_2 < [H_2]; \quad (3)$$

$$O_2 < [O_2]^-, H_2 > [H_2]; \quad (4)$$

$$O_2 > [O_2], H_2 > [H_2]. \quad (5)$$

Каждое из условий отображается оператору через датчик оптимальных значений O_{2i} в виде соответствующих сигналов: "Норма", "Регулирование", "Несоответствие" и "Неисправность".

Для реализации соотношений (1 - 5) в оптимизатор через аналогово-цифровой преобразователь подаются сигналы с кислородомера и хроматографического газоанализатора, измеряющего концентрацию продуктов химического недожога в виде H_2 в уходящих газах, которые отражают химический недожог.

Условие (2-3) характеризует оптимальный процесс, а (3-4) требуют регулирования. В этом случае регулирование осуществляется регулятором через коммутатор регулирующих воздействий, начиная с первой горелки. Выход датчика $O_{2\text{опт}}$ должен подключаться к корректору кислорода (КК), а выход анализатора через ключ к регулятору общего воздуха (РОВ). Задачи КК и РОВ состоят в стабилизации текущего значения кислорода O_2 в окрестности точки $O_{2\text{опт}} \pm \delta$.

Лобовкин М.И., Бранкевич Э.С.

Белорусский национальный технический университет

При всем многообразии технических средств и математических методов, применяемых в системах слежения, все они содержат основные элементы структурной схемы распознавания образцов. Датчики преобразуют сцену в электрический сигнал, т.е. формируют исходные данные, содержащие полезную информацию об объекте и помеху, вызванную технологическими причинами. Предварительная обработка исходных данных имеет целью снятие данных для выделения свойств и признаков объекта и формального описания объекта.

Предварительная обработка может включать несколько стадий (фильтрация, выделение контуров, сглаживания). Формирование пространства признаков является наиболее важным этапом обработки, т.к. он определяет не только способ описания объекта, но и способ дальнейшего распознавания. Задача формального описания объекта состоит в том, чтобы реальному объекту (стыку сварного шва) поставить в соответствии упорядоченную систему чисел, каждое из которых отражает некоторое свойство объекта, является его признаком.

Рассмотрим построение пространства признаков на основе простейших форм сварного шва. К простейшим формам сварных форм отнесем формы, элементы которых могут быть представлены элементарными функциями. Задача состоит в формальном описании склона и горизонтальной части сечения. В распоряжении имеются наблюдаемые значения. Идея построения модели состоит в том, что по наблюдаемым значениям, принадлежащим склону и по известной форме зависимости определяются параметры прямой. Параметры : прямой могут быть определены методом регрессионного анализа. Таким же образом определяются параметры и горизонтальной части сечения. Решая систему уравнений, находим точку пересечения прямых. Теперь фрагмент образа, состоящего из склона и горизонтальной части можно описать вектором). Вектором, с такими же координатами, должен быть описан и эталонный образ. Такой подход позволяет задачу описания объектов перенести в векторное пространство, в котором с помощью какой-нибудь меры производить сравнение векторов и устанавливать степень соответствия предъявленного образа эталону.

При описании сложных форм, например валика усиления сварного шва, в качестве модели можно использовать ряд Фурье.

Алгоритмы управления группой роботов

Прокопович Г.А., Сычёв В.А.

Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси

Основная область группового управления в робототехнике – это управление несколькими роботами, выполняющими общую задачу. Простейший вариант такого управления – синхронизация выполняемых отдельными роботами или другими средствами робототехники операций, т.е. согласование их действий во времени.

В зависимости от поставленных задач используются три типа группового управления: централизованное, децентрализованное и их комбинации, каждый из которых обладает своими характерными преимуществами [1].

При централизованном управлении центр принимает решение о действиях всех подчинённых ему объектов группы. При этом сложность задачи возрастает экспоненциально с ростом числа объектов в группе и соответственно экспоненциально возрастает время решения. При использовании децентрализованного управления каждый объект группы принимает решение только за себя, обмениваясь информацией с другими членами группы с целью оптимизации группового решения.

Поэтому, для использования группы роботов в задачах транспортировки малогабаритных грузов, уборка и поиск объектов на больших площадях будет естественным использовать второй тип. Предлагается ряд алгоритмов децентрализованного управления группой роботов для различных задач. Все предложенные алгоритмы основаны на парадигме агентно-ориентированного подхода, в котором ставится задача создания автономной программы – интеллектуального агента, взаимодействующего с внешней средой. Данный подход акцентирует внимание на тех методах и алгоритмах, которые помогут интеллектуальному агенту выживать в окружающей среде при выполнении своей задачи.

В процессе проведённого моделирования была показана эффективность предложенных алгоритмов управления группами роботов, предназначенных для поисково-исследовательских работ и уборки помещения. Алгоритмы поведения, основанные на групповом подходе, демонстрируют устойчивость коллективной работы группы роботов по достижению поставленной цели даже при потере некоторых своих членов.

Литература

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 416 с.

К вопросу вычисления матриц вращения в задачах аналитической механики

Разорёнов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

На рисунке 1 представлена расчетная схема для определения матрицы преобразования (вращения) $\alpha = \alpha_\rho \cdot \alpha_\theta \cdot \alpha_\varphi$ из системы координат $OXYZ$ в систему $Ox_1y_1z_1$. Матрицы α представлена формулой 1.

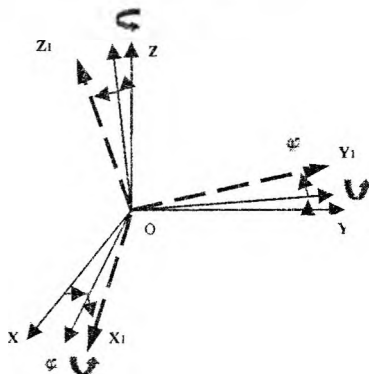


Рисунок 1. Углы поворота в трехмерном пространстве

$$\alpha = \begin{vmatrix} \cos \rho \cdot \cos \theta & \sin \rho & -\cos \rho \cdot \sin \theta \\ -\sin \rho \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi + \sin \theta \cdot \sin \varphi & \cos \rho \cdot \cos \varphi & \sin \rho \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi + \sin \varphi \cdot \cos \theta \\ \sin \rho \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi + \sin \theta \cdot \cos \varphi & -\sin \varphi \cdot \cos \rho & -\sin \rho \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi + \cos \theta \cdot \cos \varphi \end{vmatrix} \quad (1)$$

Можно упростить вычисление матрицы вращения. Для этого разложим функции $\sin x$ и $\cos x$ в степенной ряд Тейлора:

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots + \frac{(-1)^n x^{2n+1}}{(2n+1)!}, \quad \cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \dots + \frac{(-1)^n x^{2n}}{(2n)!}$$

Анализ значений функции $\sin x$ и $\cos x$, показывает, что для угла до 45° их можно заменить следующими выражениями: $\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!}$, $\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!}$. Предложенное упрощение вычисления матрицы вращения может быть использовано в системах, управляемых микроконтроллерами без команд вещественной арифметики.

Разорёнова Т.Р.

Белорусский национальный технический университет

Дисциплине «Прикладные системы обработки данных» отводится важная роль в формировании теоретической и практической подготовки специалиста в области технологий автоматизации офисных приложений, использовании инструментов для реализации любых аспектов бизнес-аналитики (Business Intelligence, BI), что обеспечивает доставку этой информации с помощью служб отчетов и проведение интеллектуального анализа данных лицам, ответственным за принятие решений.

Microsoft SQL Server Analysis Services (SSAS) является базовой платформой для развития систем бизнес-анализа. SSAS построены на основе Унифицированной Многомерной Модели (Unified Dimensional Model, UDM), которая позволяет различным типам клиентских приложений получать доступ к данным как из реляционных, так и из многомерных баз данных без использования отдельных моделей для каждого типа баз данных.

Модель UDM можно представить себе как ядро системы OLAP. Кубы служб SSAS – это многомерные структуры, обеспечивающие высокоскоростной доступ к большим объемам предварительно объединенных данных и позволяющие конечным пользователям получать интересующие их бизнес-данные в реальном времени. SSAS предоставляет уровень абстракции над реляционным источником данных. Это представление источника данных позволяет определять таблицы из реляционной базы для использования в многомерной модели, создавать вычисляемые столбцы и представления над реляционными таблицами. Предусмотренные в службах SSAS возможности перевода и автоматического конвертирования валют позволяют отображать локализованные данные анализа на родном языке пользователей.

В оболочку Visual Studio интегрированы ряд инструментов, предназначенных для разработки полноценных систем бизнес-анализа на основе Analysis Services, Reporting Services и Integration Services и администрирования баз данных, позволяющих управлять многомерными объектами, созданными разработчиками баз данных. BI-платформа Microsoft предоставляет возможности интеграции с продуктами семейства Microsoft Office System 2007. Изучение этих аспектов составляет содержание изучаемого курса и повышает информационные компетенции в управлении и принятии эффективных решений.

Методы и алгоритмы расчета временных показателей в системах компьютерного моделирования

Разорёнов Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Эффективность разрабатываемых вычислительных алгоритмов оценивается точностью и быстродействием, то есть временной оценкой кода программы.

Существует несколько методик оценки времени работы кода, который может быть представлен кодом: потоков процесса (программы), потока, функции, оператора. Следует учитывать точность вычисления времени специальными функциями, среди которых можно выделить функции библиотеки C++ и функции WIN32/64 API.

Функция `GetProcessTimes` определяет *временные параметры программы* (процесса). Функция `GetThreadTimes` определяет временные параметры потока. Функции возвращают четыре временных параметра: время создания, время завершения, время в режиме ядра и время в режиме User. Для преобразования форматов времени необходимо воспользоваться функцией `FileTimeToSistemTime`.

Время выполнения функции и оператора. Оценка времени выполнения функции и фрагмента кода (оператор/операторы) основана на том, что делаются два временных измерений: стартовое время и время окончания, а затем вычисляется их разница.

Для этих целей можно использовать функции библиотеки C++: `time`, `clock`, `ftime`. Функции `time` и `ftime` позволяет вычислить время в секундах. Более точное значение можно получить функцией `clock`, возвращаемое значение следует поделить на константу `CLOCKS_PER_SEC` – ЧИСЛО Импульсов времени `clock` в секунду. Достоинства: высокая платформенная независимость, недостатки: невысокая точность, т.к. измеряется интервал без учета времени прерывания потока.

Функции WIN32/64 API: `GetSystemTime`, `GetTickCount`, `QueryPerformanceCounter` и `QueryPerformanceFrequency`.

Функции `GetSystemTime` и `GetTickCount` позволяют получить время в миллисекундах, но не учитывается время прерывания потока.

Функции `QueryPerformanceCounter` и `QueryPerformanceFrequency` позволяют производить высокоточные измерения небольших фрагментов кода в наносекундах. Рекомендуется при измерениях времени уменьшить количество и активность потоков в системе, отключить компьютер от сети и т.д., чтобы уменьшить нагрузку на процессор.

Полуавтоматизированная подготовка заданий к учебным занятиям

Михалевич А.П.

Белорусский национальный технический университет

При подготовке к учебным занятиям возникает необходимость периодического обновления заданий к лабораторным занятиям. В случае 17 недельной недели возможна следующая последовательность выполнения работ: после трех выполненных работ планируется их защита, в этом случае студенты выполняют 12 лабораторных работ. Если в потоке насчитывается 4 учебные группы, в каждой из которых обучается примерно 30 студентов, то при делении группы студентов на 2 подгруппы, каждая из которых содержит 8 бригад, поток может содержать до 64 бригад. Поэтому каждое задание должно содержать не менее 64 электронных вариантов, а 12 заданий - 768 вариантов. Такое количество ежегодно обновляемых вариантов можно подготовить, лишь автоматизировав процесс подготовки заданий.

При изучении дисциплины “Системный анализ и машинное моделирование” студенты решают задачи, связанные с линейным и нелинейным программированием, теории игр теории массового обслуживания. Большинство из них использует аппарат линейного программирования и очень важным является подготовка заданий в этой области. В зависимости от характера системы ограничений различают общую задачу линейного программирования, стандартную (симметричную) задачу линейного программирования и каноническую (основную) задачу линейного программирования. Таким образом, уже на первом этапе возникает необходимость подготовки 6 заданий, каждое из которых содержит 64 варианта.

Процесс подготовки вариантов заданий, так и распределение вариантов заданий по бригадам студентов должны носить случайный характер. Для решения этой задачи была организована рабочая группа студентов, в которую вошли студент-дипломник заочной формы обучения Торчило В.А. и студенты третьего курса дневной формы обучения Вольский В.М. и Голуб А.С. Разработанное ими программное обеспечение позволяет решать поставленные задачи, все предлагаемые варианты проходят предварительное тестирование.

Синтезированные с помощью указанного программного обеспечения варианты решения заданий позволят в дальнейшем начать разработку заданий по таким темам, как целочисленные задачи линейного программирования, задачи параметрического программирования, дробно линейного программирования, блочного программирования и другие.

Автоматизация управления процессом обучения на базе Web-приложения

Беляков П.В.

Белорусский национальный технический университет

Преимуществом применения компьютеризации в обучении является то, что преподаватель в значительной степени освобождается от рутинной работы по текущему контролю за эффективностью обучения каждого ученика и получает возможность больше внимания уделять индивидуальной работе с учащимися. В то же время учащиеся, работающие в режиме диалога с компьютером, приучаются к самостоятельности и дисциплине.

Технические средства обучения призваны сделать процесс обучения более красочным и наглядным, показать действительное состояние, внешний вид и сущность изучаемых явлений или объектов.

Первая из трудностей, заключается в отсутствии финансирования таких разработок, и даже в отсутствии желания заниматься такими разработками, так как большинство педагогов устраивает традиционная система обучения.

Вторая трудность, заключается в несоответствии уровня квалификации педагогов и программистов. Редко можно встретить хорошего педагога и программиста в одном лице. Ведь надо не только уметь программировать, но и очень хорошо разбираться в правилах создания различных учебно-методических комплексов и, тем более педагогических систем, верным является и обратное утверждение.

На западе во многих университетах иное видение этого вопроса, там активно развиваются социальное обучение и построение совместного обучения (интегрируемого в практическое сообщество). Зарубежные коллеги имеют обширный опыт в обучении с использованием «продуктивного запроса», при таком подходе процесс обучения строится вокруг практической задачи, учащийся начинает решать эту задачу, обращаясь к учебному материалу по мере возникновения пробелов в теории. Примерами таких систем может служить сеть обсерваторий, доступ к которым осуществляется через Интернет.

В настоящее время использование информационных технологий в высшем образовании носит сугубо прикладной характер. Построение университетов будущего возможно только при переходе информационных технологий от прикладного компонента к полноценному участнику процесса обучения, поэтому необходимо проводить исследования возможностей и путей к более тесной интеграции прогрессивных информационных технологий в высшее образование.

Моделирование тепловой нагруженности элементов виброзащиты мобильных машин

Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Выделяемая при колебаниях мобильных машин мощность приводит к изменению теплового состояния упругих элементов подвески, что влияет на показатели плавности хода машины и долговечность элементов подвески, в особенности при использовании гидропневматических подвесок. Последние имеют нелинейные упругие характеристики, приближающиеся к оптимальным, компактны (конструктивно в одном корпусе объединены упругий и диссипативный элементы), позволяют изменять дорожный просвет и осуществлять блокировку подвески. Факторами, сдерживающими применение гидропневматических систем поддрессоривания, являются нестабильность их упругих и демпфирующих характеристик при изменении температуры рабочего тела в широких пределах.

Для обеспечения надежной работы ходовой части машины с системой гидропневматического поддрессоривания на стадиях проектирования и эксплуатации следует иметь математические модели, позволяющие учитывать тепловые процессы, получать количественные зависимости влияния температуры на конструктивные параметры элементов поддрессоривания, определять способы отвода выделяемого тепла, что позволит дать комплексную оценку работы шасси мобильной машины с учетом тепловых эффектов.

В докладе приводится алгоритм расчета температуры рабочего тела упругого элемента, уравнения колебательного движения мобильной машины, результаты компьютерного моделирования теплового состояния упруго-диссипативных элементов при движении мобильной машины, подвеска которой машины может быть полностью или частично закрыта другими деталями и поэтому степень ее обдува в процессе движения оказывается различной.

Представленные результаты позволяют оценить изменения температуры диссипативных элементов подвески мобильных машин в зависимости от степени их обдува при различных скоростях движения. На основании дополнительных температурных приращений, вызванных конструктивными особенностями подвесок, могут быть учтены особенности работы гидропневматических элементов поддрессоривания, а также рассчитаны геометрические параметры амортизаторов.

**Мониторинг технического состояния
приводных систем тракторов**

Усс И.Н.**, Калининко А.С., Басинюк В.Л.*, Мардосевич Е.И.*,
Лапанович И.О.

Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси *
ПО Минский тракторный завод **

Основной задачей создания конкурентоспособных тракторов является обеспечение соответствующих мировому уровню параметров безотказности, ресурса и экологической безопасности.

Создание тракторов с гибридным приводом мощностью 300 л.с. позволило комплексно решить технически сложную задачу одновременного увеличения мощности трактора, снижения вредных выбросов в окружающую среду и более экономичного расхода топлива на единицу потребляемой трактором мощности.

Однако, увеличение мощности тракторов до 300 л.с. приводит к соответствующему возрастанию его массы и существенному усложнению приводных и сервисных систем. Одновременно с этим возникают проблемы, связанные с необходимостью повышения надежности приводных систем и безопасности функционирования трактора в целом.

Для решения приведенных проблем целесообразно комплексное решение вопросов, включающих проблемы повышения надежности и совершенствования конструирования приводных систем, создания мобильных бортовых компьютеризированных систем мониторинга технического состояния и параметров их функционирования на основе анализа тепловой нагруженности и изменений динамических характеристик. В качестве основных объектов мониторинга компонентов приводных систем современных энергонасыщенных тракторов с высокой степенью автоматизации технологических процессов могут быть приняты:

– трансмиссия энергонасыщенного трактора, в варианте конструкционного исполнения с гибридным приводом, включающая двигатель внутреннего сгорания, генератор, электродвигатель, относительно «тихоходную» автоматическую трансмиссию и электронные модули управления;

– гидропривод навесных устройств и системы автоматизированного управления алгоритмами и режимами его функционирования .

В качестве основных параметров, регистрируемых при их мониторинге могут быть приняты вибрационная, тепловая нагруженность и давление в гидроприводе. Как вспомогательного регистрируемого параметра целесообразно использование угловой скорости вращения генератора.

Мониторинг сельскохозяйственной техники

Усс И.Н.***, Калининченко А.С., Басинюк В.Л.*, Мардосевич Е.И.*,
Лапанович И.О.

Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси *
ПО Минский тракторный завод **

К одной из задач создания конкурентоспособной сельскохозяйственной техники можно отнести обеспечение соответствующих мировому уровню параметров безотказности, ресурса и экологической безопасности.

Решение этой задачи достигается путем комплексной реализации различных направлений ее совершенствования, важное место среди которых занимают методы автоматизированного мониторинга параметров функционирования и технического состояния отдельных узлов и объекта в целом в эксплуатационных условиях. Использование этих методов позволяет предотвратить внезапные отказы или существенно снизить их отрицательное воздействие на основные компоненты объекта мониторинга и окружающую среду, определить технически обоснованные и экономически целесообразные сроки проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту и в целом обеспечить качественно новый уровень эксплуатационного обслуживания сельхозмашин.

Для мобильной техники в качестве диагностических признаков используются такие параметры, как температура диагностируемого узла и его квазистатическая или динамическая нагруженность. Одновременно с этими параметрами регистрируется угловая скорость вращения двигателя.

Контроль приведенных выше параметров может осуществляться с частичным использованием средств контроля, предусмотренных конструкций объекта мониторинга. Эти средства могут быть интегрированы в бортовую компьютеризованную систему диагностирования или использоваться в качестве вспомогательных внешних источников информации.

Съем диагностических данных может осуществляться как путем непосредственного измерения регистрируемых параметров, так и с дополнительным использованием средств их «внешнего» косвенного контроля, позволяющего существенно повысить достоверность результатов мониторинга.

При обработке и анализе диагностических данных могут использоваться эталонные значения регистрируемых параметров, полученные в процессе штатного режима функционирования, либо в процессе реализации специально подобранных или выделенных режимов функционирования.

Выбор параметров пид-регулятора по принципу компенсации

Пашенко А.В.

Белорусский национальный технический университет

Несложно заметить, что ПИД-регулятор характеризуется тремя коэффициентами K_p , K_i и K_d . Для расчета этих коэффициентов необходимо знать параметры объекта управления, в данном случае двигателя. С точки зрения теории автоматического управления двигатель постоянного тока приближенно описывается: двумя аperiodическими звеньями с электрической постоянной времени T_e и механической постоянной времени T_m . Общий коэффициент усиления двигателя $K_{об}$. Передаточная функция двигателя, записанная через оператор Лапласа s , следующая:

$$W_{об}(s) = \frac{K_{об}}{(T_e s - 1)(T_m s + 1)}$$

Чтобы рассчитать коэффициенты ПИД-регулятора следует решить обратную задачу динамики. Для этого абстрагируемся от ПИД-регулятора. Будем полагать, что структура регулятора, т.е. его передаточная функция $W_p(s)$, нам неизвестна. За то известна передаточная функция объекта управления $W_{об}(s)$. Запишем передаточную функцию замкнутой системы $W_z(s)$:

$$W_z(s) = \frac{W_p(s) \cdot W_{об}(s)}{1 + W_p(s) \cdot W_{об}(s)}$$

Пусть желаемая передаточная функция системы $W_{жс}(s)$ равна

$$W_{жс}(s) = \frac{1}{T_m s + 1}$$

Путем простых преобразований найдем желаемую передаточную функцию регулятора:

$$W_p(s) = \frac{1}{T_e s \cdot W_{об}(s)}$$

Рассмотренная выше методика применена для выбора регулятора по управляющему воздействию. Однако существует еще проблема возмущающего воздействия. Для ее решения можно применить принцип компенсации возмущающего воздействия с его переносом на вход либо на выход системы управления. Также может быть применена методика аналогичная рассмотренной выше. При этом необходимо преобразовать структурную схему системы управления.

Тестирование знаний студентов по языку логического программирования Пролог

Ковальков А.Т., Ковалькова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Программное обеспечение комплекса тестирования состоит из двух программ: пользовательской, которая используется непосредственно для тестирования знаний студентов, и программы разработчика тестов.

Обе программы разработаны на языке Пролог в системе программирования Visual Prolog (VP), при этом используется внешняя база данных VP. В рамках внешней базы данных создаются цепочки термов соответственно количеству тем для тестирования. С каждой цепочкой можно работать как с отдельной базой данных. Каждый терм базы данных имеет следующую структуру: номер термина, формулировка вопроса, список вариантов ответов на вопрос теста. База данных построена таким образом, что по соседству находятся два вопроса, похожие по смыслу, но отличающиеся по формулировке. При выборе вопросов для тестирования из двух похожих вопросов выбирается случайным образом только один. Тогда, например, если по выбранной теме имеется 40 вопросов, то тестируемому из них предлагается 20 случайно выбранных, среди которых нет похожих вопросов. При каждом новом запуске теста порядок выбора вопросов и предлагаемых вариантов ответов случайным образом меняются. По предлагаемым вариантам ответов на заданный вопрос тестируемым формируется строка ответа: в порядке следования вариантов ответов вводятся с клавиатуры цифры 1 (ответ правильный) или 0 (ответ неверный), затем нажимается клавиша Enter. До нажатия Enter строку ответа можно редактировать. Среди предлагаемых ответов правильных может быть несколько. В зависимости от содержания вопроса количество предлагаемых вариантов ответов может быть от 2 до 6.

Меню пользовательской программы содержит следующие пункты: выход, справка, тестирование, сохранение результатов тестирования и удаление результатов тестирования. Меню программы разработчика тестов помимо пунктов, содержащихся в меню пользовательской программы, имеет ряд дополнительных пунктов: добавление термина, удаление термина, просмотр одного термина по номеру, просмотр термов цепочки, просмотр вопросов цепочки, тест по одному вопросу, создание новой цепочки, переименование цепочки, удаление цепочки и некоторые другие.

Практическое использование разработанной тестовой системы в учебном процессе заставляет студентов работать с конспектом лекций и повышает продуктивность лабораторных занятий.

**О структуре пояснительных записок в курсовом
и дипломном проектировании**

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

В пояснительных записках по курсовому и дипломному проектированию наблюдается обилие стилей отсутствие конкретики. На наш взгляд, переход к единой структуре пояснительных записок и рекомендаций к содержанию отдельных их разделов позволит бы улучшить сложившуюся ситуацию.

Например, пояснительные записки к дипломным проектам программного плана могут иметь структуру типа:

Введение

1. Предмет разработки в контексте AS-IS и TO-BE

2. Техническое задание на предмет разработки

3. Моделирование данных

4. Логическое моделирование программного обеспечения

5. Физическое моделирование программного обеспечения

6. Реализация и тестирование программного обеспечения

7.Руководство пользователя

8. Определение экономической эффективности разработки программного обеспечения

9. Охрана труда

Заключение

Список использованных источников

Приложения

В случае курсового проектирования п. 8-9 и др.м.б. опущены. При этом желательно, чтобы каждый пункт начинался с предисловия и заканчивался резюме, как в примере для п.1

1.1. Предисловие

1.2. Модель AS-IS

1.3. Модель TO-BE

1.4. Цели и задачи предмета разработки

1.5. Резюме

В данном случае в п.1.1 следует описать выбор инструментария и диаграммных техник, а в п.1.5 – кратко изложить полученные результаты по разделу.

Разумеется, что к курсовым и дипломным проектам желательно предусмотреть соответствующие формы по написанию расчетно-пояснительных записок.

Бугай О.В.

Белорусский национальный технический университет

Внедрение на кафедре ПОВТ и АС электронной формы отчетов о лабораторных работах позволило существенно снизить расход бумаги, катриджей и износ устройств печати. На наш взгляд, следующим шагом должно стать снижение объема самих отчетов.

Для этого предлагается упомянутые отчеты каждой бригады по дисциплине включать в один ДОС-файл. Последний должен включать в себя: титульный лист (один на весь файл) отчеты по отдельным работам, начинающиеся с новой страницы.

При этом каждый из отчетов может иметь структуру вида:

Лабораторная работа
на тему «.....»

Цель работы.

Задание на работу

Результат выполнения работы

.....

.....

Выводы по работе

.....

Если в отдельных работах планируется привить каждому из членов бригады навык работы с учетом темы курсового либо дипломного проекта, можно выдать отдельные задания каждому из них, указав в скобках ФИО студента. В отчете же после заголовка «Результат выполнения работы» написать с нового абзаца:

Исполнитель ФИО

(Здесь привести отчет 1-го члена бригады)

.....

Исполнитель ФИО

(Ниже привести отчет 2-го члена бригады)

.....

Выводы по работе в этом случае могут быть общими либо индивидуальными.

Разумеется, что ко всем лабораторным работам следует предусмотреть соответствующие лабораторные практикумы с необходимыми формами и примерами отчетов. Такой подход не только снижает материальные и временные издержки, но и дисциплинирует студентов, оформляющих отчетную документацию по лабораторным работам.

Система организации и учета замен преподавателей

Михалевич А.П.

Белорусский национальный технический университет

При организации замен учебных занятий возникает задача их учета с последующей обработкой с целью анализа экономических показателей кафедры и прогнозирования ее дальнейшего развития. Учебные занятия, проводимые преподавателями можно разделить на две основные группы: занятия, проводимые штатными преподавателями, и занятия, проводимые преподавателями с почасовой оплатой труда. В первом случае после представления преподавателем документа о болезни оплата труда преподавателей, заменявших учебные занятия, производится из дополнительного премиального фонда, сформированного из бюджетных средств. Во втором случае – из внебюджетных средств. Оплата труда совместителей, как правило, производится из внебюджетных средств.

Кроме болезни преподавателя замена учебных занятий может быть вызвана поездками, связанными с выполнением научно-исследовательской работы, участием в работе различных комиссий, оформленным отпуском за свой счет, смертью родственников или свадьбой. Кроме того не всегда больничные учреждения выдают документ о болезни по причине (отсутствие температуры, резкое повышение или понижение давления и т.д.). Множество перечисленных причин вызывает необходимость их учета с тем, чтобы избежать ошибок в оформлении финансовых документов.

В книге Excel каждому преподавателю кафедры на семестр выделяется один лист. В верхней части листа указываются фамилия, имя, отчество преподавателя, его должность, номера домашнего и мобильного телефонов, виды учебных нагрузок: штатная (шт), совместительство (св), с почасовой оплатой труда (пч). Ниже указывается название семестра и приводится календарь с учетом номера недели. Еще ниже приводится таблица с колонками: порядковый номер, номер группы, день недели, номер недели, время учебного занятия, аудитория, название предмета, вид занятия, вид нагрузки, преподаватель, который может провести занятия по данной дисциплине или по своей (смежной) дисциплине (для страховки в соседнем столбце указывается преподаватель-дублер). Для учета причины, вызвавшей срыв учебных занятий, используется дополнительная таблица.

Приведенные формы отчетности позволяют наладить замену учебных занятий при помощи любого инженерно-технического работника кафедры. Все эти меры позволят не только грамотно распорядиться финансовыми средствами, но и получить статистические данные о состоянии здоровья сотрудников, их квалификации и отношении к своим обязанностям.

Система формирования и работы с учебными планами

Бухвалова И.А., Попова Ю.Б., Лаврентиков В.А.
Белорусский национальный технический университет

Каждая выпускающая кафедра ведет подготовку специалистов в соответствии с учебными планами. Каждый рабочий учебный план специальности имеет две важные характеристики - год набора и форма обучения. В соответствии с учебными планами формируется нагрузка кафедр на учебный год. Анализ проблемы, связанной с составлением учебных планов и работой с ними показывает, что это достаточно кропотливая и трудоемкая работа. Для систематизации учебных планов, упрощения работы с ними предлагается информационная система, основанная на базе данных. При проектировании базы данных в качестве источника информации были выбраны нормативные документы по формированию планов и типовые учебные планы. Кроме этого учитывались вопросы обновления данных, многопользовательского доступа к данным.

В ходе разработки и создания системы были решены следующие задачи:

- формирование нового учебного плана;
- корректировка существующих планов,
- обновление данных на каждый учебный год,
- поиск информации в базе данных по всем параметрам учебного плана;
- формирование списка дисциплин на каждый учебный год в зависимости от вида набора, специальности, для заданной кафедры;
- определение групп пользователей и их прав доступа к данным,
- обеспечение доступа к сформированным учебным планам для всех зарегистрированных в системе преподавателей.

Информационная система реализована в виде web-приложения и имеет следующие характеристики:

- доступ к приложению осуществляется через веб-интерфейс;
- приложение работает на платформе Microsoft .NET Framework версии 4.0;
- в качестве сервера базы данных используется Microsoft SQL Server 2005/2008;
- приложение работает на сервере под управлением операционной системы Windows с использованием Microsoft Internet Information Service версии 5.1 и выше.
- приложение должно совместимо с браузерами Internet Explorer 8.0+, Firefox 4.0+, Safari, Google Chrome.

Разработка инструментальных средств для решения задачи размещения корней динамической системы в заданной области

Несенчук А.А., Петухов В.С.

Белорусский национальный технический университет

Система представлена 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_j - некоторые коэффициенты (параметры) системы, $s = \sigma + i\omega$.

Выделим свободный параметр K :

$$b_0 s^n + b_1 s^{n-1} + \dots + b_{n-1} s + b_n + K(c_0 s^n + c_1 s^{n-1} + \dots + c_{n-1} s + c_n) = 0, \quad (3)$$

где $-\infty < K < +\infty$.

На основании выражения (3) формируется уравнение корневого годографа Теодорчика-Эванса (КГТЭ) [1]. Это уравнение, выраженное через базовые полиномы $E_n(\sigma, \omega)$, $P_n(\sigma, \omega)$, $F_n(\sigma, \omega)$, $R_n(\sigma, \omega)$ [1], имеет следующий вид:

$$E_n(\sigma, \omega)P_n(\sigma, \omega) - F_n(\sigma, \omega)R_n(\sigma, \omega) = 0. \quad (4)$$

На основании выражений (1) – (4) разработано приложение, реализующее графо-аналитический метод размещения корней системы в заданной области. Приложение обеспечивает формирование уравнений и графическое построение корневых годографов КГТЭ (4), полей корневых траекторий КГТЭ [2], отображение интервалов изменения параметра годографа.

Программа разработана в среде MS Visual 2008 C++ Express Edition. На вход программы подается характеристическое уравнение или передаточная функция динамической системы, минимальные и максимальные значения параметра поля и параметра годографа. На выходе, в зависимости от действий пользователя, может быть: один КГТЭ, поле КГТЭ, значение свободного параметра, область качества или же комбинации этих элементов по желанию пользователя. Движение корней при изменении варьируемых параметров показано в динамике. Это позволяет исследовать влияние варьируемых параметров на корни системы, и определить такие параметры, при которых система сохраняет устойчивость и заданное качество.

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.

**О рассмотрении вопросов параллельного программирования
в рамках дисциплины «Компьютерные системы и сети»**

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время параллельные вычисления являются перспективным, динамически развивающимся направлением, а параллельное программирование становится необходимым. Поэтому знание современных тенденций развития вычислительных систем и аппаратных средств для достижения параллелизма, умение разрабатывать модели, методы и программы параллельного решения задач обработки данных следует отнести к числу важных квалификационных характеристик современного специалиста по вычислительной технике.

Существует три обширных перекрывающихся типа параллельных программ: многопоточные программы, распределенные вычисления, синхронные параллельные вычисления. Совместная работа процессов параллельной программы осуществляется с помощью их взаимодействия. Взаимодействие программируется с применением разделяемых переменных или пересылки сообщений.

Актуальными задачами для прикладного программиста являются: распараллеливание выполнения задачи в рамках одного приложения; взаимодействие приложений на одном компьютере; создание распределенных приложений (распараллеливание задачи в рамках сети).

При изучении дисциплины «Компьютерные системы и сети» рассматриваются в основном те вопросы параллельной и распределенной обработки данных, которые связаны с организацией сетевого взаимодействия и пересылкой сообщений. Программист для решения перечисленных задач должен знать способы обмена данными и средства синхронизации.

В лабораторном практикуме изучаются такие способы реализации многозадачности и средства межпроцессорного взаимодействия в среде Windows, как каналы и сокет. Одно из заданий посвящено изучению модели итеративного параллелизма на примере задачи умножения матриц. Рассматривается также задача синхронизации процессов с помощью семафоров.

Часть интересных вопросов, типичных задач и алгоритмов параллельного программирования вынесена для самостоятельного рассмотрения студентами в ходе выполнения курсовой работы. Например, такие классические задачи параллельного программирования, как задача об обедающих философах и о читателях и писателях.

Кучерявенко Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Исторически развитие концепций жизненного цикла связано с поиском адекватных моделей для него. Как и всякая другая, модель жизненного цикла является абстракцией реального процесса, в которой опущены детали, несущественные с точки зрения назначения модели. Различие назначений применения моделей определяет их разнообразие.

Знание этого даже для непрофессионального программиста помогает понять, на что можно рассчитывать при заказе или приобретении программного обеспечения и что нереально требовать от него. В частности, неудобные моменты работы с программой, ее ошибки и недоработки обычно устраняются в ходе продолжающейся разработки, и есть основания ожидать, что последующие версии будут лучше. Однако кардинальные изменения концепций программы — задача другого проекта, который совсем необязательно будет во всех отношениях лучше данной системы.

Модели жизненного цикла — основа знания методологий программирования и инструментария, поддерживающего их. Программист всегда использует в своей работе инструменты, но квалифицированный программист знает, где, когда и как их применять. В этом ему помогают понятия моделирования жизненного цикла, любая методология базируется на определенных представлениях о жизненном цикле, выстраивает свои методы и инструменты вокруг фаз и этапов жизненного цикла.

Общие знания о том, как развивается программный проект, дают наиболее надежные ориентиры для его планирования, позволяют экономнее расходовать ресурсы, добиваться более высокого качества управления. Все это относится к сфере профессиональных обязанностей руководителя программного проекта.

Общие знания помогают менеджеру проекта выстраивать надежную аргументацию при отстаивании своей точки зрения перед заказчиком, перед руководством фирмы, перед другими заинтересованными лицами.

Наконец, знание технологических функций, которые на разных этапах должны выполнять разработчики, занимающие те или иные роли, способствует правильному распределению обязанностей сотрудников.

Сгладить указанные противоречия можно только путем изучения различных подходов к разработке программного обеспечения. Реальное применение любой технологии проектирования, разработки и сопровождения ПИ в конкретном проекте невозможно без выработки ряда стандартов в частности, различных вариантов моделей жизненного цикла.

Анализ динамической модели магнитореологического амортизатора под воздействием нагрузок в MATLAB SIMULINK

Прибыльская Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Магнитореологический амортизатор является одним из наиболее перспективных устройств для подавления вибраций. Использование магнитореологического амортизатора под воздействием нагрузки представляет большой интерес.

Работа магнитореологического амортизатора основана на применении магнитореологических жидкостей. Важной характеристикой магнитореологической жидкости является ее способность обратимо изменяться за миллисекунды от ньютоновской жидкости до полутвердого вещества с управляемой текучестью при воздействии магнитного поля, что дает магнитореологическим амортизаторам широкую область применения. Однако, поведение магнитореологических жидкостей и устройств под действием ударных нагрузок не очень хорошо изучены.

Анализ динамической модели магнитореологического амортизатора под воздействием нагрузок проводился в Matlab Simulink. Matlab Simulink-это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая строить динамические модели.

В работе исследуется демпфер, состоящий из наполненного вязкой жидкостью цилиндра, в котором движется поршень с отверстиями. Поршень штоком соединен с массой. Масса подвешена на пружине.

Уравнение колебаний массы имеет вид

$$M\ddot{q}(t) + C\dot{q}(t) + Kq(t) = 0, \quad (1)$$

$$q_{t=t_0} = q_0, \quad \dot{q}_{t=t_0} = \dot{q}_0, \quad t_0 \leq t \leq t_k.$$

Сопротивление, встречаемое поршнем при движении его в цилиндре (так называемое вязкое трение), пропорционально первой степени скорости $F = C\dot{q}(t)$. Наиболее сложной частью расчета является определение величины коэффициента C , зависящего от многих факторов. Здесь мы воспользовались следующим выражением этого коэффициента:

$$C = \frac{128\eta l \sigma^2}{\pi d^4}, \quad (2)$$

Нас интересовало исследование зависимости коэффициента C от силы тока, которая присутствует в формуле (2), через коэффициент вязкости η , который в свою очередь зависит от напряженности поля и силы тока.

Моделирование СВЧ-камеры для технологических применений в системе FemLab

Щербаков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из направлений развития технологических процессов сушки различных материалов является использование энергии поля сверхвысоких частот (СВЧ). Для канализации энергии СВЧ применяют камеру пирамидальной конструкции.

При оптимальном выборе размеров в ближнем поле рупорного облучателя прямоугольной формы формируется волна основного типа Н₁₀, для которой характерно равномерное распределение поля в одном направлении и синусоидальное - в другом. Это обуславливает преимущество использования таких камер для СВЧ-обработки по сравнению с прямоугольными.

Для расчета и оптимизации такой камеры в работе использовалась система FemLab, позволяющая выполнить трехмерное моделирование распределения электромагнитного поля с учетом влияния диэлектрической нагрузки методом конечных элементов. Предварительный поиск параметров, близких к оптимальным, производился без учета влияния диэлектрической вставки на основе метода отображения поверхности нерегулярного рупора на регулярный волновод.

Погрешность моделирования в системе FemLab уменьшается при увеличении числа узлов сетки трехмерной модели, что приводит к увеличению использования ресурсов оперативной памяти. Приемлемая точность расчета получена при использовании 16Гбайт оперативной памяти.

Было проведено исследование влияния проводимости диэлектрического материала на характер распределения электромагнитного поля на диэлектрике. Комплексная диэлектрическая проницаемость задавалась при следующих значениях: $\epsilon=20$, проводимость σ изменялась в пределах 0,001-100. Расчет выполнялся для частоты $f=2,45$ ГГц.

Обнаружено существенное перераспределение интенсивности поля вдоль длинной стороны раскрыва рупора при проводимости $\sigma < 0.1$, когда отражения от диэлектрика незначительны и при $\sigma > 10$, когда поле за диэлектриком практически отсутствует. Равномерность распределения вдоль малой стороны раскрыва рупора практически не менялась, несмотря на значительный диапазон изменения проводимости. Благодаря данному свойству пирамидального рупора, его можно рекомендовать для использования в системах конвейерной сушки при движении ленты вдоль длинной стороны раскрыва.

Применение информационных технологий для организации процесса курсового проектирования

Попова Ю.Б., Бухвалова И.А.

Белорусский национальный технический университет

Курсовое проектирование является частью учебного процесса, позволяющей максимально продемонстрировать студенту имеющиеся знания и навыки, т.к. является самостоятельной и индивидуальной работой. Этот момент значительно сокращает время общения студента и преподавателя, что приводит к снижению контроля и отрицательно сказывается на организации процесса курсового проектирования. Для решения данной задачи была рассмотрена возможность создания программного обеспечения, удобного для студентов дневной и заочной форм обучения.

Предлагаемый авторами модуль «Курсовые проекты \ работы», представляет собой информационно-справочную систему и соответствует следующим требованиям:

1. Разделяет возможности функционала для преподавателя и студента.

2. Позволяет преподавателю заносить в базу данных, редактировать и удалять темы курсовых проектов, подтверждать их назначения для студентов; создавать шаблон листа задания к курсовым проектам; вести статистику готовности курсовых проектов по этапам; составлять график консультаций и вести статистику их посещения студентами.

3. Позволяет студенту выбирать тему курсового проекта; скачивать готовый лист задания на курсовой проект; просматривать даты консультаций и статистику готовности проектов в группе; просматривать всю информацию по группам.

4. Позволяет общаться студенту и преподавателю посредством электронных сообщений.

5. Позволяет родителям студента просматривать посещение консультаций и процент выполнения курсового проекта.

Рассмотренный модуль «Курсовые проекты \ работы» прошел апробирование на кафедре ПОВТиАС по дисциплинам «Тестирование и отладка программного обеспечения», «Базы данных», «Базы данных, базы знаний и экспертные системы», «Основы алгоритмизации и программирования» в составе автоматизированной системы управления учебным процессом, расположенной по адресу <http://Lms.ftr.bntu.by:3000>.

Программный модуль «Курсовые проекты \ работы» может быть использован для организации процесса курсового проектирования на любой кафедре вуза.

Характеристики и свойства трехфазных вентильных двигателей переменного тока при скорости выше основной

Фираго Б. И., Павлячик Л.Б.

Белорусский национальный технический университет

Благодаря своим энергетическим преимуществам: практически отсутствию потерь в роторе и высокому коэффициенту мощности, синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) становятся серьезными конкурентами для асинхронных короткозамкнутых двигателей. Диапазон мощностей трехфазных СДПМ простирается от сотен ватт до 100 кВт. Постоянные магниты чаще всего располагаются на поверхности ротора, поэтому влияние магнитного насыщения незначительное. Для управления СДПМ применяют векторные способы.

Оптимальный режим работы СДПМ находится в первой зоне регулирования, где угловая скорость ротора изменяется от минимальной до основной (номинальной) при поддержании постоянства потокосцепления взаимоиндукции. Это позволяет регулировать скорость двигателя с постоянным допустимым по нагреву моментом. Механические характеристики СДПМ в первой зоне такие же, как и двигатели постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ). Наибольшая величина скорости идеального холостого хода определяется номинальным напряжением двигателя.

В ряде механизмов (краны, станки) требуются еще скорости выше номинальной при малых моментах сопротивления. В СДПМ их получают за счет ослабления магнитного потока с помощью продольно-размагничивающей реакции якоря, которая возникает при упреждающем угле управления.

В работе получена математическая модель, структурная схема и уравнение механической характеристики СДПМ при упреждающем угле управления, а также рассмотрена функциональная схема векторного управления этим двигателем. Механическая характеристика СДПМ при упреждающем угле управления нелинейная, очень мягкая. Это приводит к тому, что с повышением скорости от номинальной мощность двигателя уменьшается в отличие от постоянства мощности ДПТ НВ при ослаблении магнитного потока.

Проведенный анализ показал ограниченные возможности регулирования скорости СДПМ выше основной из-за сильного влияния индуктивности статора на высоких скоростях.

Двигатели с малыми величинами индуктивности статора имеют более широкие возможности регулирования скорости во второй зоне.

Исследование электромеханических процессов в асинхронных короткозамкнутых двигателях при прямом пуске и торможении с учетом переменных параметров

Васильев Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Активные и индуктивные сопротивления рассеяния асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АД с к.з.р.) могут изменяться в несколько раз по сравнению с номинальными при изменении скольжения от номинального до 1. При этом принимается, что приведенное к статору активное сопротивление ротора изменяется практически пропорционально скольжению, а приведенное индуктивное сопротивление ротора при $s > 0,2$ изменяется обратно пропорционально скольжению. Необходимо также принять во внимание изменение индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора, которое обусловлено насыщением зубцов от полей рассеяния. Поэтому более целесообразно учитывать изменение индуктивного сопротивления рассеяния короткого замыкания в функции скольжения.

В данной работе ставится задача сравнить механические характеристики (МХ) исследуемых АД с к.з.р. (11 кВт и 30 кВт), полученные в процессе имитационного моделирования прямого пуска и торможения противовключением этих АД с учетом постоянных и переменных параметров. Исследование проводилось при номинальной нагрузке на основе имитационной модели эквивалентного двухфазного АД в осях α - β . В данной модели изменение приведенного активного сопротивления статора описано линейной зависимостью, а индуктивное сопротивление короткого замыкания аппроксимировано с помощью кривой гиперболического типа.

Можно также аппроксимировать линейной зависимостью и изменение индуктивного сопротивления короткого замыкания, но такая аппроксимация имеет существенный недостаток: при определенных параметрах АД и некотором значении скольжения, величина индуктивного сопротивления короткого замыкания примет нулевое и даже отрицательное значение, что противоречит физическому смыслу.

Из полученных в результате имитационного моделирования МХ для исследуемых АД с к.з.р. видно, что МХ при учете переменных параметров существенно отличаются от характеристик при постоянных параметрах как в двигательном режиме, так и в режиме торможения противовключением. Причем с увеличением номинальной мощности АД с к.з.р. это отличие становится более значительным.

Источников бесперебойного питания в АСУ

Павлович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

К источникам питания в автоматизированных системах управления (АСУ) электроприводами, сложными технологическими процессами, современными персональными компьютерами предъявляются повышенные требования в отношении поддержания надежности работы. 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 ИБП со структурой On-Line (рис.1) сетевое напряжение через выпрямитель поступает на преобразователь постоянного напряжения высокого уровня в низкое ПН1, а затем на преобразователь (инвертор) постоянного напряжения в переменное выходное напряжение ПН2. Питание на инвертор ПН2 подаётся как от аккумуляторной батареи, так и от сети через «выпрямитель - ПН1», включенный параллельно: при нормальном сетевом напряжении инвертор ПН2 питается от ПН1; при отклонениях напряжения в питающей электросети от нормы входное напряжение для ПН2 снимается с аккумуляторной батареи.

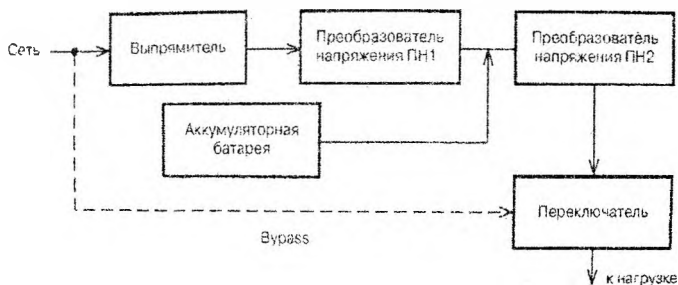


Рис. 1

Вывод: ИБП, выполненный по структуре On-Line, является самым надежным; даже при значительных отклонениях параметров сетевого напряжения от нормы он обеспечивает на выходе номинальное напряжение с точностью $\pm 1...3\%$. Наличие обходной цепи (bypass) позволяет подключать нагрузку прямо к силовой цепи.

Литература. 1. Кучеров, Д.П., Куприянов, А.А. Современные источники питания ПК и периферии. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 352 с.

Позиционные системы управления электроприводом с управляющей моделью

Михеев Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается система автоматического управления положением, обеспечивающая отработку заданного перемещения (заданную точность позиционирования при высоком быстродействии) при заданных ограничениях на скорость, ускорение и первую производную по ускорению (рывок) и отсутствии датчика положения (положение контролируется в фиксированных точках переключателями). При реализации квазиоптимальной системы позиционирования используется управляющая модель в сочетании с оптимизированными контурами регулирования. Для обеспечения оптимальной отработки перемещения управляющее устройство должно достаточно точно определять точку начала торможения (начальную скорость торможения), которая в общем случае не совпадает с расположением текущего путевого переключателя.

Система управления может быть построена в виде следящей системы скорости, которая воспроизводит заданный закон изменения скорости (диаграмму скорости). Заданный закон изменения скорости формируется моделью (задатчиком скорости) желаемого (оптимального) движения при заданном перемещении, заданных ограничениях и вычисленной точки начала торможения. Вычисление заданного перемещения осуществляется «Вычислителем перемещения» по информации о заданном положении и исходном положении. По заданным значениям перемещения, максимальной скорости, максимальному ускорению и максимальному значению первой производной от ускорения (рывка) «Вычислителем точки начала торможения» вычисляется скорость, с которой необходимо начать торможение для перемещения в заданную точку и остановки в заданной точке за минимальное время при заданных ограничениях. Вычисленное значение скорости начала торможения и поступают на модель оптимальной диаграммы перемещения, которая формирует задание скорости для системы управления электроприводом. В качестве уставок ограничений на модель поступают заданные значения ускорения и рывка. Модель представляет собой замкнутую систему по модельному (вычисляемому) положению. Коррекция модельного перемещения осуществляется дискретно по действительному положению по командам переключателей. Работа системы управления проверена путем моделирования по программе «Matlab». В качестве исполнительного электропривода использовалась система скалярного частотного управления АД.

Оценивание параметров асинхронного электродвигателя методом скоростного градиента

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Система векторного ориентированного по потокосцеплению ротора управления асинхронным электродвигателем использует настраиваемую модель электромагнитных процессов двигателя. В модели используются параметры схемы замещения двигателя, полученные расчетным путем по паспортным данным электрической машины. В процессе функционирования электропривода параметры подвержены изменению в широких пределах, что приводит к значительным отклонениям качества регулирования от желаемого.

Стабильное качество регулирования может быть достигнуто путем автоматической настройки параметров модели, то есть при адаптивном управлении.

Для синтеза алгоритма оценивания скорости ротора и постоянной времени цепи ротора используются уравнения электромагнитных процессов в неподвижной системе координат, а так же информация о текущих значениях тока и напряжения фаз статора электродвигателя. Критерием точности служит квадратичная оценка разности измеренных и оцениваемых моделью значений тока фаз статора.

Метод скоростного градиента позволяет организовать процесс изменения настраиваемых параметров в направлении убывания критерия.

При этом происходит уменьшение погрешности оценивания тока статора и, следовательно, повышение достоверности модели.

Моделирование системы векторного управления с адаптивной моделью электромагнитных процессов и полной имитационной моделью объекта подтверждает работоспособность данного метода. Значение скорости может быть оценено в диапазоне ее регулирования как вниз от номинального значения, так и вверх при ослаблении поля с погрешностью в пределах пяти процентов. Постоянная времени цепи ротора оценивается с приемлемой точностью лишь при неподвижном роторе и на малых скоростях.

Результаты анализа системы на имитационной модели позволяют сделать вывод, что метод скоростного градиента обеспечивает идентификацию параметров в процессе функционирования электропривода одновременно с адаптацией модели к изменению параметров, что способствует стабильности показателей качества системы векторного управления электроприводом.

К вопросу автоматизации установок распределенной генерации энергии

Константинова С.В.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время значительное внимание уделяется развитию малой энергетики на базе небольших по мощности генерирующих источников. Такое направление системы энергообеспечения получило название "Распределенная генерация энергии" (РГЭ) - это децентрализованная система энергоснабжения, основу которой составляют, небольшие по мощности генерирующие энергоустановки, работающие на углеводородном топливе, а также нетрадиционные и возобновляемые генерирующие источники в том числе: на биомассе, ветроэнергоустановки, солнечные электростанции, гидрогенерирующие источники малой мощности, и др. Понятие распределенная генерация объединяет и включает в себя такие понятия как автономные, локальные, децентрализованные, местные источники генерации, а также источники малой энергетики. Они могут входить в состав энергосистемы, в состав потребителей энергии и могут быть независимыми источниками

Практика показывает экономическую перспективность ввода в эксплуатацию ветроэнергетических, биоэнергетических, а так же когенерационных установок (в основе которых лежит комбинированная выработка тепловой и электроэнергии).

Интерес представляет использование в качестве генерирующего устройства установок распределенной энергии - асинхронной машины. Как известно, конденсаторное возбуждение (при правильно рассчитанной емкости) позволяет работать асинхронной машине в режиме генератора практически с любой частотой вращения (ниже синхронной). В этом случае актуальным является вопрос получения потребителем (или централизованной сетью) качественной электроэнергии. С учетом достижений в области преобразовательной техники, становится возможным создание генерирующего источника на базе асинхронного генератора с резонансным циклоконвертором. Создание автоматизированной системы управления такой установки дает возможность решить многие вопросы, в частности: получение качественной электроэнергии при работе установки с изменяющейся частотой вращения первичного двигателя; работа установки как в автономном режиме, так и параллельно с сетью; работа установки в режиме компенсатора реактивной энергии, электроснабжения потребителей, а также покрытие пиковых нагрузок энергосистемы.

Средства автоматизации для лифтовых установок

Васильев С.В.

Белорусский национальный технический университет

«Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов» устанавливают требования к проектированию, устройству, изготовлению, модернизации, вводу в эксплуатацию и диагностированию, узлов и механизмов лифтов, включая приборы и устройства безопасности.

В современных лифтах используются два принципа управления:

- разомкнутый, при котором для управления приводом лебедки используются сигналы, формируемые в логической управляющей системе;
- замкнутый, позволяющий учитывать все изменения параметров и управлять приводом по сигналам, получаемым от логической системы и учитывать результаты функционирования привода.

Необходимость ограничения ускорений a и рывков ρ и обеспечения максимальной производительности лифта требуют, чтобы во время переходных процессов электропривод обеспечивал разгон и замедление кабины с максимальными допустимыми значениями ускорения и рывка.

Применение регулируемых приводов переменного трехфазного тока позволяет существенно стабилизировать диаграмму движения и поддерживать заданное ускорение кабины в режимах разгона, замедления и торможения. Это дает возможность уменьшить время перемещения кабины и повысить производительность лифта.

Регулируемый привод постоянного тока обеспечивает аналогичные условия и применяется для формирования диаграммы движения кабины лифта, близкой к оптимальной, и высокую точность остановки кабины.

К электрическим предохранительным устройствам лифта относятся контакты дверей шахты и кабины, подпольные контакты, концевые выключатели. Контакты электрических предохранительных устройств включены в цепь управления и обеспечивают снятие напряжения с приводного электродвигателя лифта, наложение механического тормоза и остановку кабины. Контакты концевого выключателя, ловителей, ограничителя скорости, а также контакты натяжных устройств уравновешивающих канатов и канатов ограничителя скорости выполняют несамовозвратными. Концевой выключатель предотвращает подъем и спуск кабины за пределы крайних остановок. Он срабатывает под действием кулачков, закреплённых на канате ограничителя скорости. Два концевых выключателя устанавливаются в шахте: один выше верхнего этажа, другой несколько ниже нижнего этажа. Воздействие на концевые выключатели оказывает отводка, укрепленная на кабине.

Определение оптимального режима работы системы кондиционирования пассажирского вагона

Миронович А. В.

Белорусский национальный технический университет

В работе любой системы главным вопросом является правильная организация её функционирования. Применительно к системе кондиционирования основная задача сводится к обеспечению требуемой холодопроизводительности (поскольку теплопроизводительность обеспечивается достаточно просто). Холодопроизводительность может регулироваться как с помощью компрессора холодильной системы, так и другими способами (перепуск хладагента, дросселирование), которые вследствие их низкой эффективности почти не применяются. Что же касается регулирования посредством компрессора, то здесь возможны варианты.

Прежде всего, следует отметить способ «включение/выключение» - наиболее простой из всех известных. Однако, такой режим работы приводит к сильным колебаниям рабочих параметров и сокращению эксплуатационного ресурса компрессора и других элементов системы.

Второй вариант регулирования – изменение рабочего объёма компрессора, за счёт чего изменяется его производительность. Сюда входят такие способы регулирования как: отжим всасывающих клапанов, изменение «мёртвого» объёма цилиндра, сокращение хода сжатия – для поршневых машин, регулирующий золотник, параллельный оси вала – для винтовых, отжим спиралей – для спиральных и внутренний перепуск пара – для всех вышеперечисленных типов компрессоров. Главным недостатком этих способов является необходимость применения специальных дорогостоящих машин с механическим регулированием, что далеко не всегда экономически целесообразно.

И, наконец, третий способ – регулирование производительности компрессора за счёт изменения частоты вращения его вала. Раньше с этой целью использовали либо специальные регулируемые передаточные механизмы, либо многоскоростные двигатели. Однако, в таких системах есть два существенных недостатка: громоздкость регулирующей аппаратуры и ступенчатое переключение.

Опыт проектирования и эксплуатации систем кондиционирования показывает, что наилучшими показателями обладают системы «преобразователь частоты – асинхронный двигатель», позволяющие плавно регулировать холодопроизводительность, снизить нагрузки на питающую сеть и узлы холодильной установки.

Стабилизация натяжения материала в технологической линии

Логонов А.А

Белорусский национальный технический университет

В данной работе рассматривается система управления двумя электродвигателями обеспечивающими стабилизацию натяжения материала в технологической линии. Первый привод стабилизирует скорость, а другой натяжение. В работе рассмотрен синтез и получены имитационные график для двух вариантов система: с ПИ регулятором скорости с канале натяжения и с П регулятором скорости в канале натяжения.

Во многих технологических процессах необходима стабилизация натяжение материала в технологической линии. Например, очень важно поддерживать натяжение в машинах для перемотки полосового материала, таких как листовой металл, бумага, пленка и т.д. [1] Во многих случаях в процессе перемотки материала над ним производятся разные технологический действия: нанесение изображение, уменьшение толщины материала, отрезание частей и т.д. Поэтому от точности поддержание заданного натяжения во многом зависит и качество получаемого продукта.

Предложенная система управления состоят из двух приводов с косвенным векторным управлением. Первый управляет стабилизацией скорости, второй стабилизирует натяжение материала. Система обладает сложной динамикой из-за внутренней взаимосвязи электроприводов через обрабатываемый материал. Натяжения материала зависит от рассогласования скоростей и чем больше рассогласование, тем большее натяжение. При неправильном выборе параметров регуляторов это может привести к резонансу материала и приводов.

Имитационное моделирование системы показала, что для точного поддержания заданного натяжение требуется, чтобы контур натяжение имел более высокое быстродействие, чем контур скорости. Однако из-за более высокого порядка контура натяжения сложно обеспечить его более высокое быстродействие. Поэтому требуется ограничивать нарастание задания скорости, чтобы контур натяжения был способен обработать задание натяжения.

Литература

1. Башарин, А.В., Новиков, В.А., Соколовский, Г.Г. Управление электроприводами: – Ленинград: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. – 392 с.: ил.
2. Опейко, О.Ф. Управление электроприводами устройства непрерывной обработки материала // Электротехника . – 2009. – №2. – С.16-19.

Методика идентификации трехфазного асинхронного двигателя

Однолько Д.С.

Белорусский национальный технический университет

Эффективное управление электроприводом зависит от того, насколько точно определены параметры электрической машины. Кроме того, знание текущих значений параметров и состояния электродвигателя позволит делать заключение о его техническом состоянии в процессе работы и производить на этой основе функциональное диагностирование с обнаружением на ранней стадии зарождающихся. Одним из способов решения такой задачи является идентификация параметров электрической машины, выполненная по методу наименьших квадратов (МНК).

Преимуществом МНК является возможность оценивания параметров электродвигателя в любом режиме его функционирования в составе промышленных установок, как при вращающемся, так и неподвижном роторе.

Целью данной работы является построение эффективного алгоритма идентификации, с использованием векторно-матричного подхода в рамках МНК, позволяющего обеспечить приемлемую точность оценивания. В основу алгоритма положена математическая модель асинхронного двигателя (АД) в неподвижной системе координат [1]. Данная модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, в которой неизвестными являются пять параметров: сопротивления и индуктивности статора и ротора, индуктивность намагничивающего контура. Оценка переменных параметров диагностируемого АД определяется из решение соответствующей оптимизационной задачи:

$$F(\bar{k}) = E^T E = (Z - \Psi(\bar{k}, i_{xy}, u_{xy}, \omega))^T (Z - \Psi(\bar{k}, i_{xy}, u_{xy}, \omega)) \rightarrow \min_{\bar{k}}$$

Для анализа работы алгоритма применена имитационная модель АД с подсистемой идентификации. Для повышения точности оценивания начальные условия должны быть по возможности ближе к истинному значению идентифицируемого параметра.

Результаты математического имитационного моделирования системы показали различную эффективность в оценке различных переменных электромагнитных параметров. Было установлено, что погрешность в определении параметров зависит от шага расчета, а также от начальных условий.

Литература

1. Stephan, J. Real-Time Estimation of the Parameters and Fluxes of Induction Motors/ Stephan J., Bodson M., Chiasson J.//IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 30, No.3, 1994, pp. 746-758.

**Математическое и имитационное моделирование
системы синхронный двигатель с постоянными
магнитами —магнитожидкостный подшипник (СДПМ-МП)**

Гульков Г.И., Шаиби Р *

Белорусский национальный технический университет
Университет г.Тизи-Узу* (Алжир)

В настоящее время минироторы требуются во многих областях науки, космической техники, радиотехники и приборостроения. Для данных систем актуальной является задача повышения частоты вращения ротора при одновременном снижении уровня вибраций, вызываемых дисбалансом вращающейся массы и магнитным притяжением ротора к статору.

Важнейшим этапом создания системы автоматического управления вибрациями является разработка математической модели отдельных элементов и системы в целом. Математическая модель представляет собой систему дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих все элементы, входящие в систему автоматического управления.

Получена математическая модель системы СДПМ-МП, включающая в себя:

1. модель системы «сеть-неуправляемый выпрямитель-емкостный фильтр-цепь торможения»;
2. модель электродвигателя;
3. модель системы управления полупроводниковыми приборами (силовыми ключами);
4. модель системы «инвертор-электродвигатель»;
5. модель системы автоматического управления;
6. модель статического момента магнитожидкостного подшипника.

Для расчета электромагнитных и электромеханических процессов, протекающих в системе автоматического управления, разработана имитационная модель, основой которой является математическая модель. Наиболее удобен для создания имитационной модели специализированный пакет программирования «MATLAB/Simulink».

Используя разработанную имитационную модель, осуществлено имитационное моделирование электромеханической системы миниротора с магнитожидкостным подшипником.

Получены графики электрических и механических переменных. Анализ полученных графиков свидетельствует об их адекватности физическим процессам в реальной системе, что иллюстрируется совпадением законов распределения во времени.

Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

По известным причинам практически во всех странах ведутся интенсивные работы по развитию ветроэнергетических установок (ВЭУ), как возобновляемого источника энергии. Работа с ВЭУ с переменной скоростью имеет многие преимущества. Например, ветротурбина может увеличивать или уменьшать скорость при изменениях скорости ветра и момента нагрузки. Это, прежде всего, означает меньшие нагрузки на башню, редуктор и другие компоненты механической передачи. Кроме того, системы с переменной скоростью могут увеличить выработку энергии и уменьшить колебания мощности, передаваемой в сеть. В системе с переменной скоростью генератор обычно соединяется с сетью посредством силовых преобразовательных устройств (СПУ). Для синхронного генератора с постоянными магнитами (СГПМ) СПУ полной мощности включается между статором генератора и сетью, где полная генерируемая мощность проходит через СПУ. Несмотря на имеющееся многообразие схмотехнических решений СПУ общей задачей является управление скоростью ветротурбины так, чтобы реализовать алгоритм извлечения максимальной выходной мощности (МВМ). Мощность, вырабатываемая ветротурбиной, зависит от скорости ветра, конструктивных постоянных и коэффициента преобразования, являющегося нелинейной функцией: для каждой скорости ветра имеется скорость турбины, которая обеспечивает максимальную выходную мощность (МВМ).

Известно несколько методов управления ВЭУ в режиме МВМ. 1. **Контроллер на основе измерения скорости ветра** регулирует скорость турбины для поддержания оптимального значения выходной мощности. 2. **Контроллер, функционирующий в замкнутой системе на основе измерения сигнала выходной мощности.** Здесь необходимо иметь значение кривой максимальной мощности турбины, что может быть получено предварительно путем математического моделирования или экспериментальных исследований. 3. **Контроллер, реализующий поисковый пошаговый алгоритм.** Он основан на введении возмущений и измерении реакции на них. Этот вид управления подобен системе, используемой в фотоэлектрических батареях, также имеющих экстремальную зависимость выходной мощности. В практическом применении актуальной задачей является проектирование контроллеров, которые являются комбинациями всех трех приведенных выше.

Оптимизация управления вентильно-индукторным двигателем за счет изменения углов коммутации

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет

Вентильно-индукторный электродвигатель (ВИД) представляет собой интерес при применении в различных областях, в особенности в станкостроении, приводах стиральных машин и электроинструмента. Основные преимущества привода с ВИД обусловлены простотой конструкции, высокой надежностью и хорошими массогабаритными показателями, что позволяет непрерывно расширять область применения регулируемого электропривода.

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.

Каждый преобразователь для питания ВИД должен обеспечить три этапа цикла коммутации обмотки двигателя. *На первом этапе* к обмотке прикладывается максимальное напряжение для быстрого увеличения магнитного потока. *На втором этапе* происходит регулирование напряжения питания с целью поддержания магнитного потока (тока) на заданном уровне. *На третьем этапе* производится отключение обмотки с быстрым гашением магнитного поля для избегания возникновения тормозных моментов.

Двусторонняя зубчатость магнитной системы означает необходимость коммутации питающего напряжения в функции углового положения ротора относительно зубцов статора.

Первый этап начинается в момент приложения к обмотке напряжения питания и заканчивается в момент начала перекрытия зубцов статора и ротора. В этом случае индуктивность фазы минимальна и изменяется незначительно, что способствует быстрому нарастанию тока в обмотке. В том случае, когда перекрытие зубцов статора и ротора начинается до окончания первого этапа коммутации, ток фазы не достигнет требуемого значения, его дальнейшее нарастание будет затянато и это в свою очередь приведет к значительному уменьшению создаваемого момента фазой.

Угловое положение зубцов ротора и статора в каждый момент времени зависит от скорости вращения ротора и соответственно угол опережения коммутации фазы также будет зависеть от скорости вращения ротора. Это означает, что для оптимального управления ВИД требуется изменять угол коммутации в функции скорости ротора.

Анализ классической и с инкорпорированными магнитами конструкций бесконтактного двигателя постоянного тока

Руденя А.Л.

Белорусский национальный технический университет

Под классической конструкцией бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ) будем понимать конструкцию с магнитами расположенными на внешней стороне ротора. Такая конструкция является довольно простой и имеет сравнительно низкую стоимость. Под БДПТ с инкорпорированными магнитами понимается технология, основанная на использовании встроенных постоянных магнитов. Вне зависимости от названия принцип конструкции состоит в том, чтобы располагать магниты непосредственно внутри ротора.

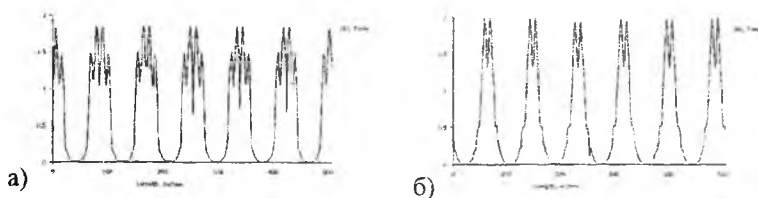


Рисунок 1. Изменение модуля магнитной индукция в рабочем зазоре вдоль расточки статора при работе двигателя на холостом ходу
а) классическая конструкция; б) конструкция БДПТ с инкорпорированными магнитами

Одно из самых очевидных преимуществ инкорпорированных магнитов – механически прочный и хорошо сбалансированный ротор (встроенные магниты не могут повредиться механически или отлететь под действием центробежной силы и повредить ротор и подшипниковый узел). Соответственно наиболее целесообразно применять такую конструкцию при больших скоростях вращения.

Представляет интерес проанализировать магнитные поля двух БДПТ с одинаковыми размерами магнитной системы. Для этого необходимо решить уравнения Пуассона. При решении данных уравнений методом конечных элементов были получены графики модуля магнитной индукции рис. 1. Из графиков видно, что модуль магнитной индукции для БДПТ с инкорпорированными магнитами выше. Соответственно при одних и тех же габаритах в двигателе с инкорпорированными магнитами можно получить больший момент.

Инструментальная система поддержки принятия решений в условиях многокритериальности

Мархель Т.А. Придухо В.Т.

Белорусский национальный технический университет

В практической деятельности человека, в том числе и при проектировании часто возникают проблемы выбора и принятия решений в условиях многокритериальности.

Разработанное программное обеспечение для решения подобных задач выполнено в виде мастера. Были учтены результаты анализа имеющихся программных продуктов для решения задач многокритериальности и опыт их использования.

Одной из главных задач при разработке программы являлось создание универсального интерфейса её взаимодействия с разнообразными сторонними приложениями, позволяющими производить расчет параметризованной математической модели исследуемого объекта.

За несколько первых шагов проектировщик вводит информацию о параметрических и функциональных ограничениях исследуемого объекта, а также о критериях оптимальности, и определяет размерность и способ заполнения матрицы решений.

Значения оптимизируемых параметров можно сгенерировать автоматически или ввести вручную. Ввести в матрицу решений значения критериев оптимальности и функциональных ограничений можно несколькими способами, в том числе рассчитать автоматически с помощью пользовательского модуля, подготовленного заранее в автономном режиме.

После того, как матрица решений заполнена, исследователь может выбрать из библиотеки алгоритмов метод поиска окончательного решения.

Для поиска окончательного решения система позволяет использовать формальные методы многокритериальной оптимизации (в случае отсутствия у проектировщика системы предпочтений) и аддитивный или мультипликативный критерий с учетом весовых коэффициентов и функций полезности частных критериев. Кроме того, можно использовать генетический алгоритм, основанный на аддитивном критерии или на выделении паретовских фронтов и парето-силе.

Когда метод поиска решения выбран, проектировщик может ввести дополнительную информацию для выбранного метода и просмотреть результаты поиска окончательного решения.

Сергеев А.Е.

Белорусский национальный технический университет

На сегодняшний день существует множество методов решения задач оптимизации. Одни из них более рационально использовать в простых задачах, в то время сложные задачи требуют более мощных способов решения. Во многих случаях одна и та же задача может быть разделена на части различной сложности, и поэтому возникает необходимость применять одновременно множество различных методов для достижения наилучших результатов.

Основной целью разработанного приложения является объединение множества существующих методов оптимизации и использование их через единый интерфейс. Основой приложения является базовый модуль, содержащий наиболее распространенные и часто используемые методы оптимизации с локальными и глобальными свойствами. В процессе нахождения решения можно выбрать оптимальный алгоритм поиска исходя из точности полученного решения и скорости работы алгоритмов. Для этих целей базовый модуль содержит средства графического представления вычислений. Они позволяют наглядно проанализировать модель и предсказать поведение критерия оптимальности в области поиска решения.

Из существующего ряда различных подходов к графическому представлению решения (оптимизации) многомерных функций было выбрано поточечное отображение критерия оптимальности в двумерной растровой графике. Осями абсцисс и ординат служат любые два параметра оптимизируемой модели. При этом пользователь имеет возможность задать параметры, которые будут использованы в качестве каждой из осей.

Графическая область ограничена максимальным и минимальным значением каждого из двух выбранных параметров. Значение оптимизируемой модели высчитывается для всех точек с координатами равными координатам пикселей в заданной двумерной системе координат. Если параметров более двух, то значения остальных параметров по умолчанию берутся из вычисленного оптимального решения.

В соответствии с минимальным и максимальным значением критерия оптимальности в рассчитанных точках, происходит градиентное закрашивание графической области. Данный подход дает возможность наглядно оценить поведение критерия оптимальности в заданных начальных условиях. Также приложение позволяет отобразить результат

работы любого из алгоритмов в виде точки (либо набора точек) в заданной системе координат.

УДК 621.398

Обобщенная операционная модель автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов

Пацей Н.Е., Придухо В.Т.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование современных автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) предполагает использование математических методов. Это обусловлено множественностью и противоречивостью требований предъявляемых к системам.

Была разработана операционная модель иерархической трехуровневой АСКУЭ для решения задачи ее структурно-параметрического синтеза. Синтез структуры и параметров элементов выполняется для информационной части АСКУЭ, т.е. синтезируется структура каналов и устройств, задействованных в передаче данных от точек подключения к объекту наблюдения до сервера системы.

Модель включает в себя систему управляемых параметров, систему параметрических ограничений, постоянные величины и критерии оценки качества системы.

В качестве управляемых параметров были использованы число устройств второго уровня, набор связей между устройствами первого и второго уровней, физический и логический протоколы передачи данных между устройствами, набор устройств первого и второго уровней. Система параметрических ограничений отражает техническую возможность организации канала передачи данных между устройствами первого уровня и сервером системы. Постоянными параметрами являются расположение устройств первого уровня, частота передачи данных между устройствами первого и второго уровней, их стоимость, характеристики устройств первого и второго уровня, определяемые техническим заданием, такие как значение номинального тока и напряжения в точке подключения счетчиков, число фаз, направления и виды учитываемой энергии, интервалы усреднения, параметры оценки качества энергосети, фиксируемые счетчиком, число тарифных зон и число тарифных групп, типы интерфейсов, точность учета, протоколы передачи данных. Стоимость и отказоустойчивость системы используются как критерии оценки качества проектного решения. Учитывая сложность обобщенной операционной модели целесообразно выполнить ее декомпозиционное преобразование в соответствии с этапами проектирования.

Алгоритмы сжатия и компрессии видеоданных

Астрейко Т.Г.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время при столь быстром развитии технологий инженерам и программистам необходимо постоянно знакомиться и изучать новые технологии, для инженеров это, например системы трехмерного моделирования и расчетов, такие как ANSYS, TEFLEX и т.д., для программистов же это новые языки программирования и их технологии. В большинстве своем обучающий материал в настоящее время представляет собой видеоданные, которые требуют для хранения значительные объемы памяти (не всегда оправданных), приобретение которых требует дополнительных затрат. Исходя из выше сказанного, возникает необходимость решения многокритериальной задачи оптимизации алгоритмов сжатия и компрессии.

Приложение было разработано на платформе .NET с использованием языка C#. Основной целью приложения является возможность непосредственного управления параметрами компрессии, влияющими на качество, размер, скорость доступа к кадру и т.д. Приложение представляет собой десктопное приложение позволяющее работать с видео файлами в avi формате. Данный формат был выбран, так как в настоящее время является одним из наиболее широко распространенных. Приложение позволяет выделить из видео файла отдельно видео и аудио потоки и записать в отдельные файлы. Данная функциональность была реализована для возможности более адекватно оценить влияние различных параметров на конечный результат (размер и время компрессии\декомпрессии видео). Так же в приложении реализована возможность соединить находящиеся в разных файлах аудио и видео потоки. Для компрессии видео приложению необходимо указать следующие данные:

1. Путь и имя исходного файла в avi формате.
2. Путь и имя выходного файла (выходной файл также будет сохранен в avi формате).
3. Выбрать параметры выходного файла (для каждого из них задано некоторое значение по умолчанию): скорость видео потока, номер опорного кадра, максимальный процент ухудшения качества, соотношение скорости обработки и качества, кодек.

Приложение предоставляет предельно простой и интуитивно понятный интерфейс для компрессии и декомпрессии видео файлов, что позволяет экономить память компьютера.

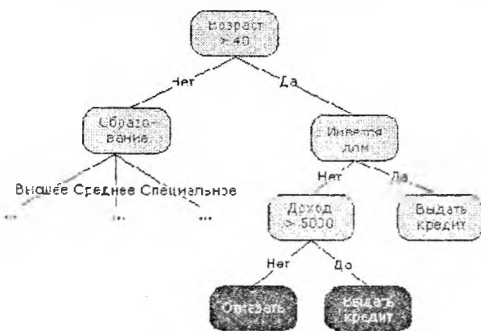
О применимости деревьев решений в моделях повышения эффективности информационных бизнес систем

Бакир Садик

Белорусский национальный технический университет

Ускоренный прогресс в методах сбора, хранения и обработки данных позволил организациям собирать огромные массивы данных, для анализа которых возможностей экспертов уже не хватает. Поэтому спрос на методы автоматического исследования (анализа) данных с каждым годом постоянно увеличивается.

Деревья решений – один из таких методов автоматического анализа данных, представляющий собой способ представления правил в иерархической, последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел, дающий решение. Под правилом понимается логическая конструкция, представленная в виде "если ... то ..." (рис. 1).



Деревья решений являются прекрасным инструментом в системах поддержки принятия решений, интеллектуального анализа данных (data mining). В состав многих пакетов, предназначенных для интеллектуального анализа данных, уже включены методы построения деревьев решений. В областях, где высока цена ошибки, они послужат отличным подспорьем аналитика или руководителя.

Рис. 1. Пример дерева решений

Деревья решений имеют ряд преимуществ:

- быстрый процесс обучения;
- генерация правил в областях, где эксперту трудно формализовать свои знания;
- извлечение правил на естественном языке;
- интуитивно понятная классификационная модель и др.

Одним из результатов проводимых исследований в рамках диссертационной работы является найденный метод хранения деревьев решений посредством реляционных баз данных.

Криптоанализ алгоритмов шифрования

Харма Укба

Белорусский национальный технический университет

Криптоанализ — Это наука о методах получения исходного значения зашифрованной информации, не имея доступа к секретной информации (ключу), необходимой для этого.

Появление новых криптографических алгоритмов приводит к разработке способов их взлома. Результатом возникновения каждого нового метода криптоанализа является пересмотр оценок безопасности шифров, что в свою очередь влечет за собой необходимость создания более стойких шифров.

Результаты криптоанализа конкретного шифра называют **криптографической атакой** на этот шифр. Успешную криптографическую атаку, дискредитирующую атакуемый шифр, называют **взломом** или **вскрытием** (рис. 1).

В диссертационной работе анализируются 4 основных метода криптоанализа, предполагая знание криптоаналитиком алгоритма шифра:

1. Атака на основе шифротекста.
2. Атака на основе открытых текстов и соответствующих шифротекстов.
3. Атака на основе подобранного открытого текста (возможность выбрать текст для шифрования).
4. Атака на основе адаптивно подобранного открытого текста.



Рис. 1 Атаки криптоанализа

А также проводится анализ дополнительных методов криптоанализа

- атака на основе подобранного шифротекста;
- атака на основе подобранного ключа;
- бандитский криптоанализ.

Веб-приложение удалённого доступа к АРМ нормативно-справочной системы методов измерений

Кочуров В.А., Мяделец И.В., Лозюк В.Ю.
Белорусский национальный технический университет

Одной из основных предпосылок достижения требуемого качества изделий является наличие соответствующей системы метрологического обеспечения производства. Отсюда возникает необходимость информационной поддержки процесса автоматизированного проектирования Методов Выбора Измерений (МВИ) в форме Автоматизированного Рабочего Места (АРМ).

Упомянутый АРМ выполнен на базе Сервера Информационно-Логических Таблиц (СИЛТ), разработанного на кафедре САПР. При этом СИЛТ обеспечивает:

- импорт таблиц из редактора WORD;
- сохранение импортированных данных в реляционной базе данных;
- доступ к данным стандартными средствами SQL.

Таким образом, СИЛТ представляет собою удобный API для создания информационно-справочной системы МВИ, доступ к которой осуществляется посредством Web – клиентов, создаваемых по наиболее современной технологии ASP.NET.

Созданное приложение представляет из себя пошаговый мастер, с помощью которого пользователь поэтапно приходит к необходимому решению, выбирая на каждом шаге допустимые значения параметров, значения которых выбираются из базы данных. Таким образом, осуществляется спуск по уровням дерева - группа, класс, вид, разновидность и тип контролируемого геометрического параметра. В итоге пользователь получает решение, которое содержит:

- значения введенных параметров измерения;
- аналитическую и нормативную модель измерения;
- назначение допустимой погрешности измерений;
- средства измерений и вспомогательные устройства, с помощью которых может быть реализован контроль параметра в соответствии с выбранной схемой измерения;
- анализ погрешности измерения при реализации МВИ и принятие решения о возможности ее применения для контроля заданного параметра с требуемой точностью.
- ссылки на другие задачи, имеющие то же решение.

Кочуров В.А., Радкевич А. С.

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является создание автоматизированного рабочего места эксперта нормативно-справочной системы выбора методов измерений. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- создать Web-ориентированное приложение, обеспечивающее доступ к сети автоматизированных рабочих мест (АРМ) автоматизированного проектирования Методов Выбора Измерений (МВИ);
- используя программные средства получить доступ к базам ресурсов, расположенным на упомянутых АРМ.

Для взаимодействия между узлами сети АРМ использована современная технология Веб-служб, в основе которых лежат открытые стандарты и протоколы: SOAP и WSDL (Рис.1).

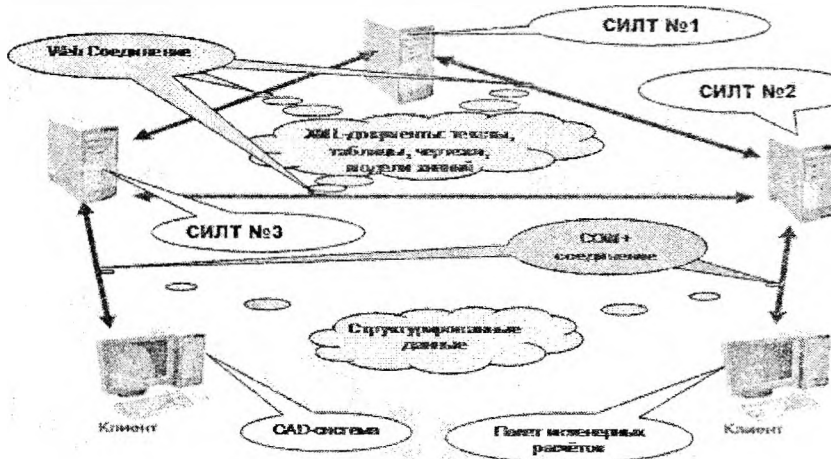


Рис.1 Схема взаимодействия узлов сети на основе серверов ИЛТ

Поскольку АРМ автоматизированного проектирования МВИ выполнен на базе сервера информационно-логических таблиц (СИЛТ), реализованного в форме COM+ сервера, то потребовалась разработка специального метода интеграции данного приложения с приложением, разработанным с использованием технологии WEB-служб в среде ASP.NET.

Структура и принципы функционирования автоматизированной системы сбора и обработки данных о литейных сплавах

Данилов А.В.

Белорусский национальный технический университет

В целях создания мощного инструмента для сбора и обработки данных об особенностях литейного производства сотрудниками ИТ-центра ИРУП «Технопарк БНТУ «Политехник» разрабатывается web-ориентированная автоматизированная система анализа и обработки данных о литейных сплавах.

Система имеет 5-уровневую структуру: 1 уровень – темизация, 2 – распределение ролей, 3 – вывод информационных и расчетных блоков и меню, 4 – модули, 5 – используемые данные.

Модульная архитектура системы позволяет добавлять в неё практически неограниченное количество новых модулей. Это касается не только расчетных модулей, но и модулей информационной поддержки.

Основой системы является модуль расчета оптимального состава металлозавалки для выплавки линейных промышленных сплавов, помимо него разработчики системы предусматривают в ближайшем будущем включение в состав системы модуля анализа изображений микроструктуры металла и сплава, модуля обработки термограмм литейных сплавов и модуля оперативного анализа цен и продукции от различных поставщиков. Наличие этих модулей позволит расширить нишу, занимаемую системой на рынке программных средств, связанных с расчетами, производимыми в литейном производстве.

Функциональная часть web-ориентированной автоматизированной системы не ограничена только специализированными модулями вычислений. Для системы спроектирован встроенный универсальный обучающий комплекс для быстрого обучения персонала как работе с системой в целом, так и освоения особенностей каждого из вычислительных модулей. Помимо этого, организовано оперативное обновление системы, которое исключает необходимость найма администраторов (для локально-установленных приложений), что не только выгодно с финансовой точки зрения, но и заметно ускоряет процесс работы. Предусмотрен автоматизированный сбор данных о литейных сплавах и тематическая информационная поддержка клиентов в виде on-line консультаций. Необходимо также отметить поддержку мультязычности и наличие базы данных сплавов, соответствующей нормативной документации различных стран.

Разработка системы анализа данных бланков тестирования

Ковалева И.Л., Савчук Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Одним из методов контроля успеваемости и качества образования абитуриентов и студентов в Белорусском национальном техническом университете является диагностическое тестирование. Участники тестирования раз в квартал выполняют предложенное им задание, результаты которого заносят в специально разработанные бланки тестирования. Проверка результатов осуществляется в ходе автоматической обработки бланков. Однако качество автоматического анализа бланков при использовании базовой системы не всегда соответствует желаемому уровню. Поэтому было принято решение о выполнении параллельного анализа бланков и разработке для этого дополнительной системы, реализующей иные алгоритмы предварительной обработки изображений бланков тестирования и их распознавания.

На этапе предварительной обработки в системе анализа данных бланков тестирования выполняются фильтрация сканированного изображения бланка, повышение его контрастности, бинаризация, поворот и сегментация характерных зон. Затем в каждой из сегментированных зон выделяются отдельные символы. Положение символов на бланке строго зонировано и заранее известно. Каждая зона однозначно определяет возможный набор расположенных в ней символов: характерные символы (крестики), цифры, буквы, комбинация цифр и букв.

Затем выполняется распознавание сегментированных символов. Для повышения качества распознавания в системе анализа данных бланков тестирования предусмотрено использование двух систем распознавания с учителем. Набор информативных признаков для этих систем распознавания был сформирован на основании того факта, что все символы заносятся в бланк ответов в соответствии с определенными правилами, а их написание максимально приближено к их печатному представлению. При этом на каждом бланке приведен пример образцового написания соответствующего символа. Все это позволило назвать подобные рукописные символы «рукопечатными» и использовать для их распознавания информативные признаки, полученные с помощью двух алгоритмов. В первом алгоритме определяются и затем анализируются характеристические точки утоньшенного изображения распознаваемого символа, во втором алгоритме используются зонды. При обучении систем распознавания использовались как образцовые символы, так и реальные символы, полученные с бланков тестирования.

Подсистема анализа медицинских снимков

Ковалева И.Л., Труханович Д.А.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в сфере информационных технологий реализуется все больше задач, касающихся распознавания различных образов: звуковых образов, зрительных образов и т.д. Проекты, связанные с распознаванием образов, внедряются в различные сферы жизнедеятельности (медицина, образование, безопасность). Проблема выявления и ранней диагностики различных заболеваний является одной из наиболее острых проблем современной медицины.

Цель разрабатываемого приложения: создать подсистему анализа фрагмента изображения медицинских снимков, определить контур предполагаемого заболевания и выполнить его анализ.

В качестве анализируемых изображений могут использоваться различные медицинские снимки.

Всю работу подсистемы можно разделить на несколько этапов.

Первый этап – непосредственный запуск приложения и выбор изображения для работы. После выбора изображения происходит его загрузка в программу и обработка. Она включает в себя предварительный анализ изображения, повышение контраста изображения, перевод цветного изображения в полутоновое (при необходимости). Данный этап рекомендуется для повышения качества работы алгоритмов выделения контуров, а также для ускорения работы программы. Если этап предварительной обработки изображения прошел успешно, то в программе появляются новые возможности. На этом этапе можно также вручную изменить параметры изображения, такие как контрастность, яркость и насыщенность, эта функция очень полезна, если входное изображение не обладает нужными параметрами или необходима корректировка результатов автоматической обработки.

Следующий этап позволяет выделить контур предполагаемого заболевания на изображении и получить визуальную информацию о работе алгоритмов, а также подготовить данные для дальнейшего исследования. После выделения контура заболевания выполняется обработка сегментируемой области: анализируется ее текстура, интенсивность, а также анализируется сама контурная линия. Полученные данные служат основой для формирования набора информативных признаков, используемых в системе автоматической диагностики вида заболевания.

Выбор рационального варианта крышки заднего моста на основе конечно-элементной модели

Горелик Ю.Л.

Белорусский национальный технический университет

Задняя навесная система сельскохозяйственного трактора, как правило, имеет многосвязный рычажный механизм с унифицированными точками крепления. Остовом такого механизма является крышка. В данной работе рассматривается модель крышки заднего моста сельскохозяйственного трактора «БЕЛАРУС-422». 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.

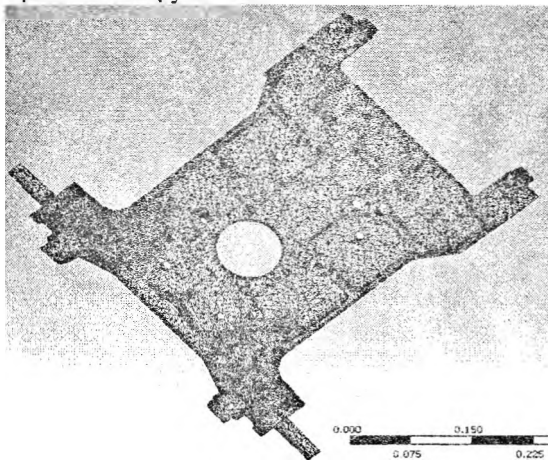


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель фрагмента заднего моста

Наиболее опасными частями крышки являются проушины под действием усилия нижней тяги, поэтому в этих областях заданы характерные сферы влияния, где размер конечного элемента значительно меньше, по сравнению с основным (рисунок 1).

На основании полученных результатов сделан вывод об рациональном варианте конструкции.

Конечно-элементное моделирование прочности и долговечности несущей конструкции при ударных воздействиях

Корзун Н.А.

Белорусский национальный технический университет

При решении задачи оценки усталостной долговечности традиционно выполнены основные этапы расчетов: определены опасные точки (сечения) в конструкции, в которых локализован процесс разрушения при многоциклового усталости; определены истории нагружения в выбранной опасной точке; заданы свойства материала; заданы характеристики конструкции или ее элементов, влияющих на изучаемый процесс; произведен расчет усталостной долговечности при постоянных и переменных нагрузках.

Для проведения расчетов использовался модуль Fatigue Tool ANSYS WORKBENCH, который использует расчет накопленных повреждений для оценки усталостной долговечности по временным историям напряжений или относительных деформаций. Оценивая допустимые и предельные значения напряжений для материала, выбранного для изготовления конструкции, сделаны выводы о надежности и прочности конструкции рамы компрессорно-конденсаторного агрегата в процессе эксплуатации, а также о долговечности работы агрегата, запасе прочности и зонах возможного разрушения в ходе эксплуатации.

Реализация данной работы приведет к сокращению сроков проектирования и испытания подобных конструкций и следовательно снизит затраты на разработку. Результаты моделирования представлены на следующем рисунке.

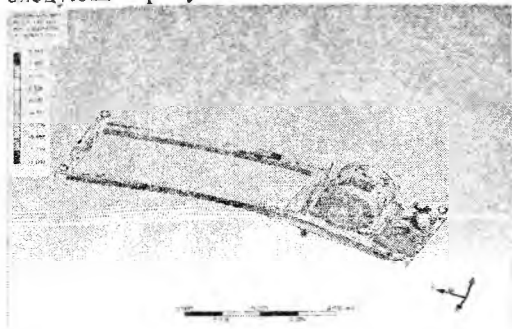


Рисунок 1. Результаты моделирования

**Параметрическая модель для исследования динамической реакции
вентилятора при ударных воздействиях**

Напрасников В.В., Якимуш И., Соловьев А.Н.

Белорусский национальный технический университет
Донской государственной университет

Согласно ГОСТ РВ 20.39.304-98 система, включающая в себя компрессорно-конденсаторный агрегат должна выдерживать одиночные ударные нагрузки с пиковым ударным ускорением 750 м/с^2 (75g) с длительностью действия ударного ускорения 1-5 мс.

Для проверки работоспособности проектируемого агрегата были решены следующие задачи:

- 1) Разработана параметрическая трехмерная твердотельная модель компрессорно-конденсаторного агрегата (Рис 1);
- 2) Построена конечно-элементная модель для расчета напряженно-деформированного состояния ротора (Рис 2);
- 3) Реализованы воздействия ударных нагрузок на конструкцию;
- 4) Даны рекомендации по выбору оптимальной конструкции ротора компрессорно-конденсаторного агрегата по критерию минимума массы при выполнении ограничений для напряжений по Мизесу.

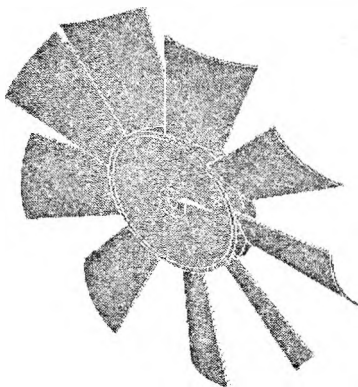


Рис. 1 Модель агрегата

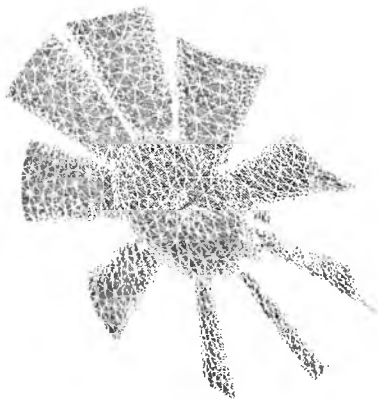


Рис. 2 Конечно-элементная модель

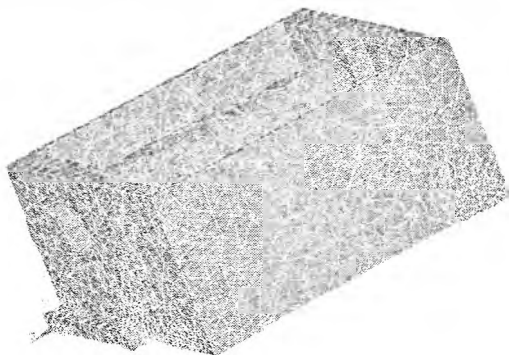
Максимальные напряжения возникают в местах сопряжения лопастей с основанием и в оптимальном варианте конструкции не превышают максимально допустимых для данного материала.

**Поиск рациональных параметров корпуса шпиндельной бабки
на основе конечно-элементной модели**

Камран Каземпур Абдолреза

Белорусский национальный технический университет

Целью данной работы является создание параметрической модели пары шпиндель - корпус шпиндельной бабки на основе комплекса Ansys с учетом контакта, и выбор на ее основе рациональных параметров корпуса для снижения материалоемкости конструкции.



Материал корпуса – серый чугун СЧ15, вала – сталь.

Конечно-элементная модель представлена на следующем рисунке.

Рисунок 1. Конечно-элементное разбиение объекта со сгущениями сетки в области предполагаемой концентрации напряжений

Определим три критерия, подлежащие минимизации:

- Объем материала корпуса;
- Максимальное эквивалентное напряжение по теории прочности Мизеса, возникающее в материале конструкции;
- Дополнительный критерий.

Варьируемыми параметрами положим геометрические размеры коробки.

Выполнены вариантные расчеты для различных конфигураций конструкции. Приводятся распределения полей перемещений и напряжений в материале конструкции.

На основании полученных результатов сделан вывод об оптимальном варианте. В этом варианте объем материала коробки удастся снизить на 20 процентов по сравнению с исходным. При этом эквивалентное напряжение равно 12 МПа при допускаемом 25 МПа.

Исследование напряженного состояния кессона для подводных ремонтных работ на основе конечно-элементного моделирования

Напрасникова Ю.В., Красновская С.В., Аль Сахили Мохамад
Белорусский национальный технический университет

При подготовке ремонтных работ на морских платформах часто возникает необходимость проведения сварки в подводной части платформы. Для этих целей должен быть спроектирован специальный бокс, обеспечивающий возможность выполнения сухой сварки (рис.1).

В работе представлена параметрическая трехмерная конечно-элементная модель жесткого бокса для сухой сварки. Произведен расчет конструкции при приложении нагрузок различной продолжительности действия. Выполнены исследования напряженно-деформированного состояния кессона.

Приводятся распределения полей перемещений и напряжений в материале конструкции в различные моменты времени наблюдения. На основании полученных результатов выполнен анализ деформированного состояния модели и напряжений, возникающих при динамических нагрузках. Оценивая допустимые и предельные значения напряжений для материала, выбранного для изготовления конструкции, сделаны выводы о надежности и прочности конструкции жесткого бокса в процессе эксплуатации.

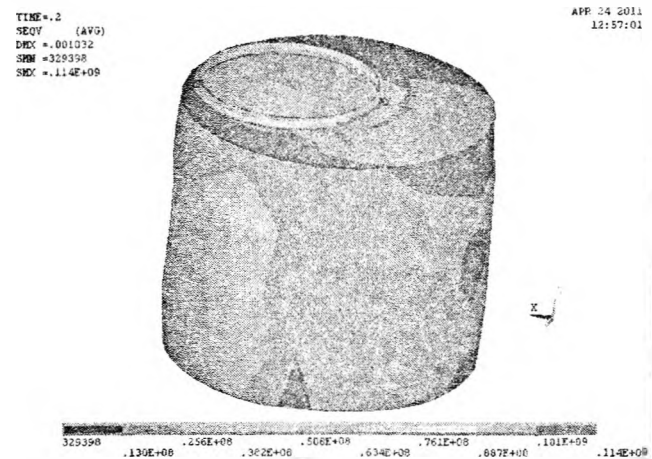


Рис. 1 Жесткий бокс для сухой сварки

Построение полной динамической модели для расчета напряженно-деформированного состояния стойки морской платформы

Напрасникова Ю.В., Красновская С.В., Язбек Анас
Белорусский национальный технический университет

Одним из элементов морской платформы является опорная стойка.

В работе представлена параметрическая трехмерная конечно-элементная модель опорной стойки морской платформы. Произведен расчет конструкции при приложении нагрузок различной продолжительности действия. Выполнены исследования напряженно-деформированного состояния колонны.

Приводятся распределения полей перемещений и напряжений (рис. 1) в материале конструкции в различные моменты времени наблюдения. На основании полученных результатов выполнен анализ деформированного состояния модели и напряжений, возникающих при динамических нагрузках.

Максимальное напряжение по Мизесу, возникшее в конструкции колонны с накладкой в месте закрепления за всё время анализа, не превышает допустимого напряжения в этом материале.

Оценивая допустимые и предельные значения напряжений для материала, выбранного для изготовления конструкции, сделаны выводы о надежности и прочности конструкции опорной стойки в процессе эксплуатации.



Рис. 1. Распределение напряжений по Мизесу для колонны с накладкой

Влияние искажения формы отверстий на процесс автоматизированного распознавания перфорационного маркера

Логунов А.Н.

Восточнoукраинский национальный университет имени В. Даля (Украина)

Важную роль в АСУП играет автоматизированная система идентификации изделий (АСИИ), которая включает в себя комплекс маркировки изделий и комплекс автоматизированного считывания маркировки. В процессе производства кожи из шкур необходимо, чтобы маркер, нанесённый на шкуру, сохранился и мог быть считан с готовой кожи. Перфорация шкуры гарантирует, что маркер не исчезнет при двоении (разделение шкуры на две половины по толщине), что код останется на шкуре после ее обработки химическими реактивами, после съема и строжки. В процессе механической и химической обработки кожи возможны явления затягивания и деформации отверстия, смещение центра отверстия в верхней плоскости кожи относительно нижней, непараллельность верхней и нижней поверхностей отверстия из-за изменения толщины кожи. Неоднородное растяжение приводит к искажению отверстий, которые принимают эллипсоподобную форму.

В процессе автоматизированного считывания маркировки для выделения отверстий на изображении изделий используются корреляционные цифровые фильтры. Исследовалась зависимость корреляции эталона с изображением деформированного отверстия и определялась вероятность ошибочной классификации и оптимальный порог классификации. Показано, что корреляционные фильтры практически нечувствительны к искажению формы отверстий. Наиболее устойчив к деформации комбинированный корреляционный фильтр – у него практически не меняются вероятность ошибочной классификации и оптимальный порог классификации вплоть до коэффициента деформации равного двум. Использование корреляционных фильтров позволяет выделить отверстия на цифровом изображении перфорационного маркера с вероятностью ошибки классификации пикселей 0,0007.

Основные свойства моделей сдвиговой аппроксимации

Кочеров А. Л.

Военная академия Республики Беларусь

При имитационном моделировании технических систем одной из важных является задача аналитического моделирования сигналов. Для ряда

практически важных случаев продуктивной оказывается модель сдвиговой аппроксимации сигналов. При таком подходе сигнал представляется линейной комбинацией сдвигов одной функции, называемой базисной.

В докладе обсуждается ряд вопросов, касающихся свойств сдвиговых моделей сигналов и определяющих выбор базисной функции. Приводятся основные свойства сдвиговых моделей – единственности, линейности и свойство непрерывной зависимости параметров сдвиговой модели от аппроксимируемой функции.

Показано, что точность аппроксимации существенно зависит от количества сдвигов. Характерный вид зависимости нормированной квадратичной ошибки представлен на рисунке 1.

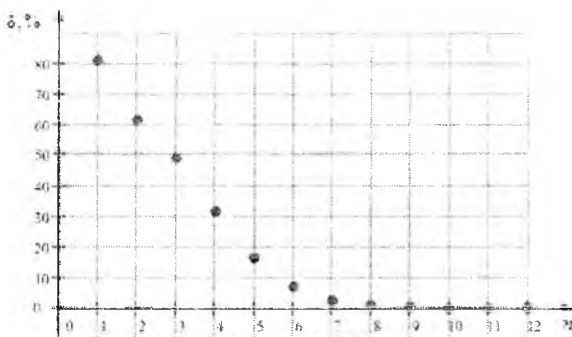


Рис. 1. Зависимость нормированной ошибки аппроксимации от количества сдвигов

Приведенная зависимость показывает, что увеличение количества сдвигов (усложнение модели) приводит к повышению точности аппроксимации. Для достижения приемлемой точности в ряде случаев достаточно не более 10 сдвигов.

УДК 621.3.01

Способ определения параметров сдвиговых моделей с использованием метода наименьших квадратов

Кочеров А. Л.

Военная академия Республики Беларусь

Модель сдвиговой аппроксимации представляет собой линейную комбинацию сдвигов одной функции, называемой базисной. Чаще всего при использовании подобной модели множество действительных величин,

определяющих величину сдвигов базисной функции, задано и определяет равномерную сетку разложения. В такой ситуации для определения коэффициентов разложения может быть применен метод наименьших квадратов. Коэффициентом разложения называется действительное число, на которое умножается сдвиг базисной функции.

Детали данного положения можно пояснить следующим образом. Оптимальными коэффициентами разложения будем называть такое множество коэффициентов разложения, которое для заданной (аппроксимируемой) функции, выбранной базисной функции и сетки разложения обеспечивает минимально возможное значение квадратической ошибки аппроксимации.

Выбор подобного задания ошибки аппроксимации обусловлен тем, что из квадратичной сходимости для конечной области определения вытекает сходимость в среднем. Квадратичная ошибка аппроксимации функционально зависит от значений коэффициентов разложения.

В докладе показано, что решение сформулированной задачи эквивалентно решению векторно-матричного уравнения. В этом случае элементы матрицы системы и вектора свободных коэффициентов определяются аппроксимируемой и базисной функциями, а также сеткой разложения. Приводятся результаты применения предлагаемого подхода для различных аппроксимируемых и базисных функций. Кроме того, обсуждены вопросы, касающиеся точности данного подхода в сравнении со способом нахождения коэффициентов разложения с использованием обратного преобразования Фурье от частного прямых Фурье-преобразований аппроксимируемой и базисной функций. Показано, что метод наименьших квадратов обеспечивает наилучшее приближение исходной функции моделью сдвиговой аппроксимации.

УДК 004.91

**Подсистема АРМ «Лаборатория патогистологии»
в составе АИАС «Клиника»**

**Кириченко В.В., Василевский А.В.
Белорусский национальный технический университет**

Внедрение информационных технологий в самые разнообразные области деятельности характерно не только для технического проектирования, но и для медицины, где это еще более важно. В данном докладе рассмотрены вопросы электронного документооборота в лаборатории патогистологии, реализованные в виде АРМ «Лаборатория патогистологии», что весьма актуально для нашей республики. АРМ

входит в состав автоматизированной информационно-аналитической системы медицинского учреждения (АИАС "Клиника"), разработанной в Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси.

Разработка АРМ базируется на анализе основ исследований в лаборатории патогистологии, а также большого количества протоколов исследований, сделанных в лаборатории патогистологии Минского Консультационно-диагностического Центра. Совместно с медиками составлено дерево лексем, используемых в формировании текстовой части протокола исследования. При этом учитывалась логическая последовательность и частота использования лексем в уже сформированных протоколах исследований.

При создании АРМ «Лаборатория патогистологии» большое внимание было уделено разработке гибкой системы настроек, позволяющей применить подсистему в любом медицинском учреждении. Предусмотрена эффективная политика безопасности, предотвращающая порчу и фальсификацию данных. В данной разработке использована среда Borland Delphi 7, а в качестве СУБД был принят SQL сервер Interbase версии 7.5.

Результаты работы положительно оценены специалистами Минского Консультационно-диагностического Центра и находятся в опытной эксплуатации. В настоящее время рассматривается вопрос ее внедрения в лаборатории патогистологии Городского онкологического диспансера.

УДК 629.118

Параметрическая модель расчета напряженно-деформированного состояния приборной коробки с ребрами жесткости в ANSYS

Напрасников В.В. , Кривец О.В.

Белорусский национальный технический университет

Коробка предназначена для защиты измерительной аппаратуры при взрыве метана в шахте. С использованием пакета ANSYS создана конечно-элементная параметрическая модель такой коробки с ребрами жесткости.

На основе этой модели можно выполнять 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.

Характер модели позволяет выполнять расчеты, изменяя геометрические параметры модели и характеристики материала, из

которого она изготовлена, а также подбирать оптимальные параметры коробки.

На следующих рисунках представлены конечно-элементная модель коробки, ее напряженное состояние и варианты построения ребер жесткости:

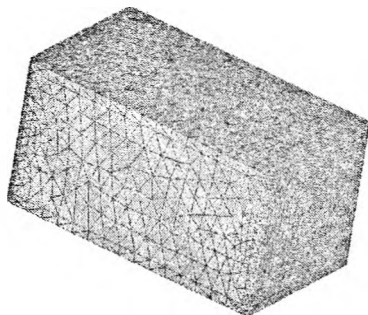


Рис.1 - Конечно-элементная модель коробки

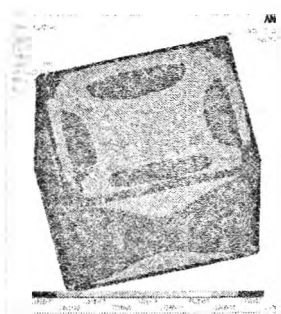


Рис.2 - Напряженное состояние коробки

УДК 004.51

Разработка адаптируемого графического интерфейса на основе векторной графики

Бадыль А.А., Василевский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Данный интерфейс входит в состав программы “Taxman”, разработанной для налоговой службы, и служит для обмена информацией с клиентом. В высококонкурентной среде аналогичных программ большое значение имеет внешний вид экранной формы и удобство пользования ею. Можно сказать, что данный интерфейс являет собой лицо всей программы.

В данном адаптируемом интерфейсе удовлетворяются следующие требования:

- возможность создания и редактирования существующей формы;
- возможность создания и редактирования расширенной диалоговой формы;
- использование списка стандартных элементов управления при редактировании формы или диалога;

- сохранение полученного результата в формате ai, что дает возможность загрузки редактируемой формы в редакторе для работы с SVG-графикой Adobe Illustrator.

Использована архитектура Model-View-Presenter, позволяющая эффективно манипулировать графическими представлениями данных. При этом представление данных не влияет на функциональную логику приложения.

Основной модуль программы, модуль редактирования экранной формы, реализован с помощью как стандартных компонентов платформы .Net framework 2.0, так и собственных классов, наследованных от классов .Net. Для хранения информации о редактируемом файле, представляющем собой шаблон формы, а также описания элементов управления, которые будут добавляться либо удаляться с формы, использована база данных.

При работе с приложением пользователь сначала подключается к базе данных. Затем он может выбрать одну из предложенных операций:

- создание новой формы;
- редактирование существующей формы;
- редактирование формы в Adobe Illustrator;
- редактирование диалогового окна.

УДК 004.896

Особенности твердотельного моделирования и инженерного анализа спирального компрессора в среде САПР

Брешев В.Е., Калинин Е.В.

Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля
(г. Луганск, Украина)

Эффективное использования САПР обеспечивает сокращение сроков выхода на рынок новой продукции, снижение ее себестоимости и повышение качества, приводит к тому, что разработка новых образцов техники происходит даже быстрее, чем окупаются уже работающие изделия.

Моделирование спирального компрессора базируется на традиционных подходах к проектированию компрессоров и анализе функциональных возможностей машиностроительных САПР для максимальной автоматизации проектных процедур.

Основой современного подхода к проектированию является твердотельное моделирование, поэтому на основе данных технического задания определяются исходные параметры для 3D моделирования.

Наиболее ответственным и сложным в моделировании является спиральный узел компрессора, в котором подвижная спираль движется эксцентрично по круговой орбите относительно неподвижной спирали. Расчётным является приближение спиралей без их непосредственного контакта до величины порядка 0,1...0,4 мм. Инструменты САПР позволяют уменьшить данный зазор на несколько порядков, но точность изготовления и разница давлений в этом случае неизбежно приведут к контакту между ними, что недопустимо.

Качество 3D модели контролируется анимацией бесконфликтного движения спирали в ручном и автоматическом режимах, контролем интерференции деталей, определением траекторий их движения, скоростей и ускорений. Действие избыточного внутреннего давления на корпус и спирали компрессора моделируется для численной оценки статической прочности в программе конечно-элементного анализа.

Данный автоматизированный инженерный анализ выполняется на ранних стадиях твердотельного моделирования для оперативного внесения изменений в конструкцию спирального компрессора, обеспечивающих достаточную прочность его деталей.

Информационные системы и технологии

Квазиоптимальное управление системой в гауссовом приближении

Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет

Решена задача аналитического синтеза оптимального управления нелинейной системой, подверженной случайным скачкообразным воздействиям. Определена топологическая структура и параметры управляющей части системы, оптимальные в смысле экстремума заданного функционала качества при заданных математических моделях объекта управления и ограничениях.

Обосновано применение в конкретных задачах обобщённого квадратичного терминального критерия, допускающего возможность при использовании теоремы разделения значительно упростить решение задачи синтеза оптимального управления при неполной информации. Это позволяет свести рассматриваемую задачу к последовательно решаемым задачам фильтрации зашумлённого входного сигнала и оптимизации регулятора.

Путём применения стохастического принципа максимума при статистической линеаризации существенных нелинейностей математической модели системы управления получены выражения для структуры и коэффициентов оптимального регулятора. Приближённое (квазиоптимальное) решение задачи получено на основе применения гауссовой аппроксимации для апостериорной функции плотности вероятности вектора состояния. Вектор квазиоптимального управления представляет собой нелинейную функцию апостериорной оценки вектора состояния, получаемой с помощью квазиоптимального фильтра на основании имеющихся измерений.

Статистические характеристики нелинейностей и матрицы статистических коэффициентов усиления системы при известных моделях входных воздействий вычисляются с помощью современных пакетов компьютерной математики. Двухточечная красная задача решается методом последовательных приближений также с помощью этих пакетов.

Полученные математические выражения для оптимального регулятора позволяют использовать синтезированный итерационный алгоритм аналитического определения оптимального управления для оценки гауссова приближения статистической линеаризации нелинейностей, а также при необходимости – уточнить его или построить более точную вычислительную процедуру.

Лобатый А.А., Икуас Ю.Ф., Саид Ж.М.

Белорусский национальный технический университет

Получены топологические уравнения для определения структур (состояний) подсистем сложной динамической системы. Вывод топологических уравнений основан на рассмотрении эволюции сложной системы на элементарном (бесконечно малом) интервале времени. Величина интервала выбирается таким образом, чтобы вероятность перехода подсистемы из одного состояния в другое за время данного интервала была пропорциональна интенсивности смены структуры. Уравнения для вероятностей состояний подсистем получены из обобщённого уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова с учётом поглощения и восстановления реализаций.

Изменение структуры сложной мультиструктурной системы описывается дифференциальным уравнением, компоненты которого представляют собой блочные матрицы вероятностей состояний подсистем и зависят от матриц интенсивностей смены структур, а также - от матриц смежности и инцидентности, определяющих топологию сложной системы.

Показано, что вероятности состояний подсистем зависят от нормированных потоков поглощения и восстановления реализаций, связанных между собой топологическим векторно-матричным уравнением. Следовательно, задача вероятностного анализа сложной стохастической системы сводится к определению векторов поглощения и восстановления.

При решении практических задач вероятностного анализа реальных технических систем, в том числе и при исследовании отказоустойчивости, потоком восстановления реализаций в большинстве случаев можно пренебречь. Это обусловлено тем, что вероятность возврата подсистемы в прежнее состояние (например, из неработоспособного в работоспособное) за ограниченное время выполнения системой своей задачи близка к нулю.

Результаты применения данного подхода для исследования сложных технических систем показали, что, чем выше иерархический уровень подсистемы, тем более она подвержена влиянию других подсистем, в результате которого уменьшается вероятность работоспособного (исправного) функционирования данной подсистемы. Построенные на основе полученных топологических уравнений для вероятностей состояний сложной системы алгоритмы прогнозирования технического состояния достаточно просто реализуемы при наличии соответствующей априорной информации.

Преимущества построения конечно-элементной модели для ANSYS на основе командного файла

Напрасников В.В., Соловьев А.Н., Скалиух А.С., Лакин В.И.
Белорусский национальный технический университет
Донской государственный технологический университет

Может оказаться, что пакет конечно-элементных расчетов, который исследователь использует в качестве инструмента моделирования, не оснащен средствами проведения оптимизационных вычислений (например, FlexPDE). Если же такие средства в пакете присутствуют (ANSYS, NASTRAN, CosmosWorks), то они могут не удовлетворять запросам исследователя по степени документированности, либо по особенностям реализованных в них алгоритмов оптимизации, либо по присутствующим у этих средств ограничениям.

Поэтому в ряде случаев необходимо создавать собственные реализации методов оптимизации.

Реализация такого подхода возможна при использовании командного файла для построения конечно-элементной модели. В докладе обсуждается возможная схема для реализации такого подхода, которая представлена на следующем рисунке.

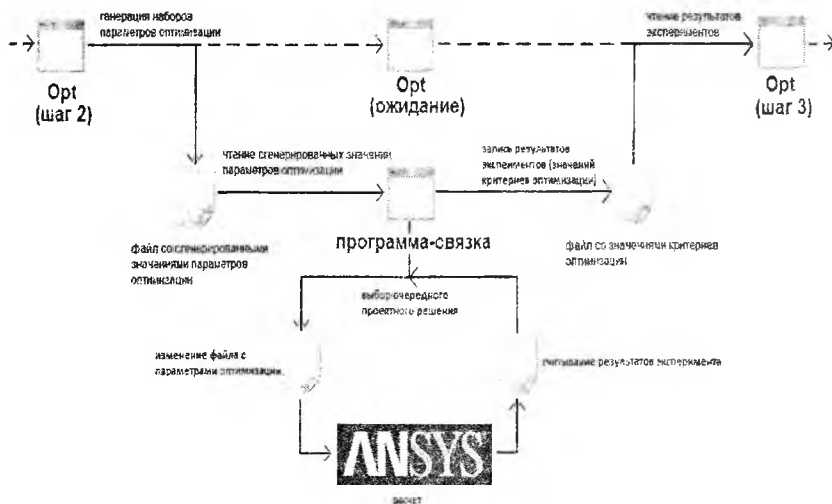


Рисунок 1. Взаимодействие пользовательской программы оптимизации и ANSYS

Исследование рамы полуприцепа на основе метода конечных элементов с использованием возможностей суперкомпьютера

Мирзаванд Мохсен Али, Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является создание методики подготовки параметрической модели тракторного полуприцепа, пригодной для передачи на суперкомпьютер, и исследование на ее основе напряженно-деформированного состояния конструкции при имитации процесса выгрузки.

В качестве основного типа конечного элемента выбираем BEAM189 – это элемент категории BEAM, которые используются для моделирования стержней. Данный элемент используется при расчете стержневых конструкций, которые могут обладать большими деформациями, имеет два узла на концах элемента и один посередине. Использование элементов такого типа позволяет значительно увеличить точность расчетов при умеренных затратах вычислительных ресурсов.

На следующем рисунке представлено распределение напряжений по теории прочности Мизеса в материале конструкции в режиме одновременной выгрузки обоих кузовов.

```
TIME=1
SEQV (AVG)
DMX = .01586
SMN = -.108E-06
SRO = .158E+09
```

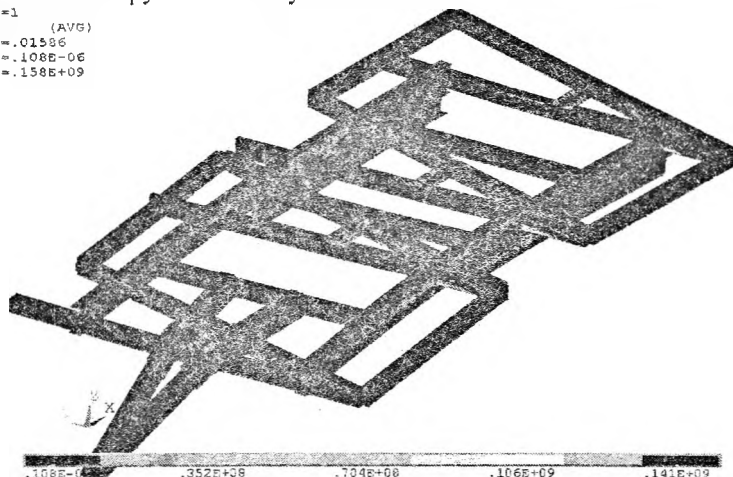


Рисунок 1. Распределение эквивалентного напряжения по Мизесу

В этой ситуации напряжения по теории Мизеса в наиболее нагруженном сечении составляют 158 МПа и не превышают предел текучести материала.

Реализация компьютерной обработки данных по результатам соревнований теннисистов в среде EXCEL

Ширшов В.А., Боровок О.А.

Белорусский национальный технический университет

Излагаются особенности предлагаемого авторами подхода по компьютерной обработке данных результатов соревнований теннисистов в среде EXCEL.

Обсуждаются особенности создания таблицы для выявления победителей, на основе только результатов соревнований. Приводятся соответствующие формулы и специфика их построения.

При подведении итогов соревнований по настольному теннису возникают задачи обработки разнородной информации. При представлении её в виде наглядных таблиц можно быстро сделать заключение о расположении команд в соответствии с критериями по заданному рейтингу.

Информация об участниках может располагаться в различных таблицах с исходными данными. В этих таблицах, кроме собственно результатов соревнований, могут присутствовать данные о составе команд участников, регионов происхождения этих команд и так далее.

Все эти данные могут использоваться при выявлении участников – призёров и начислении очков рейтинга участникам соревнований.

Для удобства судей предусмотрен ввод данных лишь в верхней части таблиц с результатами, а остальные поля в таблице заполняются автоматически.

Ниже приводится фрагмент таблицы, оформленной в соответствии с предложенной методикой.

Участники	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6												
7								4:3	4:3	4:3	4:0	4:0
8								4:0		4:0	4:0	4:0
9										4:0	4:0	4:0
10											4:0	4:0
11												4:0
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19								4:3		4:0	4:0	4:0
20										4:0	4:0	4:0
21	4:3	0:4					3:1		4:3	4:0	4:0	4:0
22												
23	3:4							3:3		4:3	4:0	4:0
24												
25	3:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	3:4		4:0	4:0
26												
27	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4		3:0
28												
29	0:4	0:4	0:4	0:4	0:4	1:5	0:3	0:4	0:4	0:4	0:3	

Применение системы спутникового мониторинга в диспетчерском управлении пассажирским транспортом г. Минска

Иванис П. В.

Белорусский национальный технический университет

В основу современной системы диспетчерского управления пассажирским транспортом легла спутниковая система навигации или GPS (англ. global positioning system). Эта система позволяет практически в любых условиях определить местоположение и скорость объектов.

В основу работы системы GPS положено использование эффекта Доплера: частота принимаемого сигнала увеличивается при приближении спутника и уменьшается при его отдалении. Таким образом, если точно знать свои координаты на Земле, то можно вычислить координаты и скорость спутника и наоборот, имея координаты спутника, можно определить собственную скорость и координаты.

Активное внедрение навигационной системы на коммунальном общественном транспорте в г. Минске началось в середине 2010 года. На сегодняшний день модулями навигационной системы оборудованы более 2400 автотранспортных средств.

Движение автотранспортных средств отображается в режиме реального времени на карте города с помощью специально разработанного программного обеспечения. При установке курсора на иконку автотранспортного средства на карте появляется доступная информация: номер и маршрут автотранспортного средства, текущее местоположение, следующая остановка и отклонение от графика. Количество отображаемой информации зависит от настроек модуля, установленного в кабине водителя.

Внедрение системы спутникового мониторинга позволило эксплуатационным предприятиям улучшить качество работы автотранспортных средств на линии, повысить оперативность реагирования на возникновение внештатных ситуаций в работе, более оперативно и справедливо проводить анализ поступающих от пассажиров жалоб о нарушениях при движении автотранспортных средств по маршруту.

В дальнейшем планируется установить на остановочных пунктах в г. Минске информационные табло, показывающие время, оставшееся до прибытия маршрутного автотранспортного средства на остановочный пункт. Информация для таких табло будет загружаться непосредственно с центрального сервера, отслеживающего перемещение автотранспортных средств.

УДК 351

**Рекомендации повышения безопасности дорожного движения
на основе анализа поведенческого моделирования**

Ганэ В.А., Дияб Абдаллах Саид Али Омар
Белорусский национальный технический университет

Анализ результатов поведенческого моделирования без учета динамики транспортного средства показывает, что ошибки в поведенческих моделях зависят от структуры модели, определяемой степенью восприятия водителя (низкая, средняя, высокая); параметры модели, зависящих от совокупности психических, умственных и психофизиологических факторов; интенсивности задающих и возмущающих воздействий на поведенческие модели (малые, средние высокие интенсивности), соответствующих определенным дорожным условиям.

Составлены индивидуализированные рекомендации по повышению качества обучения водителей в зависимости от их степени восприятия.

Разработаны организационные и практические рекомендации по улучшению общей методики обучения Правилам дорожного движения.

Сформулирована методика и условия организации поведенческого моделирования операторов-водителей с различными степенями восприятия.

Таким образом, в зависимости от степени восприятия водителя, его «параметрического» состояния, интенсивности задающих и возмущающих воздействий можно модельно спрогнозировать ошибки операторов-водителей автотранспортных средств с низкими, средними и высокими степенями восприятия мотивационных факторов и в вероятном смысле соответствующее количество нарушений и дорожно-транспортных происшествий.

УДК 681.3

**Особенности разработки программного обеспечения
трехуровневой архитектуры**

Вечер Н.С.
Белорусский национальный технический университет

Рассматриваются общие вопросы разработки программного обеспечения, построенного по трехуровневой архитектуре.

Трехуровневая архитектура имеет следующие преимущества перед двухуровневой:

- централизация бизнес-логики на сервере приложений;

- модульность (позволяет менять отдельные компоненты независимо от остальных);
- масштабируемость (позволяет увеличивать производительность системы пропорционально увеличению ресурсов);
- безопасность (информация о СУБД недоступна).

В качестве примера реализации трехуровневой архитектуры предлагается следующая конфигурация:

- сервер приложений для языка Java - IBM Webshere;
- тонкий клиент, написанный на PythonQt;
- СУБД Oracle.

Основной особенностью данной конфигурации является то, что все ее компоненты являются кроссплатформенными, что позволяет администратору системы и пользователю выбирать нужную платформу в соответствии с их требованиями.

Взаимодействие клиента и сервера приложений можно организовать при помощи веб-сервисов, http-запросов либо бинарных протоколов в соответствии с требованиями величины трафика и открытости протокола для соединения с другими системами.

Использование библиотеки Qt, портированную на Python, позволяет вести эффективную разработку клиентской части применительно как к визуальному интерфейсу, так и разрабатываемой логики.

УДК 681.396

Результаты расчета параметров исполнительного устройства утилизатора магнитных носителей информации

Кондратенко В.А., Кондратенко Е.В.

Белорусский национальный технический университет

Магнитные носители информации (МНИ) обладают наилучшими из всего перечня существующих носителей характеристиками по своей дешевизне, надежности и т.д. Увеличение объемов хранящейся и обрабатываемой информации обостряет проблему обеспечения ее защиты. При этом может применяться уничтожение информации (УИ) в случае попытки получения несанкционированного доступа. Методы УИ, хранящейся на МНИ, делятся на программные, механические и физические. В основе реализации физических методов УИ лежит возможность изменения магнитной структуры магниточувствительного рабочего слоя МНИ. Обеспечение малого времени и гарантированности УИ при использовании физических методов обусловили интерес к ним авторов доклада. Обычно в типовую схему устройства, реализующего УИ,

входят модуль накопления заряда, модуль управления и камера УИ с исполнительным устройством.

В качестве исполнительного устройства рассчитан соленоид, который должен обеспечить напряженность магнитного поля 5×10^5 А/м, что, как следует из анализа характеристик аналогичных устройств, достаточно для разрушения доменной структуры МНИ. Рассчитано, что для обеспечения заданной напряженности магнитного поля потребуется создать протекающий через обмотку соленоида импульс тока величиной порядка 500...600 А. Оптимизируя в процессе разработки исполнительного устройства его конструкцию, необходимое значение импульса тока можно уменьшать. При требуемых силах тока в сотни ампер при существующей технологии возможного в данной конструкции автономного источника электропитания потребуется накопитель энергии с преобразователем, обеспечивающим требуемый заряд накопителя от маломощного автономного источника электропитания. Накопитель энергии может быть выполнен на основе реактивных элементов – емкостных накопителей (конденсаторов) или искусственных линий (цепочечного типа или последовательным соединением параллельных контуров).

УДК 621.311

Определение входных параметров электродвигателя переменного тока

Стрижнев А.Г., Ледник Г.В., Шихов А.А.
ООО «Техносоюзпроект»

Для моделирования работы частотных преобразователей, формирующих напряжения, питающие обмотки электродвигателя переменного тока, нужно знать входные параметры нагрузки, которые можно определить различными аналитическими или практическими методами, базирующимися на использовании различных эквивалентных схем замещения: Т-образной, упрощенной.

В качестве примера, для номинального режима работы 3-х фазного асинхронного с короткозамкнутым ротором двигателя АПН 12/2 определены параметры Т-образной схемы замещения. Затем эквивалентная Т-образная схема замещения была приведена к упрощенной схеме с последующим расчетом ее параметров. Используя законы линейной цепи, были непосредственно рассчитаны входные параметры двигателя АПН 12/2, соответствующие упрощенной схеме замещения.

С помощью измерителя иммитанса Е7-25 измерены входные параметры двигателя АПН 12/2 на различных частотах, в том числе и

номинальной 50 Гц. Измерения показывают, что активное сопротивление обмотки АД линейно зависит от частоты, а индуктивное – нелинейно. Эту особенность необходимо учитывать при частотно-импульсном регулировании скорости АД, когда питающее напряжение представляет собой последовательность ШИМ импульсов.

Сравнивая данные, полученные различными методами, можно отметить значительный разброс входных параметров ($R = 50,825 - 53,66 \text{ Ом}$, $L = 0,165 - 0,361 \text{ Гн}$) данного двигателя. Для средних значений входных параметров ($R = 51,7 \text{ Ом}$, $L = 0,254 \text{ Гн}$) определена минимальная частота ШИМ импульсов ($f_{\min} = 2544 \text{ Гц}$). С учетом разброса входных параметров, в основном $L = 0,165 - 0,361 \text{ Гн}$, частота импульсов должна быть увеличена, по крайней мере, в полтора раза.

УДК 621.311:621.382

Синтез напряжений многократных равномерных ШИМ, созданных по трапецеидальной и синусоидальной функциям построения

Стрижнев А.Г., Ледник Г.В.
ООО «Техносоюзпроект»

В электроприводе, содержащем электродвигатель переменного тока, используют частотные преобразователи, которые формируют напряжения многократной равномерной ШИМ. Существуют различные способы формирования данной ШИМ, но наиболее просто это можно осуществить за счет использования трапецеидальной и синусоидальной функций построения.

Авторами предлагается аналитический подход к созданию многократной равномерной ШИМ с использованием данных видов модуляции. В качестве примера выбраны лучшие варианты формирования ШИМ: по трапецеидальной функции построения - равномерная, однополярная односторонне-симметричная ШИМ с модуляцией по одной трети полупериода в его начале и конце; по синусоидальной функции построения - равномерная, однополярная двухсторонняя II-го рода ШИМ, когда указанная точка соответствует тактовому моменту времени (середине импульсного интервала).

Рассмотрены примеры формирования ШИМ: по трапецеидальной функции построения с нечетным $k = 3$ и четным $k = 6$ количеством импульсных интервалов в полупериоде; по синусоидальной функции построения с нечетным $k = 3$ и четным $k = 4$ количеством импульсных

интервалов в полупериоде. Получены аналитические выражения для определения параметров импульсов: α_i - фазовый угол i -го ШИМ импульса, отсчитанный от момента прохождения переменного синусоидального напряжения через нулевое значение, до начала импульса; τ_i - длительность i -го ШИМ импульса. Полученные аналитические выражения параметров позволяют не только создать данные виды ШИМ, но и осуществить их спектральный и качественный анализ.

УДК 620.91/2:658.26

Системное рассмотрение возобновляемых источников энергии

Петренко Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет

Интерес к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), непрерывно нарастающий в течении последних двух десятилетий, получил новый мощный импульс, вызванный известными событиями на АЭС в Японии. Многие страны пересматривают свое отношение к атомной энергетике. Так называемый “Мирный атом”, получивший такое ласковое название благодаря усилиям всезнающих журналистов, скорее всего без учета мнений физиков и техников, требует более внимательного к себе отношения. ВИЭ содержат достаточно много аспектов и их всесторонний анализ необходим на начальной стадии предпроектных исследований. За последние десятилетия ВИЭ испытали один из самых больших подъемов в истории; например, в 2007 выработки энергии в мире определена в объеме 19 %, однако 16 % прироста обеспечивают гидроэлектростанции, остальное приходится на ветроустановки (ВЭУ) и солнечные батареи (СБ).

Однако, эти два наиболее обещающие источника имеют различные особенности. Энергия ветра хороша, когда есть ветер. Подробные карты метеоусловий дают лишь вероятностную оценку, которая не может служить удовлетворительным объяснением для потребителей. Более предсказуемой является энергия (СБ). Оба источника неоспоримы с точки зрения экологии: большие территории моря в Дании и Германии, отведенные для ВЭУ, создают проблемы как для человека так и для живых организмов.

Комбинация ВЭУ и СБ является удачным решением, но с некоторыми оговорками: в отдельные (слабопредсказуемые) периоды может быть избыток энергии, который необходимо сохранить. Наиболее перспективными решениями в этой части являются аккумуляторные батареи и суперконденсаторы (ионисторы). Следует также заметить, что любое решение требует многократного преобразования информации и энергии средствами электроники.

УДК 623.7

Автоматизация проектирования авионики беспилотных летательных аппаратов с использованием MATLAB/Simulink

Марушко В.А., Пальцев А.Н.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Доклад описывает методологические подходы для автоматизации проектирования программного обеспечения пилотажно-навигационных комплексов (ПНК) для различных летательных аппаратов: от идеи до реализации в аппаратном исполнении. MATLAB/Simulink поддерживает генерацию C/C++ проектов для различных целевых платформ: от микроконтроллеров и DSP-чипов до ASIC/FPGA с помощью Real-Time Workshop (RTW).

Именно графическая интеграция MATLAB и Simulink позволяет проектировать в блочно-модульной форме системы требуемой сложности и затем легко компилировать в C/C++ код и далее, с помощью интегрированной среды компилятора для выбранного микроконтроллера – в исполняемый машинный код для real-time выполнения в спроектированном ПНК. Для ускорения валидации и оптимизации полученного C/C++ кода используется среда авиасимулятора X-Plane. X-Plane включается в контур моделирования как точная математическая модель планера беспилотного летательного аппарата (БЛА).

Предложенный и апробированный подход к проектированию систем управления БЛА можно распространить на создание качественного C/C++-кода для других областей/отраслей техники и науки.

УДК 620.91

Интегрированная система электрообеспечения автономных пользователей

Треш Абдунасер Мохамед

Белорусский национальный технический университет

Актуальность вопроса очевидна: необходимость использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) находится в центре внимания по ряду причин. Ливия обладает большими запасами углеводородного сырья, тем не менее, разработана государственная программа развития ВИЭ. Прогноз производства электрической энергии (ЭЭ) показывает рост установленной мощности (MW) от 6000 в 2008 году до 15000 в 2015 году. За этот же период производство ЭЭ увеличится с 29 TWh до 73TWh. Потребление ЭЭ по секторам народного хозяйства характеризуется данными таблицы 1.

Таблица 1. Энергопотребление по отраслям

Category	percentage
Residential	32%
Industrial	10%
Agriculture	14%
Commercial	14%
General Services	17%
Street Lighting	13%

При этом необходимо отметить, что ряд удаленных районов страны нуждается в автономном электрообеспечении.

Ливия имеет громадный потенциал солнечной и ветровой энергии, однако их особенности таковы, что ни

один из названных источников не способен обеспечить ЭЭ в любое время суток и года. Кроме того, в определенное время суток можно легко прогнозировать избыток производимой энергии – в дневное время и при наличии ветра. Это приводит к необходимости установки накопителей ЭЭ.

Известно несколько методов управления ВЭУ:

1. Контроллер на основе измерения скорости ветра регулирует скорость турбины для поддержания оптимального значения выходной мощности.

2. Контроллер, функционирующий в замкнутой системе на основе измерение сигнала выходной мощности. Значение скорости турбины используется для выбора соответствующей кривой мощности, которая должна быть отслежена системой.

3. Контроллер, реализующий поисковый пошаговый алгоритм. Он основан на введении возмущений и измерении реакции на них.

УДК 620.91

Исследование характеристик солнечных батарей

Трещ Абдунасер Мохамед

Белорусский национальный технический университет

Интенсивность солнечной энергии, падающей на поверхность, зависит от ориентации этой поверхности по отношению к Солнцу и может быть определена расчетом для данного времени года (дня). При этом учитываются следующие факторы: ориентация поверхности относительно Солнца; состояние атмосферы; тень от деревьев, соседних зданий и др.; отражение солнечных лучей от снега, льда, облаков. С этой точки зрения условия Ливии весьма благоприятны для солнечной энергетики. Проблемы использования электроэнергии солнечных батарей чрезвычайно многообразны. Здесь можно выделить следующие аспекты:

- физические проблемы преобразования солнечной энергии в электрическую;

- преобразование полученной электрической энергии солнечных батарей к параметрам, удовлетворяющим потребителя в смысле количества и качества;

- обеспечение непрерывного электропитания.

Сразу оговоримся: преобразование солнечной энергии в тепловую здесь не рассматривается.

Генерирующие свойства фотоэлементов (ФЭ) определяются их характеристиками, из которых с точки зрения потребителя наиболее важной является вольтамперная характеристика (ВАХ), представленная уравнением [1]

$$I_{нагр} = I_{\phi} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qU}{AKT}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

где I_{ϕ} , I_0 , $I_{нагр}$ -токи: генерируемый фотоэлементом (I_{ϕ}), через шунтирующий диод (I_0), нагрузки ($I_{нагр}$), U напряжение на нагрузке.

ВАХ ФЭ (1) трудно использовать на практике, т.к. изготовители солнечных батарей (СБ), как правило, не приводят значения коэффициентов в (1), а также при переменной интенсивности солнечного излучения.

УДК 629.7

Диагностика угольного регулятора по параметрам напряжения сети постоянного тока

Шейников А.А., Белегов А.Н.

Военная академия Республики Беларусь

Наиболее рациональным решением задач эффективной эксплуатации систем электроснабжения (СЭС), с учетом современных тенденций развития авиационного оборудования, является применение бортовых автоматических систем контроля, выполненных на базе ЦВМ. В этих условиях особая роль отводится разработке и внедрению методов контроля технического состояния, позволяющих проводить функциональную диагностику агрегатов СЭС. В качестве основы подобных методов предлагается анализ параметров генерируемой электрической энергии. Исследования показали, что этот подход применим, в том числе и при диагностике угольных регуляторов напряжения. Ухудшение технического состояния системы стабилизации напряжения влечет за собой изменение ее динамических свойств. Уравнение системы стабилизации напряжения представим в виде

$$U(p) = \frac{(-T_1^2 T_{r0})p^3 + (-K_n T_1^2 - T_2 T_{r0})p^2 + (-K_n T_2)p - K_n}{T_1^2 T_r p^3 + (T_1^2 + T_2 T_r)p^2 + (T_2 + T_r)p + (1 + K_r K_3 K_{ct})} I_n(p),$$

где U – напряжение бортовой сети; I_n – ток нагрузки; T_1, T_2 – постоянные времени электромагнита; T_r – постоянная времени генератора; K_r – коэффициент усиления по сопротивлению угольного столба; K_3 – коэффициент усиления электромагнита; K_{ct} – коэффициент усиления угольного столба; T_{r0} – коэффициент усиления дифференцирующего звена генератора; K_n – коэффициент усиления пропорционального звена генератора.

Исследования показали, что в качестве диагностического параметра, характеризующего техническое состояние системы стабилизации напряжения, целесообразно выбрать комплексный коэффициент усиления угольного регулятора $K_k = K_r K_3 K_{ct}$.

УДК 62-531.7

Anti-sway алгоритмы управления технологическим оборудованием

Шмарловский А.С., Гаврилик Т.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Наибольшее распространение в системах управления, не имеющих функций контроля выходных сигналов, получили специальные алгоритмы подавления колебаний (anti-sway shaping-алгоритмы). Принцип их работы основан на перераспределении во времени силового воздействия на объекты на различных этапах управления при сохранении неизменной величины суммарного воздействия. За счет относительного увеличения времени перехода системы из одного состояния в другое обеспечивается компенсация собственных колебаний, а сдвиг управляющего воздействия на полпериода (долю периода) вычисленных колебаний объекта управления обеспечивает в идеальном случае полное их подавление. Реальное время переходных процессов уменьшается, а точность позиционирования не ухудшается.

Проведен сравнительный анализ наиболее распространенных shaping-алгоритмов: ZV-shaper, ZVD-shaper, ZVDD-shaper, ZVDDD-shaper, UMZV-shaper, EI-shaper, SI-shaper. SNA-ZV-shaper и др. Представлены зависимости, характеризующие качество работы алгоритмов: степень подавления колебаний, быстродействие и робастность по отношению к неопределенности собственной частоты и коэффициента демпфирования

объекта управления. Оценка подавления производится в виде отношения амплитуды остаточных колебаний в системе, в которой входной сигнал был сформирован anti-sway-алгоритмом, к амплитуде остаточных колебаний, возникающих в той же системе без преобразования входного сигнала.

Литература

Sorensen, K.L. Operational performance enhancement of human operated flexible systems. Georgia Institute of Technology. 2008.

УДК 62-52

Система управления и подавления колебаний объекта

Марков А.В., Шмарловский А.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Для расчета систем управления обычно задаются желаемым законом изменения выходных координат объекта и пересчитывают их во входные координаты. Такой пересчет является решением обратной задачи динамики математической модели объекта и может рассматриваться как основа для вычисления сигнала формирующего фильтра. Решение обратной задачи динамики для вычисления сигнала управления может быть выполнено путем замены формирующего фильтра замкнутой схемой, имеющей единичный коэффициент передачи в прямой цепи и модель объекта управления с идеальным регулятором в цепи обратной связи. Такая схема позволяет решать задачу в реальном масштабе времени с помощью рекурсивного фильтра, отражающего желаемые динамические свойства объекта.

Этот подход использован при синтезе систем управления и подавления колебаний грузов подъемных кранов (мостовые, порталные, башенные и др. краны), а также при синтезе системы управления электроприводами скоростных лифтов высотных зданий (у таких лифтов во время ускорения и замедления возникают продольные колебания кабины ввиду особенностей механической части). Рассматриваемый подход позволяет повысить качество управления (точность, безопасность и производительность), уменьшить износ силовой части. Дополнительным эффектом является снижение энергопотребления. Проведено исследование чувствительности системы к вариациям параметров. Даны рекомендации по применению систем управления и подавления колебаний объектов с изменяющимися параметрами.

Литература:

1. Кузнецов, А.П. и др. Интеллектуальные алгоритмы управления

подъемно-транспортными механизмами // OSTIS: материалы МНТК. Минск, БГУИР. 2011.

2. Хаджинов, М.К., Шмарловский, А.С. Демпфирование колебаний в электроприводе подъема груза: Материалы Восьмой МНТК.– Минск, БНТУ. 2010.

УДК 629.7

Алгоритм определения функции плотности вероятности при аналитическом моделировании процесса функционирования БАК

Белекало И.И.

Минский государственный высший авиационный колледж

В общем виде процесс функционирования БАК на основных этапах в каждом l -ом состоянии полной группы его несовместных структур описывается следующей многомерной системой дифференциальных уравнений в канонической нормальной форме Коши

$$\dot{Y}^{(l)} = D^{(l)}(t)\varphi^{(l)}(Y, t) + H^{(l)}(Y, t)V^{(l)}(t), \quad Y^{(l)}(t_0) = Y_0^{(l)}. \quad (1)$$

Полной вероятностной характеристикой случайного процесса (1) в каждом состоянии может служить функция плотности распределения вероятности (ПРВ) $\omega_1^{(l)}(\bar{y}, t)$. Для её получения используется обобщенное уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) вида

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega_1^{(l)}(\bar{y}, t)}{\partial t} = & -\operatorname{div} \pi^{(l)}(\bar{y}, t) - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^s \nu^{(l,r)}(\bar{y}, t) \omega_1^{(r)}(\bar{y}, t) + \\ & + \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^s \frac{P_r}{P_l} \nu^{(r,l)}(\bar{y}, t) \omega_1^{(r)}(\bar{y}, t) - \frac{\dot{P}_l}{P_l} \omega_1^{(l)}(\bar{y}, t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\pi^{(l)}(\bar{y}, t)$ – вектор плотности потока вероятности непоглощенных реализаций;

$\omega_1^{(l)}(\bar{y}, t)$ – функция плотности распределения вероятности фазовых координат системы;

$\nu^{(r,l)}(\bar{y}, t)$ – интенсивность перехода из r -го в l -ое состояние.

Уравнение (2) записано для случая мгновенного и полного восстановления фазовых координат.

Вектор плотности потока вероятности непоглощенных реализаций зависит от коэффициентов сноса и диффузии, которые полностью определяют марковский процесс.

Аналитические выражения для интенсивностей переходов из состояния в состояние определяются исходя из физической сущности процессов поглощения и восстановления.

Для нахождения плотности распределения вероятности фазовых координат системы необходимо решить обобщенное уравнение ФПК (2).

УДК 629.7

Выбор общего показателя эффективности выполнения боевой задачи беспилотным авиационным комплексом

Белекало И.И., Шипица Д.И.

Минский государственный высший авиационный колледж

БАК могут применяться для решения широкого круга задач, таких как ведение воздушной разведки; поражение обнаруженных целей; ведение радиоэлектронной борьбы; организация управления и связи; создание мишенной обстановки в условиях полигона, проведение тренировок боевых расчетов ЗРК и экипажей самолетов истребительной авиации (мишени). Однако основной задачей беспилотного авиационного комплекса является ведение воздушной разведки.

С учетом общей характеристики полной группы структур разведывательного БАК, выполним системный анализ показателей эффективности БАК как сложной динамической системы случайной структуры на основных этапах полета: наведения (выхода в район цели), поиска цели, передачи информации о цели. Обязательному учету также подлежат показатели эффективности, характеризующие этап преодоления ПВО противника.

За общий показатель примем вероятность выполнения боевой задачи при поиске наземной цели $P_{бз}$:

$$P_{бз} = P_0 P_{нав} P_{пц} P_{пи} \bar{P}_{пво}, \quad (1)$$

где P_0 – вероятность своевременного вылета (своевременного появления над целью) БАК;

$P_{нав}$ – вероятность наведения (выхода в район цели);

$P_{пц}$ – вероятность поиска цели;

$P_{пи}$ – вероятность передачи информации о цели;

$\bar{P}_{пво}$ – вероятность преодоления ПВО противника.

Показатели в правой части выражения (1) являются частными. Основными этапами функционирования БАК с точки зрения его основного предназначения являются этап наведения, этап поиска цели и этап передачи информации о цели. При допущении, что все неучтенные этапы боевого полета БАК выполнены с вероятностью равной единице и этапы независимы, для задания общего показателя в виде вероятности

выполнения боевой задачи, используем формулу

$$P_{\text{бз}} = P_{\text{наб}} P_{\text{пц}} P_{\text{пл}}. \quad (2)$$

Частными показателями прием вероятности $P_{\text{наб}}$, $P_{\text{пц}}$ и $P_{\text{пл}}$. Разработка математической модели будет ориентирована на вычисление данных показателей эффективности для соответствующего этапа.

УДК 621.396.1.001.24

Компьютерные модели пространственно-временной обработки импульсного сигнала на фоне пассивных помех

Гриднев Ю.В., Пальцев В.А., Мельник А.И.
ФТИ НАН Беларуси

При сопровождении цели в облаке пассивных помех имеем пространственно-временную корреляцию, как сигнала, так и помехи. Наличие такой пространственно-временной (ПВ) корреляции сигнала и помехи показывает, что система оптимальной обработки такого сигнала должна быть пространственно-временной, то есть должна включать как пространственную обработку в антенне, которая является пространственным оптимальным фильтром, так и временную обработку в временных оптимальных фильтрах подавления помехи и накопления сигнала.

ПВ спектры сигнала и помехи являются гребенчатыми, как по времени (частоте), так и по пространству. Оптимальная обработка такого сигнала на фоне помех заключается в ПВ режекции (подавления) сигнала помехи, то есть декорреляции помехи по дальности и пространству, а затем в ПВ фильтрации (накоплении) полезного сигнала от цели на декоррелированном фоне.

Наличие скорости цели и скорости помехи, а также амплитудных флуктуации сигналов приводят к ПВ смещению спектров по оси частот сигнала и помехи, а также к изменению ширины гребешков спектров. Такое явление при реализации оптимальной обработки сигнала цели на фоне помех компенсируется созданием адаптивных ПВ фильтра подавления помехи и ПВ фильтра накопления полезного сигнала. Такие фильтры должны иметь ПВ системы автоподстройки по фазе и по амплитуде, синтез которых заключается в определении алгоритмов формирования сигналов ошибок автоподстройки.

Предлагаются компьютерные модели, для адаптивного ПВ подавления помехи в виде адаптивного ПВ фильтра, реализованные в среде MATLAB. В настоящее время разработаны и опробованы адаптивные временные фильтры в единой цепи обработки полезного сигнала на фоне помех. Пространственный адаптивный фильтр представляет собой

многокаскадную схему когерентной компенсации мешающего излучения на радиочастоте с автоматическим установлением веса компенсации.

Предлагаемые компьютерные модели позволяют путем моделирования исследовать характеристики адаптивной ПВ обработки сигнала цели на фоне пассивных помех.

УДК 675.025.55

Информационные технологии при подготовке технических специалистов

Логунов Н.П.

Восточноукраинский национальный университет
имени Владимира Даля (г. Луганск, Украина)

Существующая тенденция объединения инструментов геометрического моделирования и расчетных программ в интегрированные системы недавно пополнилась фактом интеграции технологий SolidWorks и Mathcad, которая существенно расширяет возможности пользователей, сокращает цикл разработки изделия, и снижает вероятность ошибок. Интеграция доступна пользователям начиная с версий Mathcad 12 и SolidWorks 2005.

Mathcad играет роль эффективной компьютерной поддержки так как сокращается число рутинных преобразований при исследовании, при решении различных модельных обратных задач; громоздкие вычисления переданы соответствующим системам компьютерной математики; имеется возможность использования как аналитических так и числовых методов анализа. Mathcad с его естественной формой записи математических выражений позволяет использовать все многообразие накопленных инженерных методик расчета различных узлов машин. Однажды разработанная модель в Mathcad как правило дает возможность анализировать целый класс объектов. Немаловажным достоинством Mathcad является способность быстро оформлять расчеты без утомительного набора математических выражений в текстовом редакторе, легко представлять результаты в виде наглядных графиков. Визуально ориентированный язык общения системы Mathcad позволяет с помощью палитр математических объектов быстро формировать математические выражения, что резко уменьшает число ошибок при вводе с клавиатуры.

Ценным достоинством Mathcad является справочная система с примерами использования всех функций. Копирование необходимых примеров позволяет быстро и без ошибок строить сложные расчеты. Пакеты расширения позволяют на высоком профессиональном уровне решать узкоспециализированные задачи.

Разработка месторождений полезных ископаемых

**Перспективы использования отходов калийного производства
для улучшения геоэкологической ситуации
в Солигорском промышленном районе**

Кологривко А.А.

Белорусский национальный технический университет

При обогащении калийных руд образуются два основных вида отходов: твердые – галитовые и жидкие – глинисто-солевые шламы. Складирование твердых отходов калийного производства производится в солеотвалы, жидких – в шламохранилища. В настоящее время рекультивация земель, в том числе обработанных шламохранилищ, представляет собой основной комплекс работ, направленных на улучшение геоэкологической ситуации в Солигорском промышленном районе. Используются следующие направления рекультивации: использование земель под пашни, пастбища, для сельскохозяйственных, рекреационных, строительных, рыбохозяйственных целей. Для условий шламохранилищ наиболее приемлемым и эффективным является сельскохозяйственное использование.

Актуальность приобретают вопросы, связанные с разработкой новых способов складирования и использования отходов калийного производства при организации хвостовых хозяйств, позволяющих сократить рост площадей, используемых для размещения этих и других отходов химической отрасли.

Одним из таких способов может быть обезвоживание шламовых отходов и их складирование, всухую отдельно от галитовых отходов, либо совместно с галитовыми отходами.

Вторая технология представляется наиболее перспективной. Глинистые шламы и твердые галитовые отходы, сложенные совместно в отвал, во времени упрочняются, при этом возрастают как прочностные характеристики, так и устойчивость всего отвала. Если складировать отходы совместно, то оптимально с точки зрения их прочностных параметров, и объемов образуемых отходов, это смесь должна содержать порядка 17 % глинисто-солевых шламов.

Анализ физико-механических свойств отходов калийного производства по числу пластичности, характеру изменения нижнего и верхнего пределов пластичности (границ раскатывания и текучести), консистенции позволяет рекомендовать отходы для сооружения в них камуфлетных выработок, в том числе сооружаемых способом взрывоуплотнения и одновременного крепления. Выработки могут использоваться в качестве емкостей для сброса и захоронения отходов химической отрасли, что позволит улучшить геоэкологическую ситуацию в Солигорском промышленном районе.

Развитие маркшейдерского дела в Республике Беларусь

Кологривко А.А.

Белорусский национальный технический университет

С целью устойчивого развития недропользования в Республике Беларусь и обеспечения производства горными инженерами-маркшейдерами в 2011 году открыто направление 1-51 02 01-05 «Маркшейдерское дело» специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых». Подготовка осуществляется на кафедре «Горные работы» факультета горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета.

В развитии у себя маркшейдерской службы заинтересованы крупные действующие предприятия: ОАО «Беларуськалий», РУПП «Гранит», ОАО «Доломит», ОАО «Жлобинский карьер формовочных материалов», ОАО «Нерудпром», ОАО «Гомельский горно-обогатительный комбинат», ПРУП «Белорусский цементный завод», ПРУП «Кричевцементношифер», РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», РУП «Белгеология», ОАО «Мозырьсоль», ОАО «Трест Шахтоспецстрой», СКУП «Минскметрострой», другие предприятия и организации Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, Министерства архитектуры и строительства, научно-исследовательские и проектные институты, контролирующие органы, организации, регулирующие вопросы недропользования, а также учебные заведения, выпускающие специалистов горного, геодезического, строительного и геологического профиля.

Анализ деятельности предприятий и организаций показывает, что развитие маркшейдерского дела в Республики Беларусь, позволяет эффективно вести подземную и открытую разработку месторождений полезных ископаемых, разработку нефтяных и газовых месторождений, геологоразведочные работы, а также осваивать подземное пространство, не связанного с разработкой месторождений полезных ископаемых.

В ближайшей перспективе весьма актуально станет задача об организации курсов повышения квалификации маркшейдерской службы предприятий-недропользователей, а также профессорско-преподавательского состава вузов и колледжей. Развитие студенческой науки повлечет за собой организацию подготовки магистров наук в области маркшейдерии и как следствие – подготовку научных работников высшей квалификации по специальности 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр».

Оценка изменения дисперсности горной породы при ее разрушении

Федотова С.А.

Белорусский национальный технический университет

Разрушение горных пород в технологических процессах бурения, взрывания, дробления и измельчения оценивается потребленным количеством энергии и результатом ее воздействия – уменьшением размера кусков породы, т.е. увеличением степени дисперсности, которую можно оценить средневзвешенным диаметром измельченного материала d_{cp} и величиной вновь образованной поверхности S_n . Однако, при проведении исследований процессов разрушения с высокими степенями измельчения расчеты d_{cp} и S_n приводят к значительным погрешностям, которые связаны с ошибками в задании границ классов крупности, точности определения выхода каждого класса, соотношения крупных и мелких классов и др.

Из многочисленных уравнений, предложенных для выражения суммарной крупности, наибольшее признание получило уравнение Розина-Рамлера: $R = 100e^{-bd^m}$, где R – полный остаток на сите или суммарный выход класса крупности d , %; b , m – параметры, зависящие от свойств материала и размерности d . Показатель m характеризует рассеяние частиц по крупности; чем больше m , тем выше однородность материала.

Данное уравнение и известная методика определения его параметров в двойной логарифмической шкале позволяют по заданному выходу нескольких наиболее представительных классов определить выход фракций любого заданного размера. Тогда возможно более точное вычисление средневзвешенного диаметра разрушенной горной породы при большем количестве выделенных классов, что особенно важно для мелких фракций, дающих наибольшую поверхность. Величину площади вновь образованной поверхности S_n при этом следует определять не через значение d_{cp} , а в виде суммы по каждому классу крупности

$$S_n = 6 \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{d_i} - S_0,$$

где V_i – выход данного класса крупности в общем объеме измельченного продукта, d_i – средний размер кусков данного класса крупности, S_0 – исходная площадь поверхности кусков породы.

При таком подсчете ее величина может превышать значение, рассчитанное по стандартным формулам, в 5 – 10 и более раз в зависимости от выделенных мелких классов, при этом фактор вновь образованной поверхности станет преобладающим.

Энергетический подход к оценке разрушения горных пород в технологических процессах

Федотова С.А.

Белорусский национальный технический университет

Количественная оценка физико-механических свойств горных пород и руд как объектов разработки остается одной из важнейших задач горной науки. Для оценки механических свойств горных пород широко используются показатели их прочности или сопротивляемости конкретным видам разрушения. Однако в реальных технологических процессах напряжения, передаваемые породе, во много раз превышают значения прочности. В этих условиях важным становится не сам факт разрушения, который совершится неизбежно, а то количество энергии, которое надо затратить, чтобы произвести соответствующие разрушения. Поэтому критерий сопротивляемости породы разрушению должен основываться на количественных оценках переданной энергии и результате ее воздействия.

В приложении к практическим задачам анализа процессов разрушения горных пород при бурении, взрывании, механическом дроблении важную роль играет концепция квазихрупкого разрушения, согласно которой величина необратимой работы, затраченной на образование единицы площади свободной поверхности тела при развитии трещины, является постоянной материала, не зависящей от нагрузок, формы и размеров тела. Эта концепция в равной мере справедлива для анализа механизма разрушения и его последствий от атомного до макроскопического уровней. Теории хрупкого и квазихрупкого разрушения и энергетическая теория прочности получили широкое практическое применение при анализе разрушения горных пород под действием механических и взрывных нагрузок в виде законов дробления.

Предположение постоянства поверхностной энергии дает вполне удовлетворительный результат при анализе экспериментальных исследований в производственных условиях. Однако более углубленное проникновение в механизм разрушения горных пород в реальных процессах, например при взрыве, показывает, что такой подход в значительной мере условен. В горных породах затраты на образование единицы площади новой поверхности зависят от уровня разрушения. Можно предположить, что разрушение в ближайшей зоне взрыва происходит за счет преодоления энергии связей между молекулами, далее – между кристаллами, наконец, по микро- и макродефектам вплоть до преодоления сил сцепления. Следовательно, затраты энергии на образование единицы площади поверхности на всех уровнях различны.

Микроволновое воздействие на свойства воды

Поликарпова Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Микроволновое излучение относится к высокочастотному диапазону электромагнитного спектра (СВЧ-излучение). Излучение сантиметрового диапазона, длина волны которого лежит в пределах от 1 до 100 см, и, соответственно, частота составляет от 0,3 до 30 ГГц, широко применяется в современной технике (промышленные и бытовые микроволновые печи, сотовые телефоны и др.). Влияние СВЧ полей на биологические объекты до конца еще не изучены. Исследователями установлено как отрицательное, так и положительное воздействие микроволновых полей на биологические организмы. Экспериментально установлены режимы обработки, эффективные при дезинфекции семян, стимуляции роста семян, подавлении жизнедеятельности насекомых-вредителей и т.д.. Получаемый результат зависит от частоты и мощности излучения, а также от времени воздействия. Возможные эффекты микроволнового поля на растительные и животные живые клетки условно относятся к следующим типам:

Энергетическое;

Биохимическое и биофизическое;

Информационное.

Изучая механизмы воздействия микроволнового поля на биологические ткани растений, исследователи пришли к выводу, что стимуляция прорастания семян и развития растений связана с усилением питания клеточной ткани за счет улучшения транспортных свойств сети капилляров. В экспериментах проведенных нами семена (овса и подсолнечника) использовались в качестве биологических тестеров свойств воды, облученной СВЧ полем сотовых телефонов. Стекланный стакан (100мл.) наполняли водопроводной водой и помещали между четырьмя крестообразно расположенными сотовыми телефонами, которые в течение 10мин активировались в вибрационном режиме. По окончании облучения воды измеряли её температуру и рН, а затем использовали для увлажнения семян и полива появившихся проростков. Состояние экспериментальных и контрольных (обычная водопроводная вода) вариантов фиксировали визуально и с помощью фотографий. Анализ полученных величин позволяет сделать вывод, что воспринятый водой энергетический импульс СВЧ полей положительно влияет на прорастание семян и развитие растений.

Тестирование горных пород с помощью биологических объектов

Поликарпова Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

Многочисленными исследованиями установлена теснейшая взаимосвязь всех обитающих в биосфере организмов с литологическими условиями места их обитания. При этом основное внимание уделяется вещественным обменным процессам. Менее изученными являются энергоинформационные взаимодействия между минеральными составляющими биосферы, представленными различными горными породами, минералами, водой и биологическими организмами. В то же время их значимость, по мнению многих исследователей, является первостепенной.

На кафедре «Горные работы» был проведена серия экспериментов, с целью обнаружения энергоинформационных связей между горными породами и биологическими организмами. В ряде опытов исследовались полевые взаимодействия в последовательности горная порода – вода – биологический объект. Семена кабачков, дыни, овса использовали в качестве биологических тестеров наличия энергоинформационного воздействия горных пород на организмы. Образцы горных пород (12 пород различного генезиса) помещали в закрывающиеся пластиковые контейнеры так чтобы максимально заполнить их объем (0,5л). В предварительно взвешенные пластиковые стаканы одинакового объема и формы, взятые в количестве, равном числу испытуемых горных пород и контроля (пустой контейнер) наливали равное количество водопроводной воды (150 мл.). Стаканы с водой взвешивали на электронных весах, а затем размещали на заполненных породой контейнерах, которые размещались в одинаковых условиях в шкафу с закрывающимися стеклянными дверцами. Через две недели определяли величины масс испарившейся и оставшейся в стаканах воды. Существенно, что процесс испарения воды, не имеющей непосредственного контакта с породой, в различных вариантах происходил по-разному. В стандартных пластиковых поддонах размещали на фильтровальной бумаге по 50 семян тестируемых растений, увлажняли их 10 мл. воды исследуемых вариантов и помещали их на соответствующие контейнеры с породой, на которых с периодическим поливом они выращивались в течение 14 дней. Анализ показал, что длины сформировавшейся листовой и корневой систем у растений исследуемых вариантов существенно различаются, указывая на наличие стимулирующих и ингибирующих эффектов полевого воздействия пород.

Изучение предмета
«Математические методы и модели в горном производстве»
на основе информационных технологий

Шпургалов Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Современные информационные технологии позволяют предоставлять студентам большой объем информации по изучаемому предмету, причем в более комфортном и наглядном виде. Это, в свою очередь, позволяет студентам усвоить большой объем информации и приобрести дополнительные практические навыки. Поэтому разработанная и представленная в данной работе апробированная методика изучения предмета «Математические методы и модели в горном производстве» с использованием информационных технологий является актуальной научной задачей.

Данная методика предполагает использовать при реализации различных математических процедур, применяемых для построения моделей (решении уравнений, систем уравнений, дифференциальных уравнений, задач линейного программирования, интегрировании, обработке статистических данных, установлении аналитических зависимостей по результатам экспериментальных измерений, вероятностной оценке событий и др.) методов компьютерной математики на основе использования пакетов программ Excel и MathCAD. Разработано информационное, техническое, программное и организационное обеспечение методики.

Вышеназванная методика предполагает проведение занятий с использованием электронной базы данных, расположенной на сервере локальной компьютерной сети. Доступ к данным осуществляется через сетевую папку. Возможности использования базы данных у преподавателя и студентов различные, кроме того, у преподавателя имеется возможность доступа к компьютерному диску студентов, а также возможность «подменять» со своего компьютера мышку и клавиатуру на компьютерах студентов для экстренной подсказки студенту. Изучение предмета включает лекционный курс и проведение и практических занятий.

Информационное обеспечение методики включает электронные конспект лекций, учебник, методические указания по выполнению практических занятий. Программное обеспечение включает традиционные пакеты программ, в том числе и программы поддерживающие работу локальной компьютерной сети.

**Прессование торфа и бурого угля
с сельскохозяйственными отходами**

Яцковец А.И., Куптель Г.А., Головач А.А., Жульпа Е.Ю., Куприянова Е.Г.
Белорусский национальный технический университет

Вовлечение широкого диапазона местных видов топлива в решение энергетической проблемы является приоритетной задачей для Беларуси. В качестве такого сырья предлагается использовать угли белорусских месторождений. Исследования, ранее проведенные на кафедре «Горные работы», показали хорошую брикетированность бурых углей Бринёвского месторождения, сравнимую с брикетированностью торфа.

Согласно СТБ 1919-2008 «Брикеты топливные на основе торфа» могут изготавливаться торфяные брикеты марки БТ-6 из смеси торфа и сельскохозяйственных отходов в количестве 10%. Перед нами была поставлена задача: осуществить сравнительное прессование торфяных и буроугольных брикетов в одинаковых условиях с добавлением соломы.

Добавки резаной соломы, имеющей зольность 6% и влажность 4%, составляли от 5 до 25% как в торфяных, так и буроугольных брикетах. Плотность и предел прочности на сжатие полученных брикетов определяли с помощью стандартных методик.

Получены следующие результаты. Плотность торфяных и буроугольных брикетов с добавками соломы до 25% уменьшается на 8-10%, причём кривая для бурого угля лежит выше кривой для торфа. Это логично, так как насыпная плотность бурого угля более чем в 2 раза выше насыпной плотности торфа.

Нижняя кривая для торфа аппроксимируется уравнением $y = -1,48x^3 + 13,6x^2 - 48,8x + 975,4$, а верхняя кривая для бурого угля – $y = -2,07x^3 + 25,9x^2 - 115x + 1116,7$. Добавление соломы до 25% увеличивает предел прочности торфяных и буроугольных брикетов на сжатие до 4 раз. Причём кривая для бурого угля лежит значительно выше кривой для торфа и аппроксимируется уравнением $y = -0,77x^2 + 8,87x - 3,3$, а для торфа уравнением $y = -0,24x^2 + 3,06x - 1,07$.

Наши исследования показали, что существующий стандарт СТБ 1919-2008, который ограничивает количество добавляемых сельскохозяйственных отходов 10%, например соломы, может быть расширен. Это несколько уменьшает плотность получаемых брикетов, зато значительно увеличивает предел прочности на сжатие. К тому же, добавки малозольной соломы уменьшают общую зольность брикетов из бурых углей.

Схематизация фильтрации воды в горные выработки

Халявкин Ф.Г.

Белорусский национальный технический университет

Большинству фильтрационных процессов характерен неустановившийся режим, что вызывает определенные трудности в расчетах притоков воды в горные выработки. Установившийся режим фильтрации может наступить спустя некоторое время после строительства карьеров и шахт и только в условиях обеспеченного питания потока или перетекания воды через относительные водоупорные горизонты.

Безнапорные потоки обычно характеризуются нелинейностью, то есть расход потока не пропорционален напору воды и поэтому нуждается в схематизации. Под схематизацией здесь следует понимать анализ реальных природных условий и их представление в виде схем для правильного решения уравнений по расчету притоков воды в горные выработки.

Простейшим способом схематизации является представление водоносного пласта с постоянной по всей площади проводимостью. Для безнапорных потоков в однородных по проницаемости и водоотдаче горных породах, залегающих на горизонтальном водоупоре, нелинейность фильтрации можно учесть путем интегрирования дифференциального уравнения Буссинеска с предварительным разделением переменных и замене напора воды на глубину потока, а коэффициент пьезопроводности на частное от деления произведения коэффициента фильтрации и мощности водоносного пласта на коэффициент водоотдачи грунта. Тогда получим линейные уравнения для определения напоров и расходов воды, решение которых не представляет трудностей.

При подземной добыче полезных ископаемых лавами с обрушением кровли выработок над выработанным пространством формируется зона техногенной трещиноватости, высота которой зависит от мощности вынимаемых пластов и геологического строения перекрывающей эти пласты толщи. Для большинства горных пород высота зоны трещиноватости составляет в среднем $(40 - 60)t$, где t - мощность пласта вынимаемого полезного ископаемого.

Вокруг горной выработки образуется воронка депрессии симметричная оси выработки и увеличивающаяся с течением времени.

Движение подземных вод к одиночной горной выработке происходит по радиальным траекториям и поток воды из неограниченного водоносного пласта также описывается дифференциальным уравнением Буссинеска, интегрирование которого позволит получить формулы по определению водопритока в эти сооружения.

Прогнозирование сейсмического действия взрывов на гранитном карьере «Микашевичи»

Оника С.Г., Куница В.В.

Белорусский национальный технический университет

Прогнозирование сейсмического эффекта взрывов выполнено с помощью компьютеризированной системы выполнения исследовательских и проектных задач горной сейсмики. Система позволяет в созданной базе данных «параметры взрывов – параметры колебаний» по заданным ограничениям (так называемой «заявке») сформировать файл, содержащий систематизированные данные по требуемым параметрам взрывов и вызываемым им колебаниям.

Результаты моделирования сейсмического эффекта представлены в виде графика, отражающего ожидаемые амплитуды смещения грунта (мм) в зависимости от расстояния.

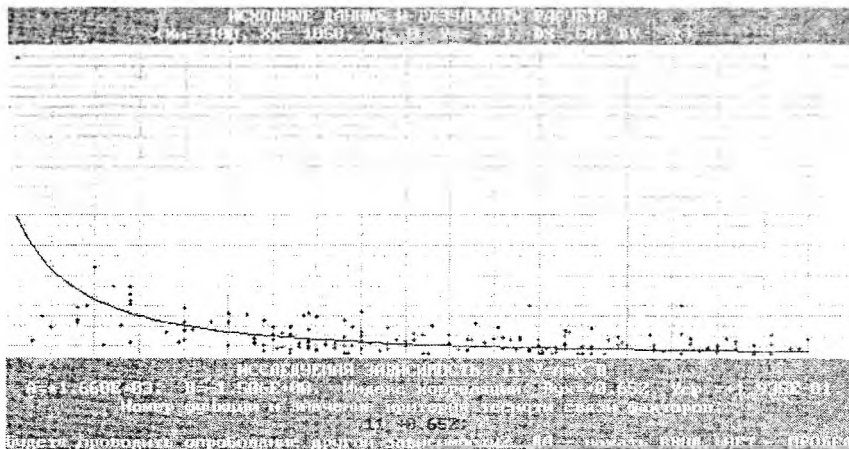


Рис. Зависимость амплитуды смещения грунта от расстояния

Из графика видно, что в диапазоне 700-900 м возможно достижение амплитуды колебаний грунта до 0,5 мм. При ожидаемой максимальной амплитуде смещений 1,5 мм на границе опасной зоны (600 м), амплитуда смещений в случае «резонанса» может достигнуть ее критической области 5... 15 мм., поэтому для защиты охраняемых объектов от сейсмических волн требуется разработка мероприятий предотвращающих их «раскачку».

Моделирование экономических последствий управления запасами сырья на горнодобывающем предприятии

Оника С.Г.

Белорусский национальный технический университет

Запасы готовой продукции определяются планом производства и служат для удовлетворения спроса на продукцию со стороны потребителей продукции предприятия. Чрезмерно большие запасы основной продукции повышают её себестоимость, так как с их ростом увеличиваются затраты на хранение. С другой стороны: предприятие при нехватке продукции несёт убытки, притекающие из-за неудовлетворённого спроса.

Для исследования факторов, определяющих оптимальный объём производства продукции, нами разработан компьютеризированная модель определения издержек, функционирующая в среде Microsoft Excel. Исследования проводились на примере комбината нерудных строительных материалов, производящего известь. Численный анализ суммарных издержек показывает, что их изменение в зависимости от объёма произведенной продукции носит экстремальный характер. Компьютерным моделированием установлено, что основными факторами, определяющими суммарные издержки и, как следствие, оптимальный запас производственной продукции является затраты на хранение продукции, вероятность спроса продукции в заданном объёме и потери прибыли из-за неудовлетворённого спроса.

Показано что с уменьшением затрат на хранение возрастает оптимальный объём производства. Наиболее сильное влияние на программу предприятия издержки на хранение оказывают при небольших значениях, а при достижении ими значений сопоставимых с потерями прибыли из-за неудовлетворённого спроса, влияние указанных издержек значительно уменьшается. Нами изучен объём производства при различных вариантах распределения спроса. Распределение спроса потребителей на товарную продукцию можно описать интегральной функцией распределения. Численный анализ показывает, что смещение моды распределения спроса на продукцию предприятия в сторону увеличения приводит к росту оптимального объёма запасов выпускаемой продукции.

Таким образом, компьютерное моделирование экономических исследований управления запасами товарной продукции позволяет определить оптимальную производственную программу горнодобывающего предприятия.

Литейное производство чёрных и цветных металлов

Формирование поверхностного слоя отливки при литье под давлением в присутствии разделительного покрытия

Пивоварчик А. А., Михальцов А. М., Чайковский Я. С.
Белорусский национальный технический университет

Известно, что если на поверхности оснастки присутствует некоторое количество разделительного покрытия, то при пластическом оттеснении материала, вызванном скольжением индентора, перед ним бежит волна пластически деформируемого металла. Царапин и задиров на поверхности металла при данном соотношении не образуется. Очевидно, аналогичные явления протекают в начальный момент перемещения более мягкой отливки относительно более твердого стержня при литье под давлением. Присутствие разделительного покрытия на поверхности технологической оснастки уменьшает глубину затекания металла в микровпадины стержня. Таким образом, разделительное покрытие способствует нивелированию рельефа поверхности стержня, заполняя при этом микронеровности на поверхности стержня и предотвращая доступ в них расплава. Это создает более благоприятные условия для пластического оттеснения металла отливки.

Экспериментально установлено, что оттеснение затекшего в микровпадины алюминия сопровождается перетеканием металла по поверхности впадины, с дальнейшим проскальзыванием сминаемого материала отливки по микронеровностям на поверхности стержня. При этом сминаемый материал отливки оттесняется в свободные зоны, которые возникают за счет литейного уклона стержня. Оттеснение затекшего металла будет происходить до тех пор, пока величина зазора между отливкой и стержнем не превысит размеров максимальных выступов на поверхности стержня. В дальнейшем отливка просто срывается со стержня.

Поверхность отливок, полученная без разделительного покрытия, имела более грубую поверхность; можно наблюдать участки возможного срезания неровностей на поверхности отливок микровыступами стержня. В то же время поверхность отливки, полученная с использованием разделительного покрытия – более гладкая.

Формирование рельефа поверхностного слоя отливки при литье под давлением в присутствии разделительного покрытия на поверхности стержня, в свою очередь, будет определяться термостойкостью используемого разделительного покрытия.

Совершенствование составов рафинирующих таблетированных препаратов

Немененок Б.М., Задруцкий С.П., Розум В.А., Бежок А.П.
Белорусский национальный технический университет

С ужесточением требований к литьим заготовкам при преимущественном их производстве из вторичных алюминиевых сплавов, вопросы совершенствования рафинирующих препаратов продолжают являться весьма актуальными.

Сотрудниками кафедры «Металлургия литейных сплавов» совместно с ООО «Промфильтр» апробирован и внедрен в производство принципиально новый способ производства рафинирующих таблетированных препаратов для обработки расплавов на основе алюминия. Традиционное прессование при изготовлении дегазирующих таблеток было заменено на спекание заформованных таблетированных препаратов в сухожаровом шкафу в течение 4 часов при температуре 300°C.

Использование данного метода позволило снизить содержание легкоразлагающихся высокотоксичных компонентов таблеток (S , C_2Cl_6 и др.) с заменой их менее вредными рафинирующими и покровными присадками (Na_3AlF_6 ; $NaCl \cdot KCl$ сплавленные и др.), а также модифицирующими солями (K_2TiF_6 ; NaF ; KBF_4 ; K_2ZrF_6 и др.), что обеспечило увеличение покровно-рафинирующей и модифицирующей способности таблетированных препаратов при сохранении их расходных характеристик и требуемого времени разложения препарата. При промышленном применении разработанного материала отмечено значительное снижение содержания алюминия в скачиваемом шлаке (в 3 раза) и повышение экологической чистоты процессов рафинирующей и модифицирующей обработок расплавов на основе алюминия при использовании таблетированных препаратов на основе серы ($75\%S + 25\%Na_3AlF_6$).

Изготовление дегазирующих таблеток методом спекания позволило полностью исключить брак по повышенному содержанию влаги в таблетированных препаратах, облегчило контроль качества таблеток, который теперь заключается в визуальной оценке цвета произведенного материала, так как просушенные и спеченные по заданному технологическому режиму таблетки имеют характерный коричневый цвет.

Разработанный препарат уже внедрен в действующие производства 5 производителей.

Металлургическая переработка лома свинцовых аккумуляторов

Довнар Г.В., Чанов А.Б.

Белорусский национальный технический университет

Свинец применяется в аккумуляторной промышленности, для защиты от рентгеновских и ядерных излучений, для кислотоупорных оболочек и футеровок, в качестве компонента для припоев и баббитов, для горячего свинцевания, чеканки и для других целей.

В металлургии вторичного свинца применяются следующие операции: восстановительная плавка шлама без или с решетками, плавка решеток в котлах и рафинирование полученных сплавов. Данные операции проводятся при температурах от 330 до 1200^oC и длятся от 1,5 часов и более.

По причинам отсутствия отечественных месторождений свинца и широкого применения свинцовой химической аппаратуры и свинцовых кислотных аккумуляторов в промышленности и быту, и учитывая недолговечность данного типа источников тока и проблемы с захоронением ввиду токсичности водорастворимых соединений свинца, имеется целесообразность переработки данного вторичного сырья свинца.

Основными направлениями переработки вторичного свинцового сырья являются пирометаллургия и гидрометаллургия. После пирометаллургии практически всегда проводится рафинирование полученного сплава.

Операциями металлургической переработки вторичного свинца являются: заготовка сырья; сортировка и разделка; плавка неокисленного лома; плавка окисленного лома; рафинирование полученного сплава; легирование сплава до требуемого состава; разливка сплава в чушку потребителям или аноды для электролиза.

Одной из проблем металлургии свинца и его сплавов является высокая жидкотекучесть свинца в процессе восстановительной плавки, что требует учёта при конструировании свинцовых печей. Также свинец в процессе плавки может окисляться и образовывать соединения и сложные комплексы с веществами в плавильном агрегате и футеровкой.

Для разливки свинцового сплава в слитки, ввиду высокой плотности и низкой температуры разливки, применяются насосы и конвейер с изложницами.

Проблемами пирометаллургического получения вторичного свинца являются оптимизация температурно-временных параметров, применение экологически безопасных флюсов и восстановителей, снижение пыле- и газообразования.

Низкотемпературный синтез литейных сплавов методом прямого восстановления кремния из металлооксидных композиций

Арабей А.В., Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Традиционно сплавы и лигатуры на основе системы алюминий-кремний получают сплавлением чистого алюминия с кристаллическим кремнием и другими присадками. Альтернативным способом получения алюминиево-кремниевых сплавов является метод прямого восстановления кремния в руднотермических электропечах большой мощности, обеспечивающих протекание высокотемпературных процессов восстановления кремния углеродом (1800 – 2200°C). Таким образом, возможность получения силумина методом прямого восстановления кремния из его оксидов алюминием при более низких температурах (до 800-900°C) в плавильных печах представляется перспективным и экономичным способом низкотемпературного синтеза этих сплавов.

Однако, несмотря на очевидные преимущества данного способа получения силуминов, научные и технологические основы низкотемпературного синтеза литейных алюминиевых сплавов методом прямого восстановления кремния из алюмоматричных композиций в настоящее время отсутствуют.

Авторами работы были изучены закономерности процесса протекания химической реакции между расплавом алюминия и оксидом кремния с использованием метода компьютерного термического анализа по температурам начала и конца фазовых превращений при затвердевании пробы расплава.

Для реализации процесса низкотемпературного синтеза литейных сплавов методом прямого восстановления кремния из металлооксидных композиций была сконструирована и изготовлена лабораторная установка, обеспечивающая приготовление алюмоматричных композиций.

В результате проводимых исследований было установлено, что алюминий интенсивно взаимодействует с оксидом кремния при использовании алюмоматричных композиций на основе алюминия и оксида кремния. Скорость протекания реакции восстановления кремния алюминием определяется химическим и фракционным составом вводимых в расплав дисперсных частиц наполнителя, температурно-временными параметрами плавки, а также состоянием поверхности раздела контактирующих фаз.

Влияние технологических параметров плавки на процесс восстановления кремния из металлооксидных композиций

Рафальский И.В., Арабей А.В.

Белорусский национальный технический университет

Сплавы на основе алюминия используются при производстве широкого ассортимента деталей в электротехнике, авиации, пищевой промышленности, в автомобилестроении, в строительстве. Наиболее широко используемыми в промышленности являются литейные алюминий-кремниевые сплавы. В последние годы наметилась тенденция к увеличению доли производства этих сплавов для получения литых изделий. В связи с этим, возможность получения силуминов методом прямого восстановления кремния из его оксидов алюминием в плавильных печах малой мощности является перспективным и экономичным способом синтеза этих сплавов.

Авторами были проведены исследования влияния технологических параметров плавки на процесс восстановления кремния из металлооксидных композиций.

Процесс получения синтетического силумина контролировали по следующим параметрам: температура перегрева расплава, температура начала и конца кристаллизации первичных и эвтектических фаз, содержание кремния, временные параметры плавки.

Химический анализ и распределение элементов в полученных сплавах проводили с использованием метода микрозондового анализа (рентгенофлуоресцентная спектроскопия) на сканирующем электронном микроскопе.

Металлографический анализ микроструктуры сплавов производили в соответствии с ГОСТ 1778-70 на оптическом микроскопе МКИ-2М-1 при увеличении от 200 до 300 крат. Приготовление шлифов осуществлялось путем механической полировки с последующей обработкой образцов в 0,5 % водном растворе HF.

В результате исследований было установлено, что при использовании алюмоматричных композиций с кремнеземсодержащими наполнителями процесс восстановления кремния определяется химическим и фракционным составом наполнителя, температурно-временными параметрами приготовления алюмоматричных композиций, количеством вводимой фракции наполнителя, состоянием поверхности раздела контактирующих фаз.

**Комплексная оценка токсичности процессов рафинирования
силуминов**

Румянцева Г.А., Задрецкий С.П., Немененок Б.М.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время почти во всех странах сохраняется тенденция к пересмотру в сторону ужесточения норм предельно допустимых выбросов в атмосферный воздух. Анализ технологии плавки алюминиевых литейных сплавов показал, что основная масса выбросов приходится на период рафинирующей обработки, когда в атмосферный воздух вместе с пылью выбрасываются хлориды, фториды, оксиды азота, сернистые соединения, диоксины и фураны. В цехах алюминиевого литья в качестве основного газоочистного оборудования используются циклоны, которые способны очищать отходящие газы только от крупных частиц и с невысокой эффективностью. Остальные газы беспрепятственно попадают в атмосферный воздух, нанося значительный ущерб окружающей среде.

В интересах сохранения природного равновесия и минимизации вреда, наносимого окружающей среде от литейного производства требуется в самые сжатые сроки решить множество экологических задач. Основными среди них должны стать: оценка фактического состояния окружающей среды, выявление путей снижения негативного воздействия на природу, реконструкция производств с учетом требований природоохранного законодательства и создание систем управления окружающей средой. К сожалению, при составлении экологических паспортов на предприятиях не всегда учитываются все компоненты выбросов, что связано с трудностью их определения и отсутствием соответствующего оборудования, а также с отсутствием информации о составе используемых материалов.

В качестве объекта исследования был выбран процесс рафинирования силуминов флюсами и препаратами разного состава. Анализировали количество пыли, хлоридов, фторидов, SO_2 , CO , NO . С учетом ставок экологического налога на выбросы в зависимости от класса опасности рассчитывали сумму экологического налога для предприятия за выбросы, образующиеся при выплавке 1000 т сплава. Учитывая стоимость рафинирующих составов, уровень свойств сплава, получаемый в результате рафинирования и сумму экологического налога, можно объективно обосновать целесообразность использования того или иного рафинирующего средства и выявить оптимальные для производства инвестиции в охрану окружающей среды.

Пути повышения эффективности модификатора для железоуглеродистых сплавов

Слуцкий А.Г., Калининченко А.С., Луцкич П.Е., Шевцов А.А.,
Кривонуст А.А.

Белорусский национальный технический университет

Анализ литературных данных и интернет источников показывает, что в настоящее время большое внимание уделяется исследованиям по применению ультрадисперсных химических соединений активных элементов для внепечной обработки жидких расплавов. Размер частиц таких нанопорошков не превышает 100 нм, и, по мнению многих исследователей, за счет уникальных физико-химических свойств они могут влиять на качество получаемых сплавов. Актуальным остается вопрос технологии ввода ультрадисперсных порошков в состав модификатора. С этой целью проведены исследования процесса кристаллизации заэвтектического алюминиевого сплава модифицированного нанопорошками с помощью компьютерного термического анализа с последующим металлографическим изучением микроструктуры образцов. Сравнительный анализ кривых охлаждения показал влияние добавок в нанопорошков нитридов и карбидов титана на характер процесса кристаллизации алюминиевого сплава. При этом наблюдается измельчение структурных составляющих модифицированного сплава.

В лабораторных условиях были получены опытные образцы модификатора на основе алюминия содержащего ультрадисперсные порошки нитрида титана и проведены испытания технологии модифицирования стали и серого чугуна. Установлено, что обработка углеродистой стали 40Л данным модификатором изменила ее перлитоферритную структуру. По мере увеличения содержания в составе базового модификатора нанопорошка балл зерна литой структуры стали возрастает. При этом отмечается более равномерное распределение включений пластинчатого и зернистого перлита. Положительные результаты получены при модифицировании серого чугуна. По мере увеличения количества вводимой присадки величина отбела по стандартной клиновой пробе линейно снижается, а за счет перераспределения соотношения перлита и феррита в металлической основе снизилась твердость чугуна с 255Н_Т до 234НВ. Металлографические исследования полученных образцов показали влияние вводимых в модификатор нанопорошков на характер формирования в структуре чугуна графитной фазы.

Исследование процесса получения лигатур из восстановительных смесей на основе соединений тугоплавких элементов

Слуцкий А.Г., Андриц А.А., Билиба Н. Э.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящих исследований является изучение процесса получения слитков из сплава Co-Cr-Mo специального назначения. Одним из методов извлечения легирующих элементов из соединения является металлотермическое восстановление.

Данный процесс широко используется в металлургии для получения ферросплавов из трудновосстанавливаемых элементов. Реакция сопровождается выделением значительного количества тепла, за счет которого обеспечивается формирование слитка восстановленного металла либо сплава.

Были проведены термодинамические расчеты термичности восстановительных смесей на основе оксидов хрома, молибдена и кобальта и на их основе подобраны составы шихты для получения слитков чистого хрома, а также лигатур хром-молибден и хром-кобальт.

Провели эксперименты и исследовали характер протекания восстановительной реакций в зависимости от соотношения в составе смеси оксидов хрома, молибдена и кобальта. Это позволило оптимизировать состав шихты, обеспечивающий активное протекание реакции, с максимальным металлургическим выходом получаемого слитка.

Установлено, что при содержании в смеси до 30% оксида молибдена из-за недостаточно высокой термичности процесс протекал не активно, что не позволило получить компактный слиток лигатуры. И только при добавках в смесь от 40-50 % оксида молибдена процесс восстановления протекал активно, что обеспечило достаточно высокий металлургический выход.

При дальнейшем увеличении в составе смеси оксида молибдена реакция протекала очень бурно, с выбросами продуктов реакции за пределы тигля. Оптимальное соотношение оксида хрома и оксида молибдена в смеси, обеспечивающее максимальный металлургический выход составляет 50:50%. Аналогичные результаты достигнуты и по процессу получения лигатуры хром-кобальт.

Изготовленные по такой методике чистый хром и лигатуры на его основе, содержащие кобальт и молибден, могут быть использованы в качестве шихты для последующего переплава, например, на электронно-лучевой установке в заготовки нужного размера.

Исследование влияния модификаторов эвтектики силуминов на процесс образования усадочных дефектов при затвердевании

Лущик П.Е. Рафальский И.В.

Белорусский национальный технический университет

Целью работы является проведение исследований по влиянию модификаторов эвтектики силуминов на процесс образования усадочных дефектов при затвердевании с использованием методов:

- компьютерного термического анализа и имитационного моделирования процесса затвердевания с использованием программного пакета ProCAST.

Склонность сплава к образованию усадочных дефектов (раковин и пористости) определялась на технологических пробах – небольших отливках, имеющих форму усеченного конуса или шара.

В качестве исходного сплава использовался силумин с содержанием кремния – 13%, модификаторами служили: а) титан (в лигатуре Al-5%Ti), б) натрий (в виде универсального флюса с составом 50 %NaCl, 30 % NaF, 10%KCl 10 % Na_3AlF_6), в) стронций (в лигатуре Al-5%Sr), г) сурьма (в чистом виде). д) фосфор (в лигатуре Cu-8%P), е) наночастицы углерода (фуллерены – в виде фуллеренсодержащей сажи).

Сплавы готовились в муфельной печи с температурой ввода модификатора в расплав 800 °С.

Данные компьютерного термического анализа (температуры ликвидус и солидус, зависимость количества твердой фазы от температуры) импортировались в систему имитационного моделирования литейных процессов ProCAST для анализа влияния модификаторов на процесс образования усадочных дефектов.

Анализ результатов исследований показал, что из исследованных модификаторов (Ti, Sb, Sr, P, Na, фуллерены) только титан не оказывает заметного влияния на положение зон образования усадочных дефектов, что согласуется с теоретическими представлениями о модифицировании титаном силуминов, так как микродобавки титана не влияют на эвтектическую кристаллизацию.

Сурьма и стронций оказывают схожее влияние на кристаллизацию эвтектики Al-Si и рассеивают усадочную пористость в образце.

Натрий, фосфор и наночастицы углерода увеличивают зону усадочной пористости в осевом направлении.

Учет газовой составляющей при моделировании литья под давлением с использованием ProCAST

Михальцов А.М., Субота А.А.

Белорусский национальный технический университет

Любая самая сложная литейная моделирующая программа всегда содержит определенные упрощения и ограничения по сравнению с реальным многофакторным и разномасштабным процессом формирования отливки.

Математическая модель ProCAST прогнозирует усадочную пористость и микропористость образующуюся при выделении газа по закону Сивертса. Использование таких моделей приемлемо при гравитационном литье, при литье же под давлением такие модели не отражают реальную картину. Выделение газов возможно только в тепловых узлах отливки, затвердевание которых происходит после затвердевания питателя. При этом необходимо также учесть, что в момент затвердевания питателя в отливке присутствует избыточное давление, а газы из металла могут выделяться только при определенно невысоком давлении (атмосферное и ниже). На компенсацию этого избыточного давления усадкой необходимо определенное время, что приведет к еще большему сужению зоны действия закона Сивертса. По нашему мнению гораздо большее значение на формирование пористости при литье под давлением оказывает газ, захваченный металлом при заполнении полости формы.

В результате расчета в модуле АРМ был получен объем пористости $184.5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$. Это объем усадочной пористости. Для этой же отливки были произведены расчеты выхода газов через вентиляционные каналы, с целью определения максимально возможного выхода газов из полости формы. После того как была определена масса оставшегося в полости формы газа, она была переведена в объем при температуре затвердевания и приложенном давлении подпрессовки. Расчет производился для двух характеров заполнения прессформы: по принципу минимального и максимального трения. При заполнении формы по принципу минимального трения объем газов, оставшихся в затвердевшем металле при действующем давлении подпрессовки составил $81.2 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$; при заполнении по принципу максимального трения – максимальное трение – $65.4 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$. Эти цифры показывают то, что процесс выхода газов из полости прессформы нельзя игнорировать даже в идеальном случае (полость формы заполняется последовательно от промывника к вентиляционному каналу), и это должно найти свое отражение при моделировании процессов литья под давлением.

**Порошковая металлургия,
сварка и технология
материалов**

Особенности классификации сварных швов согласно требованиям современных международных и европейских стандартов

Жизняков С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Швы сварных соединений, получаемых сваркой плавлением, согласно ГОСТ 2601-84 «Сварка металлов. Термины и определение основных понятий» классифицируются по ряду признаков, в т.ч. по типу соединения: стыковые швы отнесены к стыковым сварным соединениям, угловые – к угловым, нахлесточным и тавровым соединениям (швы торцовых соединений и точечные швы вообще не упоминаются).

Однако подобную классификацию сварных швов нельзя признать корректной. Так, швы тавровых соединений с разделкой кромок по конструктивному оформлению, технике и технологии сварки, а также методу расчета на прочность аналогичны стыковым швам стыковых соединений с разделкой кромок, а угловые швы стыкового сварного соединения без разделки и скоса кромок элементов неодинаковой толщины – угловым швам тавровых и угловых соединений без разделки кромок.

Предлагается швы сварных соединений классифицировать не по типу соединения, а по расположению поперечного рабочего сечения шва относительно свариваемых элементов. В этом случае с т ы к о в ы м и швами всех типов соединений, кроме нахлесточного, следует считать сварные швы, образующиеся при расплавлении металла по толщине одного или обоих свариваемых элементов, при этом поперечное рабочее сечение шва находится в пределах их первоначальных очертаний. У г л о в ы м и швами всех типов соединений – сварные швы, образующиеся при заполнении двугранного угла между соединяемыми элементами, при этом поперечное рабочее сечение шва находится главным образом за пределами их первоначальных очертаний. Швы, рабочие сечения которых содержат признаки как стыкового, так и углового швов, следует относить к к о м б и н и р о в а н н ы м швам. Т о ч е ч н ы е швы - к сварным швам нахлесточных соединений, поперечное рабочее сечение которых расположено в виде отдельной точки в плоскости параллельно соединяемых элементов.

Близкая концепция по предлагаемой классификации сварных швов наблюдается в стандартах ISO 17659: 2002 «Сварка. Многоязычные термины сварных соединений с иллюстрациями» и СТБ ИСО 17659-2005 «Сварка. Сварные соединения. Термины и определения».

Методы контроля качества и технологии сварки на объектах атомной энергетики

Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А., Снарский А.С.
Белорусский национальный технический университет

Развитие атомной энергетики представляет для Беларуси повышенный интерес и в текущем году с финансовой и технической помощью России. планируется начало строительно-монтажных работ Белорусской АЭС.

Ввиду отсутствия в Республике Беларусь какой-либо нормативной базы в области контроля качества и сварочных технологий на объектах атомной энергетики перспективным направлением исследований является разработка собственных руководящих документов, гармонизированных с российским нормам, действующими европейскими и международными стандартами с учетом современных научных направлений в области сварки и неразрушающего контроля.

В области контроля качества сварных соединений и наплавов основными правилами являются: ПН АЭ Г-7-010-89 (стали, железоникелевые сплавы) и ПН АЭ Г-7-023-90 (алюминиевые сплавы); ПН АЭ Г-10-32-92 (локализирующие системы безопасности), а также унифицированные методики контроля: визуальный и измерительный контроль (ПН АЭ Г-7-016-89); капиллярный контроль (ПН АЭ Г-7-018-89); магнитопорошковый контроль (ПН АЭ Г-7-015-89); контроль герметичности - газовые и жидкостные методы (ПН АЭ Г-7-019-89); радиографический контроль (ПН АЭ Г-7-017-89), ультразвуковой контроль включая: контроль основных материалов (полуфабрикатов) (ПНАЭ Г-7-014-89), контроль сварных соединений и наплавки (ПНАЭ Г-7-030-91), измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий (ПНАЭ Г-7-031-91), контроль сварных соединений из стали аустенитного класса (ПНАЭ Г-7-032-92).

В области сварочных процессов и наплавки (по объектам соответствуют основным правилам контроля) основными технологическими руководящими документами (правилами) являются: ПН АЭ Г -7-009-89; ПН АЭ Г-7-022-90; ПН АЭ Г-10-31-92; ПН АЭ Г-7-003-87(Правила аттестации сварщиков).

Разработка на базе данных правил руководящих производственно-технических и методических документов, адаптированных к оборудованию Белорусской АЭС, позволит обеспечить строительно-монтажные и эксплуатационные организации, надзорные органы, отвечающими современному уровню методами и методиками контроля качества, передовыми технологиями сварки.

**Технологии сварочных работ при изготовлении
вентиляционных систем**

Пантелеенко Ф.И., Писарев В.А.

Белорусский национальный технический университет

В соответствии с СТБ 1915 воздуховоды подразделяются по классу плотности на плотные (П) и нормальные (Н), по способу изготовления на фальцевые (Ф) и сварные (С).

При изготовлении воздуховодов и фасонных частей стальные листы сваривают внахлестку, встык или по отбортовке контактным методом на роликовых шовных машинах.

Конструктивные элементы и размеры сварных соединений должны соответствовать требованиям ГОСТ 5264; ГОСТ 14771; ГОСТ 15878, быть плотными, не иметь дефектов типа трещин, пористости, прожогов и непроваров. Коробление сварных воздуховодов и фасонных частей не должно превышать 5мм на 1000мм длины.

Таким образом при изготовлении сварных воздуховодов ТНПА регламентировано применение следующих способов сварки: ручная дуговая покрытыми электродами, механизированная в защитных газах плавящимся электродом, контактная сварка.

Применение указанных видов 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 требований по величине короблений и деформациям

Наиболее перспективными и актуальными методами соединения тонколистовых элементов с цинковым защитным покрытием являются адаптивные процессы сварки типа сварка-пайка с применением современного инверторного оборудования для механизированной сварки в защитных газах плавящимся электродом и специальных марок сварочных проволок.

Адаптивные сварочные процессы позволяют формировать соединение элементов воздуховодов на уровне паяного при плавлении сварочной проволоки за счет сварочной дуги, обеспечивая при этом, достаточно высокие прочностные показатели и качество наплавленного металла, формирование необходимого соединения, исключение выгорания защитного цинкового покрытия в зоне сварки, минимизацию короблений и деформаций свариваемых конструкций.

Получение прокаткой двухслойных лент при регламентированном относительном движении свариваемых слоев

Шиманович И.М., Шиманович О.А.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является исследование способа получения двухслойных металлических лент путем совместной пластической деформации между вращающимися валками с заданной скоростью относительного перемещения слоев.

В этом случае металлические ленты подаются в зону деформации между вращающимися валками, причем скорость движения лент относительно друг друга различна. За счет сил трения, возникающих между лентами в процессе пластической деформации, происходит быстрый разогрев соприкасающихся поверхностей до высоких температур. При выходе из очага деформации скорости лент выравниваются, в результате, после охлаждения образуется двухслойное сварное соединение металлического материала.

Образование соединения в твердой фазе объясняется механизмами пластической деформации и сварки, согласно которым элементарные акты пластической деформации и диффузии осуществляются одним и тем же путем – последовательным перемещением атомов. Таким образом, пластическая деформация приводит к интенсификации процесса перемещения атомов, как в объеме металла, так и на его поверхности, что способствует их диффузионному перемещению, а при совместной пластической деформации разнородных металлов – взаимному внедрению этих атомов. Следует также отметить, что кроме нагрева за счет сил трения поверхностный слой металла находится под действием значительных касательных напряжений, что также способствует интенсификации сварки.

На первой стадии процесса образования соединения, за счет сил трения осуществляется нагрев лент с удалением контактирующих жировых, водяных и оксидных пленок, а также подготовка поверхности металла к образованию активных центров. Далее идут стадии образования физического контакта за счет сближения контактирующих поверхностей металла в результате приложения внешнего усилия, активации контактных поверхностей и объемного взаимодействия. При этом интенсивный сдвиг на поверхности лент способствует значительному растеканию металла в месте соединения. Это способствует дополнительному разрушению и выносу оксидных пленок из зоны контакта, сглаживанию поверхностных микронеровностей и образованию активных центров схватывания.

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время для получения переходников сварных соединений разнородных материалов находят применение разнообразные способы сварки. Наибольшее распространение получили: холодная сварка, диффузионная сварка, сварка трением и взрывом, различные виды контактной сварки и другие методы. Одним из возможных способов получения переходников из разнородных материалов для сварных соединений типа «алюминий–переходник–сталь» является сварка взрывом.

При сварке взрывом происходит образование металлических связей по дислокационному механизму. Активация процесса образования металлических связей связана с интенсивностью совместной пластической деформации поверхностных слоёв металлов, которая определяется скоростью распространения пластической деформации и её величиной, а также величиной давления в зоне соударения. Металл приобретает совершенно особые свойства текучести, во многом уподобляясь жидкости.

Любая пластическая деформация сильно увеличивает количество микродефектов, поэтому сварные соединения, получаемые сваркой взрывом, имеют разный, ярко выраженный структурный характер. Свариваемая поверхность пересыщена закреплёнными дислокациями. Более глубокие микроскопические слои при таком пластическом деформировании, наоборот, становятся близкими к бездефектному кристаллическому строению, т.к. подавляющее большинство точечных макродефектов залечивается, а дислокации в значительной мере аннигилируют, восстанавливая идеальное строение. Прочностные свойства соединения возрастают за счёт сверхвысоких ударных давлений.

Сварка взрывом обеспечивает:

– мгновенное образование сварного соединения за счёт металлических связей при пластическом деформировании поверхностей без протекания диффузионных процессов и без образования хрупких интерметаллидов;

– получение соединений типа «алюминий–переходник–сталь» с весьма высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Результатом исследований явилась разработка технология контактной точечной сварки разнородных материалов типа «алюминий–сталь» с использованием переходников, изготовленных сваркой взрывом.

Качество сварных соединений обеспечивается правильно подобранным режимом сварки. Соединения выдерживают любую механическую и термическую обработку.

**Практические примеры использования комплексной методики
оценки состояния сварных металлоконструкций**

Снарский А.С.

Белорусский национальный технический университет

Вопросы обеспечения надежности и безопасности при эксплуатации различных металлоконструкций с каждым годом становятся все более актуальными, особенно для Республики Беларусь, что связано с прогрессирующим старением металла, т.к. большое их количество эксплуатируется длительное время (более 30 лет). Указанная проблема актуальна для различного технологического оборудования и конструкций, магистральных трубопроводов, крановых и мостовых конструкций и т.п. Общим для всех указанных объектов является необходимость в максимально объективной и, по возможности, неразрушающей оценке их фактического состояния. Нами разработана комплексная методика оценки состояния различного металлического оборудования и конструкций. Указанная методика включает следующие обязательные методы именно неразрушающего контроля:

1-й метод – метод определения фактического напряженно-деформированного состояния стальных ферромагнитных изделий – магнитный метод контроля по коэрцитивной силе (позволяет выявить наиболее критические «слабые» места конструкции);

2-й метод – метод определения основных характеристик механических свойств металла, в основе которого лежит установленная и подтвержденная экспериментально для ряда конструкционных сталей взаимосвязь между геометрическими параметрами отпечатка пирамидального индентора на поверхности изделия и основными характеристиками механических свойств материала после определения твердости по Виккерсу;

3-й метод – левая металлография (позволяет выявить аномалии структуры металла непосредственно на конструкции за счет применения переносного микроскопа).

Полученные методологические подходы были использованы и доказали свою эффективность при выполнении ряда работ по расследованию причин разрушений на ряде ответственных конструкций, в том числе и по заказу Госпромнадзора МЧС Республики Беларусь (крановые конструкции, баллоны, емкости, железнодорожные вагоны-цистерны). В настоящее время идут работы по адаптации методики к контролю состояния ответственных конструкций теплоэнергетического оборудования.

Саморегулирование и самоподдержание параметров процесса образования сварного соединения при сварке трением

¹Дьяченко В.И., ²Радюк С.О.

¹Белорусский национальный технический университет

²РУП «Минский тракторный завод»

Минский тракторный завод работает в этой области с 1956 года. В СССР вопросы сварки трением занимались также ВНИИЭСО, ИЭС им. Е. О. Патона, Челябинский КТИАМ. ВНИИЭСО разработал ряд универсальных машин сварки трением МСТ-23, МСТ-35, МСТ-41, МСТ-51. Производство всей гаммы машин было передано Волковысскому заводу литейного оборудования. Минский тракторный завод пошел по пути создания специализированных, не требующих переналадки режимов, машин сварки трением.

За рубежом в этой области продолжают работать в основном 3 фирмы: «KUKA» (ФРГ), «NEI Thompson» (Англия), «Caterpillar Tractor Co» (США), поставляющие специальные машины по заказам.

Основными параметрами процесса сварки трением являются:

- скорость относительного скольжения по наружным волокнам свариваемых деталей v (или частота вращения n).

- давление при нагреве p_n .

- величина осадки при нагреве Δl – (или время нагрева t_n).

- давление проковки $p_{пр.}$.

Минский тракторный завод первым, ещё в 1963 году, ввёл в конструкции своих машин сварки систему гидравлического привода создания в стыке усилия до 20,0 и более тонн.

При сварке трением заготовок роторов газовых турбин для системы «*турбонаддува*» дизельных двигателей усилие в свариваемом стыке назначалось в соответствии с давлением, рекомендованным при использовании машин с пневмоприводом, и обеспечивало необходимую степень пластической деформирования более податливого металла, в то время, как более прочный металл не деформировался.

Повышение давления до величины, необходимой для пластического деформирования более прочного металла, приводило только к увеличению скорости осадки менее прочного металла, но не обеспечивало достижения пластического состояния более прочного металла.

В результате проведенных исследований подтверждено и исследовано явление саморегулирования и самоподдержания параметров процесса образования сварного соединения по «принципу противодействия» в гидросистеме привода создания усилия сжатия свариваемых деталей.

Электронно-лучевая сварка материалов для деформирующего инструмента

Горанский Г.Г., Юревич С.В.

Белорусский национальный технический университет

Одним из важных достоинств электронно-лучевой сварки (ЭЛС) является возможность получения соединений из разнородных сталей. Такие соединения находят применения во многих областях промышленности. Перспективным является их использование и в машиностроении, в частности при изготовлении деформирующего инструмента.

Деформирующий инструмент, воздействующий на заготовку, испытывает малые упругие деформации при пластическом деформировании заготовки. В наиболее тяжелых условиях работает инструмент для горячего формообразования, при котором горячий металл соприкасается с материалом инструмента и нагревает его, причем нагрев постоянно чередуется с охлаждением. Эффективность использования таких методов формообразования зависит от долговечности инструмента. Использование конструкции со вставками из материалов с высокими свойствами термостойкости и износостойкости является одним из возможных путей повышения данной проблемы. Исследована возможность получения ЭЛС соединения быстрорежущей стали Р6М5 со сталью 40Х. ЭЛС обеспечивает получение узкого шва с практически параллельными границами. При полном проплавлении образцов (20 мм) ширина сварного находится в пределах 2-2,5 мм. Для сварного шва характерно повышение значений твердости до 900-950 НV, в зоне термического влияния обеих сталей наблюдается плавное ее снижение до значений 300-350 НV. Увеличение твердости обусловлено образованием закалочных структур из-за высоких скоростей охлаждения расплавленного металла. Структура шва представлена двухфазной структурой из мартенситных образований, окруженных сеткой мелкодисперсных карбидов.

После последующей термообработке сварного узла по стандартному режиму для стали Р6М5 твердость стали Р6М5 увеличиваются до значений 600-750 НV, что соответствуют величинам, которые придаются стали для использования в качестве инструмента. Твердость сварного шва снижается до значений 750-800НV. Твердость стали 40Х остается на прежнем уровне. Морфология шва 40Х - Р6М5 представляет собой двухфазную структуру на основе мартенситных образований окруженных сеткой карбидов. Структура ЗТВ стали Р6М5, как и в случае сварного шва без последующей закалки, представлена мартенситными образованиями.

Numerical simulation of welding distortion in thin plates from austenitic stainless steels and application of thermal method for control of distortion

Panteleenko F.I., Afshin Heidari Monfared
Belarusian National Technical University

After completion of welding, tensile residual stresses near the weld zone develop to balance with compressive residual stresses away from weld zone. For the plate thinner than 4 mm, this fact and low stiffness of material causes buckling distortion. In the austenitic stainless steels due to lack of phase transformation, shortening in the welding zone is more than structural steels. This shortening causes more tensile stresses and more deformation after welding. On the other hand thin plates from stainless steels widely use in different branch of industrial. For control and minimization of buckling distortion a lot of experimental efforts should be used and some methods should be applied in the manufacturing of equipment on which thin plates are used. Thermal tensioning method is in the base of heating of base metal during welding in very sensitive time, temperature and width of heating. Application of this method in welding of thin plates is very suitable. The compare of another methods, this method is very economic. In this technique, heating produces tensile stresses in direction parallel to seam. So metal undergo to welding expands more freely. Tensioning of metal during welding, final length of plate in direction of welding is more than typical welding. So tensile residual stresses and also corresponding deformation will be decreased. On the other hand control of different parameters of this method is very difficult. For example, temperature and time of heating is very critical parameters in this method. Heating in more than allowable temperature causes plastic deformation in the zone of heating. Experimental tests always very expensive specially in austenitic stainless steels. On the other hand with change in the relation between length and width of plate, adjustment parameters of this method should be changed. In two past decades computational methods for simulation of welding were developed. Finite element method is very powerful method for simulation of welding processes. Numerical modeling of welding in thin plates can predict final deformation of plate after completion of welding and cooling. On the other hand different parameters of thermal tensioning method, may be change very easily for minimization of less deformation after welding. In this research for confidence of numerical model at the first step with use of SYSWELD program, final deformation of plate with 1mm thickness was simulated and angular distortion and longitudinal bending were compared with experimental test. At the second step with adjusting of parameters of thermal tensioning method for numerical simulation, final deformation and residual stresses were decreased.

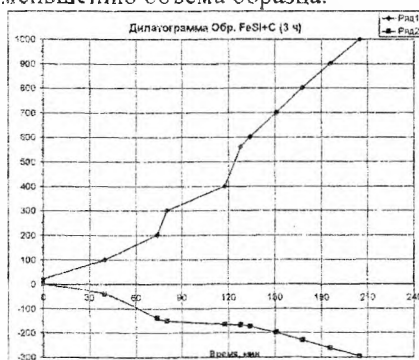
Спекание порошков-композитов на этапе упругой подпрессовки

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Ковалевская А.В.,
Жук А.Е., Рудькевич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Моделирование процесса спекания уплотненной заготовки из металлических порошков с графитовым нанопокрывтием осуществляли нагревом в dilatометре с изотермической выдержкой при температуре активированного спекания углерода 1000 – 1200°C. Dilатометрические исследования выполняли на dilatометре «Netzsch 402 E» (Германия). Dilатограммы записывали со скоростью нагрева 5 град/мин.

Для отработки технологии получения композиционных материалов изучали базовые процессы формирования каркасной структуры графита и карбида кремния на модельном материале – частицах силицида железа (30% Si) с округлой формой с размером частиц 20 – 60 мкм и частицах нержавеющей стали округлой формы с размером частиц 60 – 80 мкм. Для устранения контакта между частицами, их покрывали слоем никеля толщиной до 40 - 60 нм. Из dilatограммы (рисунок 1) видно, что в интервале температур 200 – 300°C происходит интенсивное выгорание технологической связки, используемой для формовки порошка, а в интервале температур 300 – 400°C – удлинение (усадка) образца практически не наблюдается. В интервале температур 400 – 600°C наблюдается взаимодействие графита покрытия с силицидом железа с образованием на поверхности α – SiC. В температурном интервале 600 – 1000°C происходит интенсивная усадка образца за счет деформации графитового покрытия и увеличения плотности графита, роста карбидов, что способствует уменьшению объема образца.



Дилатограмма порошка силицида железа с покрытием графитом

Зависимость плотности керамики на основе нитрида кремния после азотирования от размера частиц порошка

¹Голубцова Е.С., ²Каледина Н.Б., ¹Нисс В.С.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет

Одним из наиболее технологичных и распространенных методов изготовления керамических деталей является реакционное спекание, заключающееся в азотировании спрессованных заготовок, при котором совмещаются процессы образования нитрида кремния и его спекания. Так как характер азотирования порошков кремния и спрессованных изделий практически одинаков, то все требования к исходным компонентам (химический состав и дисперсность порошка кремния, примеси в азоте), каталитическим или активирующим добавкам, в равной мере относятся и к процессу реакционного спекания. Исследовали зависимость плотности керамики (y_2) от размера частиц порошка (y_1). Азотирование проводилось при температуре 1390 °С в атмосфере $N_2 + 5\%H_2$.

Полученные данные представлены в таблице.

	Размер частиц порошка, мкм	Состав смеси	Плотность, г/см ³
1	0,433	5%Y ₂ O ₃ - 1,5%MgO - Si	2,2854
2	0,473	5%MgO - Si	2,1501
3	0,675	10%MgO - Si	2,1278
4	0,912	7%MgO - Si	2,1340
5	0,938	10%Y ₂ O - 3%MgO - Si	2,1977
6	1,084	5%Y ₂ O ₃ - 1,5%MgO - Si	2,0304

Связь между размером частиц и плотностью можно выразить уравнением

$$y_2 = \gamma, \text{ г/см}^3 = 2,319 - 0,216y_1, \text{ где } y_1 - \text{размер частиц, мкм.}$$

Это уравнение адекватно ($F_p = 11,3 < F_{кр} = 11,39$ при $\alpha = 0,01$; $f_1 = 4$ и $f_2 = 5$ при ошибке воспроизводимости $S_2 = 0,0211$ (6% от средней величины плотности $\bar{y}_2 = 2,1542$ г/см³). Анализ уравнения (1) показывает, что с ростом размера частиц порошка (y_1) плотность керамики после азотирования уменьшается (с 2,2854 до 2,0304 г/см³).

**Оценка возможности использования гартцинка
для термодиффузионного цинкования**

¹Урбанович Н.И., ¹Комаров О.С., ¹Волосатиков В.И., ²Лецко А.И.,
¹Нисс В.С., ¹Григорьев С.В.

¹Белорусский национальный технический университет

²Государственное научно-производственное объединение порошковой
металлургии

Целью являлось исследование возможности использования гартцинка в составе порошковой композиции вместо порошка чистого цинка для термодиффузионного насыщения стальных изделий.

При исследовании процесса цинкования с использованием сред на основе системы гартцинк + оксид алюминия массовую долю порошка гартцинка изменяли от 20% до 99%. В качестве активатора использовали 1% хлористого аммония. Для сравнения характера изменения структуры, толщины, микротвердости фазовых слоев использовали результаты исследования покрытий образцов, полученные методом термодиффузионного цинкования в порошковой насыщающей среде на основе системы $Zn + Al_2O_3$. Процесс насыщения образцов проводили в течение 4 часов при температуре 450°C. Для оцинкования использовали образцы из стали Ст3.

Исследования показали, что повышение содержания гартцинка в смеси приводит к увеличению толщины покрытия от 40 до 110 мкм. Формирующиеся слои состоят из ξ -, σ - и Γ -фаз, которые характерны и для оцинкованных поверхностей в порошковых средах на основе системы $Zn + Al_2O_3$. Установлено, что увеличение толщины покрытий в порошковой среде на основе гартцинка происходит медленнее, чем в порошковой среде на основе цинка. При увеличении количества гартцинка в смеси от 20% и выше, толщина диффузионного слоя превышает увеличение размера образца, т.е. наблюдается процесс роста слоя во внутрь образца. У образцов, полученных в смесях с цинком, значение толщин слоев соизмеримы с увеличением размеров образцов. ДюрOMETрический анализ покрытий показал, что микротвердость в отличие от покрытий, полученных в смесях на основе цинка, выше и составляет 340-450 кгс/мм² на поверхности и 480-500 кгс/мм² для Γ -фазы.

Таким образом, показана возможность применения гартцинка в составе порошковой композиции для термодиффузионного насыщения стальных изделий. Разработка технологии нанесения цинкового покрытия на базе смесей, содержащих гартцинк, позволит снизить стоимость смеси и обеспечить рециклинг отходов цинка в промышленный оборот.

Термомеханическая обработка графита в покрытиях порошков железа, кобальта, никеля

Григорьев С.В., Жук А.Е., Ковалевская А.В.
Белорусский национальный технический университет

Тонкопленочные графитовые покрытия получали магнетронным распылением охлаждаемых графитовых катодов, представляющих собой высокоплотный графит с гексагональной решеткой, который содержал до 7% орторомбического углерода (графита), при использовании в качестве плазмирующего газа аргона при давлении 3,5 Па, низких значениях вольтамперной характеристики разряда $U = 0,6\text{кВ}$, $I = 0,6\text{А}$, и силе тока в индукционной катушке $I_k = 0,7\text{А}$, что обеспечивало низкие температуры осаждения углеродного конденсата.

Термомеханическая обработка предусматривает воздействие на покрытие изотермического нагрева и внешней нагрузки, что создает условия ползучести при высоких температурах и деформациях, обеспечивая формирование более плотной структуры графита. Конструкция материала – композита состоит из металлических микрочастиц с графитовым покрытием, которые спекаются в вакууме. Температура и интенсивность спекания композита обусловлены взаимодействием нанослоев графита в зоне контакта. При нагреве металлические частицы с покрытием подвергаются термическому расширению. С ростом температуры до 1200°C коэффициент линейного термического расширения (КЛТР) частиц железа ($\lambda = (10,6 - 12,1) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$) увеличивается интенсивнее, чем у графита ($\lambda = (0,6 - 4,3) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$). Разница КЛТР приводит к деформации графита сдвигом по плоскостям решетки со слабыми силами Ван – дер– Ваальса. Выдержка металлов с покрытием при высоких температурах вызывает высокий уровень растягивающих напряжений и пластическую деформацию графита, связанную с явлением ползучести. Механизм ползучести графита включает разрыв периферийных связей С – С и скольжение кристаллов друг относительно друга с восстановлением этих связей при новом положении кристаллов. При этом энергия активации ползучести (420кДж/моль) близка к энергии связи С – С (360кДж/моль). Низкие значения энергии активации при небольших деформациях обуславливают дислокационный механизм проскальзывания дислокаций в тонкопленочных углеродных покрытиях. Влияние процессов деформации графита при температурном расширении частиц основы в интервале температур активированного спекания углерода на структуру графита оценивали с помощью дилатометрических испытаний уплотненного образца из порошков – композитов.

Особенности подготовки шихты на основе вольфрамсодержащих отходов для изготовления заготовок правящих фильер

Афанасьев Л.Н., Горанский Г.Г., Нисс В.С.

Белорусский национальный технический университет

Исследовано влияние технологических параметров диспергирования в аттриторах (массы размольных тел M и шихты m , объем рабочей камеры V , скорость вращения импеллера v , время помола t) на интенсивность измельчения твердосплавной стружки, являющейся частью отходов РУП БМЗ. Элементный состав исходного материала соответствует сплаву ВК6.

Стружка (начальные размеры 3-6 мм) начинает дробиться уже через 5 мин. помола в ацетоне. Гранулометрический состав шихты в зависимости от режимов измельчения приведен в таблице.

Таблица – Гранулометрический состав шихты ВК6

V, л	M, кг	m, кг	v, об/мин	t, час	Грансостав, г			
					-40	+40-63	+63-94	+94
4,5	10	1	350	1	690	70	130	70
			250	0,5	170	50	70	700
			250	1	330	150	50	450
40	30	6	190	2	850	670	1130	3270
			190	2,5	1400	850	1270	2410
			250	1,5	2550	900	830	1630
			500	1,5	4560	410	450	520

Помол шарами из стали ШХ15 сопровождался равномерным нарастанием содержания в шихте железа (до 2,6 вес.%), чего не происходило при использовании шаров из ВК4 (диаметр 6-8 мм). Окисления шихты в процессе диспергирования не зафиксировано. Форма частиц – осколочная. После сушки полуфабриката в него вводили до 5 вес.% порошка бронзы БрОФ10-1 с размером частиц -40 мкм. Сухой помол в течение 0,5 часа сопровождался измельчением частиц бронзы до 2-5 мкм и плакированием ими поверхности частиц ВК6 (средний размер последних при этом практически не менялся). Степень плакирования составляла до 38%. Толщина слоя – 2-4 мкм. Разделения частиц со временем не происходило.

Полученные порошки спекали электроконтактным методом. Плотность спеченного материала $14,6 \text{ г/см}^3$, твердость HRA 84,5, работа разрушения 28 МДж/м^3 . Режимы спекания не оптимизированы, однако уже достигнутый уровень свойств материалов доказывает перспективность их промышленного использования, в частности, при изготовлении фильер для правки строительной арматуры.

Пористые проницаемые материалы с анизотропной структурой для очистки жидкостей и газов

¹Тумилович М.В., ²Пилиневич Л.П.

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники

Одним из важнейших направлений порошковой металлургии является разработка и производство пористых порошковых материалов (ППМ), назначение и область применения которых определяются строением и параметрами их поровой структуры. Именно поровая структура оказывает решающее влияние на такие функциональные свойства ППМ, как проницаемость, капиллярный потенциал, тонкость фильтрации, каталитическая активность и на многие другие.

Наиболее широкое распространение ППМ получили в качестве фильтрующих материалов. В последнее время предложен ряд способов получения ППМ с улучшенными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающими повышение эффективности очистки жидкостей и газов. Это достигается, прежде всего, двумя методами. Первый метод – создание ППМ с равномерным распределением размеров пор и пористости по всему объему, например, пластическим деформированием спеченной заготовки, травлением заготовок кислотой при пропускании газа, использованием сферических порошков узких фракций, изостатическим формованием; второй метод – создание анизотропных (градиентных) поровых структур, которые имеют неоднородное распределение структурных элементов в направлении фильтрации и однородное по площади фильтрации, например путем осаждения мелких частиц в поровые каналы из газопылевого потока, формования при наложении вибрации, псевдооживления, формования металлического порошка и порообразователя при наложении вибрации, послойного формования металлического порошка и порообразователя или металлического порошка и волокна и др.

Идеальным вариантом распределения размеров пор и пористости по толщине фильтрующего материала, является тот, при котором в момент времени t (ресурс работы) одновременно полностью забиваются все поры частицами загрязнителя. Математически это может быть выражено следующим уравнением:

$$C(x)\omega(x)|_{t=0} = a_n d^n,$$

где n – положительная степень; a – коэффициент пропорциональности; $C(x)$ – объемная концентрация загрязнителя; $\omega(x)$ – вероятность прямого захвата частиц загрязнителя; d – диаметр пор.

Испытание фрикционного материала для самосвала 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.

Влияние борирования и боросилицирования на износостойкость углеродистых сталей

Ловшенко Н.Н., Траймак Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Такие процессы, как борирование, хромирование, боросилицирование, бороалитирование, в значительно большей степени увеличивающие сопротивление изнашиванию, чем, например, цементация, азотирование, нитроцементация, и обеспечивающие, кроме того, повышение коррозионной, жаро-, теплостойкости и ряда других свойств поверхностных слоев изделий из сплавов железа, прежде всего штамповых сталей, используются в промышленности крайне редко. Это в основном связано с тем, что разработанные для их осуществления диффузионно-активные среды в большинстве случаев требуют применения сложного и дорогостоящего нестандартного оборудования. Кроме этого необходимо отметить, что используемые в настоящее время методы ХТО, как правило, неприемлемы для упрочнения крупногабаритных деталей и технологической оснастки. В работе предложен процесс диффузионного насыщения с помощью обмазок, обеспечивающих ХТО лишь рабочих поверхностей крупногабаритных изделий, а также защиту от окисления при повышенных температурах.

Применялись образцы из сталей 45 и У8. Насыщение проводилось в борлирующих и боросилицирующих смесях и обмазках, в которых поставщиком активных атомов В являлся карбид бора (B_4C); атомов Si – карборунд (SiC), в качестве газогенерирующего активатора использовался фторид натрия (NaF). Часть образцов помещались в обычный тигель. Образцы в тигле засыпались борлирующим или боросилицирующим порошком, без дополнительных приспособлений. Образцы, которые насыщались в обмазке, по контуру обмазывались насыщающей смесью. Насыщение проводили при температурах 900, 950, 1000° С в течение 1-4 часов.

Относительная износостойкость боросилицированных покрытий углеродистых сталей в 2,0-2,3 раза выше, чем борированных и в 6-7 раз выше, чем образцов без ХТО. Износостойкость диффузных слоев, полученных на стали с большим содержанием углерода на 3-5 % выше.

Результаты относительной износостойкости диффузионных слоев, полученных в насыщающих смесях и обмазках, идентичны, что является важным фактором при упрочнение крупногабаритных изделий.

Оптимальным с точки зрения достижения максимальной износостойкости является содержание SiC в количестве 40-60 %.

Формирование структуры слоистых покрытий на ферромагнитных порошках в условиях ползучести

Ковалевский В.Н., Керженцева Л.Ф., Фомихина И.В., Григорьев С.В.
Белорусский национальный технический университет

Изучение морфологии поверхности спеченного образца (образец получен из порошка FeSi с покрытием Ni - 40 мин и C - 3 часа при ступенчатом нагреве в dilatометре при температурах 850°C и 1100°C с выдержками в течение 30 минут) подтверждает, что графитовое покрытие претерпело значительную деформацию (рисунок 1). Пластины графита с орторомбической структурой заполняют поры в процессе температурного расширения материала матрицы и формируют каркасную структуру. При взаимодействии никеля – покрытия и железа – основы образуется твердый раствор никеля в железе. При монтировании порошка – композита со слоистым покрытием в капсулу для спекания в dilatометре, выявлено, что он обладает хорошей уплотняемостью. Это объясняется присутствием на поверхности исходного графита. Нанесенное на поверхности порошка FeSi покрытие отличается толщиной 50 – 300 нм, что связано с вероятностным фактором встречи частиц и эмиссионным потоком. Частицы порошка припекаются друг к другу посредством мостиков. Рентгенофазовый анализ показал наличие в покрытии соединения твердого раствора FeNi, графита с орторомбической решеткой C, карбида кремния α – SiC и интерметаллидного соединения Fe₃Si.

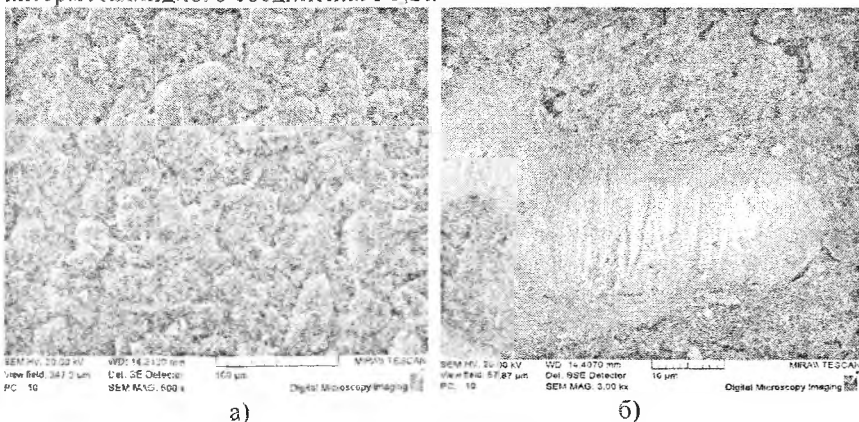


Рисунок 1 – Морфология поверхности спеченного порошка FeSi с покрытием Ni и C при нагреве в dilatометре до 1100°C после испытания на сжатие

Фрикционный материал тормозного узла трения Амкорд

Хренов О.В., Лещок А.В.

Белорусский национальный технический университет

Погрузчики «Амкорд» известны во всём мире, пользуются большим спросом и характеризуются высокой надёжностью. Одним из основных элементов любой дорожно-строительной техники является мост, в котором устанавливаются тормозные элементы, от работоспособности которых зависит жизнедеятельность человека управляющего данного рода техникой, но и окружающих людей. 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 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 «Амкорд» 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.

**Трибологические характеристики покрытий на основе TiC,
полученные в режиме высокотемпературного синтеза
и электроискровой обработки**

¹Маркова Л.В., ¹Коледа В.В., ²Саранцев В.В.

¹Институт порошковой металлургии НАН Беларуси

²Белорусский национальный технический университет

Для формирования композиционных покрытий на основе TiC, полученных в режиме высокотемпературного синтеза и электроискровой обработки (СВС и ЭИО), использовали порошки состава:

1 – 90 % (Ti + C) + 10 % Ni;

2 – 75 % (Ti + C) + 25 % (Cr + 2B);

3 – 70 % (Ti + C) + 30 % Ni.

В качестве электрода для проведения ЭИО применяли тугоплавкий электрод из твердого сплава марки ВК8 диаметром 3 мм, а для снижения шероховатости покрытий проводили выглаживание электродом «Стеллит» диаметром 3 мм.

Перед испытаниями на износостойкость поверхность покрытий подвергали шлифовке.

Износостойкость покрытий определяли с использованием блока для исследования процессов трения (микронанотрибометр). В качестве индентера в машине трения используется шарик диаметром 3 мм. Нагрузка на индентор составляла 50 г, путь 50 м. В результате возвратно-поступательного движения по поверхности образца без смазки реализуется схема контакта: «сфера-диск».

Перед началом трибологических испытаний проводили притирку образца с индентером при нагрузке 50 г до выхода на постоянный коэффициент трения. Длина единичного прохода по поверхности образца составляла 10 мм.

В процессе испытаний регистрировался коэффициент трения ($K_{тр}$). Было установлено, что для всех покрытий значение коэффициента трения колеблется от 0,05 до 0,08. Наиболее низкий коэффициент трения имеет покрытие состава 2 – менее 0,05. Наиболее стабильный коэффициент трения имеет покрытие состава 3. В данном случае коэффициент трения составляет 0,08 без видимых колебаний. Резкого увеличения коэффициента трения у всех исследованных покрытий не наблюдается. Это свидетельствует о том, что разрушения покрытия за пройденные 50 м не происходит. Полученные результаты говорят о хорошем качестве покрытия и высокой износостойкости.

**Применение анодной ультразвуковой подготовки в технологии
получения композиционных электрохимических покрытий
на основе железа**

Боровик Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Разработка новых материалов с улучшенными физико-механическими свойствами для восстановления изношенных деталей и технологий с повышенной производительностью является важной задачей производства, особенно в условиях постоянного удорожания импортного сырья. Наиболее производительным из гальванических методов нанесения является процесс железнения. Повысить производительность и эффективность процесса электрохимического осаждения покрытий на основе железа без потери их качества является актуальной задачей.

Для решения поставленной задачи было предложено внести изменения в технологический процесс осаждения композиционных электрохимических покрытий (КЭП) с одновременным введением порошковых материалов в состав покрытия.

Осаждение КЭП проводили по стандартной технологии железнения. Особенностью процесса является замена процесса анодной подготовки (декапирования), при котором используется 30% - серная кислота, на анодную подготовку в хлористом электролите при температуре $t = 40..60$ °С на постоянном токе с плотностью $I_k = 50$ А/дм² в течении $\tau = 3..5$ мин. Анодная обработка происходит под наложенным ультразвуковым излучением, которое направлено под углом ($45 \pm 5^\circ$) к поверхности. В процессе обработки ультразвуковым полем образуются многочисленные кавитационные пузырьки, которые эффективно очищают поверхность детали в процессе анодной подготовки. Параметры ультразвука: частота 22 кГц, интенсивность 40 Вт/дм².

Выведение серной кислоты из техпроцесса позволяет существенно экономить материалы и химические реактивы. К тому же не требуется дополнительная операция по промывке после анодной обработки, что существенно влияет на стабильность основного электролита по химическому составу. Получаемые покрытия ничем не отличаются от покрытий, полученных по традиционной технологии железнения.

Последующее ультразвуковое воздействие на этапе основного осаждения позволяет существенно повысить производительность осаждения и увеличить микротвердость покрытий. Результаты измерений микротвердости покрытий (толщина покрытий 800 мкм, катодная плотность тока 40 А/дм²) находятся в пределах 500 HV.

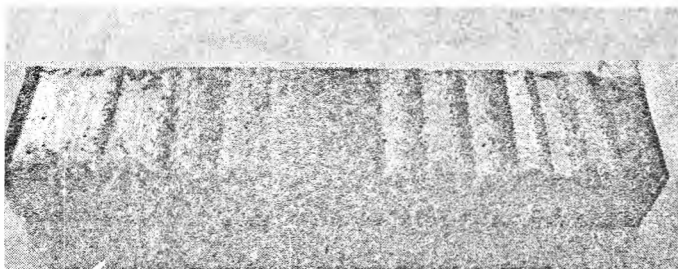
Исследование микроструктуры плазменных покрытий обработанных лазерным излучением

Пантелеенко А.Ф.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в широкое распространение в промышленности получили методы упрочнения и восстановления деталей машин посредством наплавки и напыления. Однако покрытия, полученные данными способами, обладают рядом недостатков: пористостью, слабым сцеплением с подложкой.

Данные недостатки могут быть устранены посредством обработки полученных покрытий высококонцентрированными источниками энергии, к которым относятся лазерные установки. Оплавление в режиме наплавки напыленных слоев позволяет получать компактные покрытия, хорошо сцепленные с подложкой. При расплавлении и последующем быстром охлаждении устраняется пористость, формируется структура, характерная для компактного материала, на границе "покрытие-подложка" протекают процессы диффузионного массопереноса, обеспечивающие высокую прочность сцепления. Эти вопросы и изучались в данной работе.



Внешний вид образцов после лазерной обработки

Плазменное напыление диффузионно-легированного порошка проводили на установке УПУ-3Д. Обработка напыленных покрытий была проведена на лазере Комета-2. Режимы лазерной обработки: мощность – 1 кВт; диаметр лазерного луча 1,5...4 мм; скорость подачи стола – 150...500 мм.

Полученные результаты позволяют говорить о перспективности применения защитных покрытий из борированных аустенитных порошков для повышения срока службы промышленных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания.

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Основы выбора принципиальных схем непрерывного литья, вопросы проектирования оборудования и оснастки, расчёта оптимальных тепловых и технологических параметров освещены в более ранних работах. Но не смотря на это, большой интерес представляет собой расчёт одного из основных технологических параметров – предельной скорости вытяжки отливки. Она даёт представление о возможностях способов вообще, а также о том, какими резервами, с точки зрения производительности процесса, в каждом отдельном случае можно располагать.

Вычислить предельную скорость вытяжки отливки можно используя математическую зависимость для расчёта критической высоты мениска расплава $h_{кр}$, при которой образуются заплывы на поверхности отливки

$$h_{кр} = \sqrt{\frac{2(\sigma + \sigma_s \xi)(1 - \cos \varphi)}{\rho g}}$$

При заполнении формы струя может слиться с расплавом, если её живая сила в состоянии преодолеть силы поверхностного натяжения плёнки и прочности корки. При этом металлостатическое давление внутри расплава определяется скоростным напором струи

$$F = \frac{\gamma_1 w^2}{2g}$$

где w – скорость движения струи и критической высотой мениска расплава

$$F = h_{кр} \gamma_1$$

Решая совместно получим

$$w = \sqrt{2gh_{кр}}$$

Исходя из условий равенства объёмных расходов расплава через литниковую систему и кристаллизатор окончательно имеем

$$W = 4,43 \sqrt{h_{кр}} \left(\frac{d}{D}\right)^2,$$

где d и D – диаметры струи и отливки, а W – предельная скорость вытяжки отливки.

В качестве примера вычислили W для литья сплошной отливки ($d/D=0,2$; $w_{cp}=0,56$ м/мин, $h_{кр}=0,0031$ м): $W=(0,52 \dots 0,56)$ м/мин.

Результаты таких расчётов являются основой для корректировки технологического процесса вертикального непрерывного литья.

**Усталостная прочность соединений, выполненных
сваркой трением**

Данилко Б.М.

Белорусский национальный технический университет

Целью настоящей работы является исследование усталостной прочности соединений, выполненных сваркой трением из сталей 45, 49Х и некоторых жаропрочных сталей и сплавов.

Изучена усталостная прочность соединений, выполненных сваркой трением; определены зависимости предела усталости сварных соединений от основных параметров процесса сварки и масштабного фактора.

Установлено, что предел усталости сварных соединений с последующей механической обработкой на 20 – 24% ниже предела усталости основного металла. Для таких соединений опасным является не сварной стык, а сечение на расстоянии 3 – 4 мм от него.

Анализируя напряженное состояние поверхностного слоя сварных соединений без грата, распределение твердости и микроструктуру металла можно заключить, что ответственными за снижение усталостной прочности являются растягивающие остаточные напряжения.

Исследована усталостная прочность соединений, выполненных сваркой трением, в зависимости от последующей термической обработки.

Установлено, что:

а) отжиг отрицательно действует на усталостную прочность, значительно ее снижая;

б) нормализация не приводит к изменению усталостной прочности;

в) термическое улучшение и поверхностная закалка токами высокой частоты повышают предел усталости, его значения превышают предел усталости основного металла без термической обработки.

Разработана методика и исследованы особенности упрочнения соединений, выполненных сваркой трением, путем поверхностного пластического деформирования обкаткой роликом. Показано, что этот метод обработки является эффективным средством повышения усталостной прочности сварных соединений.

Для повышения усталостной прочности соединений, выполненных сваркой трением, рекомендуются термическое улучшение, поверхностная закалка токами высокой частоты и поверхностное пластическое деформирование.

Разработаны рекомендации по конструктивно-технологическому проектированию соединений, выполненных сваркой трением.

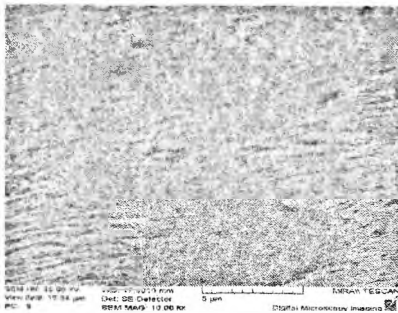
Обработка материалов давлением

Импульсно-плазменная обработка поверхности конструкционной стали

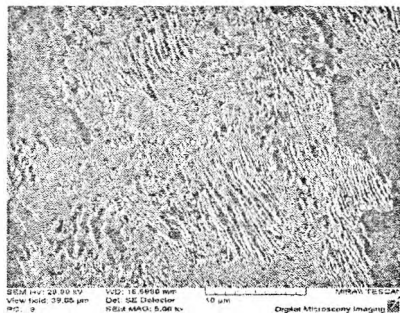
Белявин К.Е., Кузнецик О.О., Минько Д.В.

Белорусский национальный технический университет (БНТУ)

Импульсно-плазменная обработка (ИПО) поверхности конструкционной стали в условиях атмосферного давления находит свое применение в машиностроении при упрочнении деталей машин и является альтернативным методом по отношению к ионно-плазменному упрочнению. ИПО может осуществляться на технологическом оборудовании, содержащем высоковольтный импульсный источник тока, источник воздушной плазмы, попадающей на вход ускорительной камеры, конструкция которой обеспечивает при высоковольтном разряде формирование импульсно-радиального магнитного поля. Осуществляемая на таком технологическом оборудовании ИПО позволяет при импульсном давлении с амплитудой до 100 бар и температурой, достигающей в импульсе порядка 10^4 К (частота следования импульсов – 10 Гц), получать закалочную структуру (рис. 1) на поверхности конструкционной стали в течение 20–40 секунд.



а)



б)

а – исходная структура; б – структура после ИПО
Рисунок 1 – Структура поверхности конструкционной стали в электронном сканирующем микроскопе

Глубина закалочной структуры при ИПО на указанных режимах имеет границы 300–500 мкм. В пределах этих границ микротвердость монотонно убывает с 5–10 ГПа до 300–400 МПа.

**Особенности технологии получения
пластическим деформированием режущих граней сегментов
кормоуборочной и почвообрабатывающей техники**

Исаевич Л.А., Иваницкий Д.М., Костенко Г.В.
Белорусский национальный технический университет

Разработанный процесс получения режущих зубьев на сегментах режущих аппаратов сельскохозяйственной техники заключается в горячем пластическом формообразовании выступов и впадин периодического характера при помощи двух пуансонов и матрицы (Рис.1).

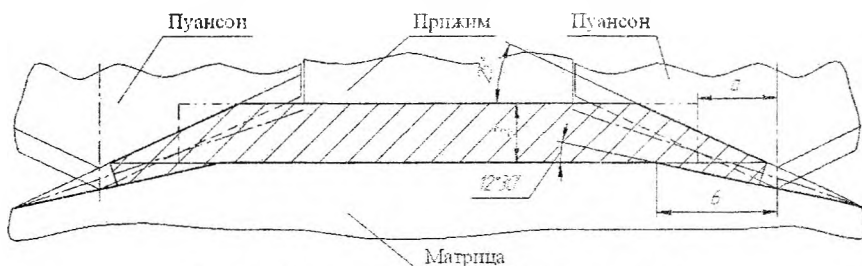


Рис.1. Схема штамповки насечки на сегменте

На рабочих гранях пуансонов, наклоненных под углом 25° , выполнены впадины, точно повторяющие зубчатый профиль, образуемый на режущих гранях сегмента. Матрица имеет рабочую поверхность с уклоном в пределах половины угла наклона рабочих граней пуансонов ($12^\circ - 13^\circ$). Для предотвращения изгиба заготовки в процессе штамповки предусмотрен прижим.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований процесса формообразования была изменена конструкция полуфабриката сегмента и рабочих деталей штампа (пуансоны и матрица). На основании этого провели уточнение значения смещения кромки сегмента с использованием трехмерного моделирования.

Замена холодной штамповки режущих зубьев на гранях сегментов на горячую позволяет снизить усилие формообразования почти в 10 раз и уменьшить мощность используемого оборудования, при сохранении механических и эксплуатационных свойств готового изделия. Уточнен путем трехмерного моделирования параметр смещения кромки заготовки от центра пуансона при установке ее в штамп.

Исследование особенностей малоотходной технологии изготовления подрессорника большегрузных автомобилей МАЗ

Король В.А., Иваницкий Д.М., Пушкевич В.И.
Белорусский национальный технический университет

В девяностые годы прошлого столетия в научно-исследовательской лаборатории обработки материалов давлением БНТУ была разработана временная технология формообразования переменного по длине прсфиля полосовых заготовок сечением 80X45 мм для подрессорника 4370-2913101 с использованием стана 1298.

С вводом в эксплуатацию на Минском рессорном заводе прокатного комплекса БП-076 с достаточной мощностью для прокатки полосовых заготовок переменного профиля с перепадом толщин от 45 мм до 15 мм стало возможным разработать новую безотходную технологию изготовления заготовок подрессорника.

В основу новой безотходной технологии изготовления заготовок подрессорника заложен принцип поочередной прокатки двух ветвей подрессорника с поочередным нагревом каждой половины заготовки, подвергаемой затем прокатке (рисунок 1). Холодная половина заготовки используется для удержания заготовки при прокатке ее нагретой половины. В качестве удерживающего устройства использован клиновой механизм, зажимающий холодную половину заготовки за боковые поверхности, приводимый в движение от гидроцилиндра.

Рис.1 - Схема прокатки подрессорника 4370-2913101

Новая технология изготовления заготовок в настоящее время внедряется в производство.

Предложенная технология, предусматривающая прокатку поочередно двух ветвей подрессорника с поочередным нагревом каждой половины заготовки исключает наличие отхода дорогостоящей стали 50ХФГА, значительно улучшает кинематические и энергосиловые параметры процесса прокатки, что будет способствовать уменьшению уширения на концах заготовки и сокращению трудозатрат по окончательной обработке заготовок подрессорника.

Разделение пруткового материала на мерные заготовки методом поперечно-клиновой прокатки

Исаевич Л.А., Сидоренко М.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящем сообщении изложены теоретические основы разделения пруткового сортамента методом поперечно-клиновой прокатки за счет расклинивающего действия клиновидных лезвий дисковых ножей, посаженных с эксцентриситетом. Это позволяет получать заготовки с ровным перпендикулярным оси срезом без смятия их боковых поверхностей и утяжин. Показано, что эффект разделения достигается при условии равенства проекций площадей контакта клиновидных лезвий с формообразуемой в заготовке кольцевой канавкой и образующейся при этом перемычки. Наибольшего значения площадь контакта лезвий ножей и кольцевой канавки достигается при угле поворота их на угол, близкий к $\pi/2$ независимо от угла заточки лезвий.

Существенное влияние на условие разделения прутка оказывает величина эксцентриситета смещения ножей относительно оси их поворота и диаметр самого прутка. С увеличением последнего требуется большее значение эксцентриситета. При этом растет и глубина формообразуемой кольцевой канавки.

Величину распорного усилия между дисковыми ножами можно определить по формуле

$$P_z = \pi \sigma_s \left\langle r - \frac{\Delta}{2} \left\{ 2 + \sin \left[\pi \frac{r + 0,5(h_n - \Delta)}{R - 0,5(h_n + \Delta)} \right] \right\} \right\rangle^2 \operatorname{tg}(\theta + \varphi),$$

где σ_s – временное сопротивление разрушению металла прутка; r – радиус разделяемого прутка; Δ – эксцентриситет смещения ножей относительно оси их вращения; R – радиус дискового ножа; h_n – высота наплыва металла в области кольцевой канавки; θ – угол трения; φ – угол заточки ножа.

Из формулы следует, что с увеличением угла заточки растет и значение распорного усилия. При этом в сравнении с разделкой прутков в штампах, распорное усилие между ножами примерно в пять раз меньше.

Для устранения наплыва материала на боковой поверхности заготовки в зоне пластического формообразования кольцевой канавки в конце процесса разделения производят калибровку этой зоны гладкими цилиндрическими поверхностями валков.

Технология получения формообразующей полости штампового инструмента

Кудин М.В., Качанов И.В., Ленкевич С.А.
Белорусский национальный технический университет

Высокоскоростное горячее выдавливание формообразующего инструмента повышенной точности, включает предварительное формообразование полости нагретой заготовки, термическую обработку и окончательную шлифовку поверхности. Основным недостатком является использование заготовки из дорогостоящей стали, что приводит к ее перерасходу, а следовательно, снижает экономическую эффективность применения изделий в качестве инструмента.

Поставленная задача достигается тем, что в способе изготовления полостей формовочного инструмента, включающем нагрев заготовки и ее высокоскоростное выдавливание в матрице, в контейнер матрицы предварительно помещают составную заготовку состоящую из двух частей при этом нижняя часть из низколегированной стали, а верхняя часть из инструментальной штамповой стали, затем проводят высокоскоростное выдавливание.

Формовочная полость матрицы имеет чистоту поверхности ($Ra=0,63-0,32$) и состоит из цилиндрической полости в которой выполнена кольцевая проточка, имеющая такую же чистоту поверхности. Кольцевая проточка выполнена на высоте раздела составной заготовки. Для деформации составной заготовки пуансон разгоняют, например, в стволе порохового копра до скорости 60-100 м/с. В результате он получает запас энергии, обеспечивающий высокоскоростную деформацию составной заготовки, которая сопровождается выдавливанием формовочной полости и совместным пластическим течением объемов металла на поверхностях контакта двух частей заготовки в кольцевую полость. При этом, обладая достаточной энергией, металл устремляется в кольцевую полость, выполненную в матрице на высоте раздела двух заготовок, что позволяет интенсифицировать процесс течения двух металлов для повышения прочности соединения, причем после ударного нагружения площадь поверхности контакта двух совместно продеформированных частей, как минимум в 2 раза превышает исходную площадь поверхности контакта составной заготовки. При синхронном пластическом течении на разделе контакта двух частей заготовки в радиальном направлении, в кольцевую полость, формируется сварное соединение между обеими частями заготовки.

Оборудование и оснастка для изготовления формообразующего штампового инструмента

Кудин М.В., Ленкевич С.А.

Белорусский национальный технический университет

Традиционные способы изготовления формообразующих полостей в деталях технологической оснастки, такие, как холодное и полугорячее выдавливание, исчерпали свои возможности в части обработки высокоуглеродистых и легированных сталей из-за высоких удельных давлений выдавливания. В этой связи большими потенциальными возможностями обладают технологические процессы, основанные на использовании высоких скоростей деформирования.

В связи с тем, что высокоскоростная штамповка обеспечивает получение точных заготовок с повышенными механическими свойствами, она может быть использована как технологический процесс изготовления штампового инструмента.

Для отработки технологического процесса получения шестигранной полости используется пороховая установка вертикального типа (рисунок 1).

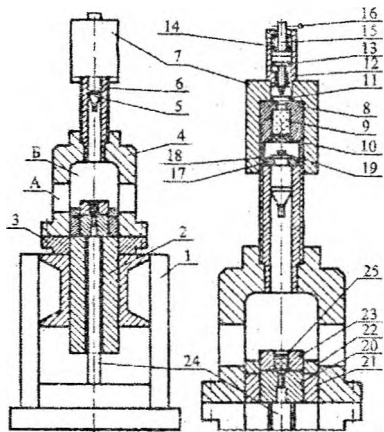


Рисунок 1 – Схема вертикального порохового копра

Установка состоит из рамы 1, в верхнем основании которой закреплен ствол 2. Ствол 2 соединяется с опорой 3, на которой смонтирован корпус 4. Энергоузел установки состоит из направляющего ствола 6, корпуса 7 и камеры сгорания 8. Пороховой заряд 9 засыпается в камеру сгорания 8 в дозированном объеме и уплотняется с помощью пыжа 10. Для поджига применяются капсули 11, детонация которых осуществляется с помощью ударного механизма, состоящего из корпуса 12, иглы 13, пружины 14, ударника 15 и чеки 16.

В исходном верхнем положении пуансон 5 удерживается медным кольцом 17, которое посажено на бурт в его хвостовой части и зафиксировано в этом положении прокладкой 18 и винтом 19.

Листоштамповочный пресс-автомат с круговым движением ползуна, кинематический, силовой и энергетический анализы его

Овчинников П.С.

Белорусский национальный технический университет

В крупносерийном и массовом листоштамповочном производствах для изготовления средних и мелких деталей широко используются прессы-автоматы, которым присущи следующие недостатки.

Во-первых, они оснащаются специальными подающими устройствами, привод которых осуществляется от прессы. Это конструктивно усложняет машину, увеличивает ее металлоемкость и трудоемкость изготовления, ремонта и обслуживания.

Во-вторых, на этих автоматах материал подается дискретно, т.е. во время рабочего хода исполнительного звена, когда осуществляется процесс штамповки, заготовка неподвижна, подача ее на величину шага осуществляется при обратном ходе ползуна прессы. Это обстоятельство ограничивает быстрходность прессы-автоматов.

Идея совмещения транспортировки заготовки и ее деформирования была выполнена в выпущенном промышленностью листоштамповочном автомате с плавающим ползуном с самоподачей ленты. Однако конструкция этого прессы сложная, в нем много цапф, рычагов, что приводит к потерям в энергетике машины.

В предлагаемом прессе-автомате со скользящей рамой эксцентриковый вал проходит сквозь ползун, совершающий круговое движение. Ползун заключен в раму, перемещающейся горизонтально в направляющих станины. Относительно рамы ползун перемещается вертикально. Верхняя половина штампа крепится к ползуну, нижняя – к раме. При движении ползуна вниз лента зажимается и транспортируется вместе со штампом при штамповке и выходе пуансонов из заготовки, при обратном перемещении штампа заготовка удерживается тормозным устройством до следующего захвата.

Если сравнить данный механизм с кривошипно-шатунным, крутящий момент у последнего будет на 15% больше, чем у рассматриваемого здесь. Следует отметить, что высота прессы будет меньше, чем у традиционно выпускаемых, на длину шатуна, примерно на $10R$. Это приведет к уменьшению его веса и увеличению устойчивости. К тому же этому прессу не нужен узел подачи.

Совершенствование технологии изготовления полых тонкостенных двухслойных изделий комбинированной вытяжкой из составных заготовок

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Отсутствие жесткой металлической связи между слоями составной заготовки создает возможности управления процессом вытяжки за счет применения специальных технологических приемов. Из-за анизотропии механических свойств листового проката материал заготовки в направлении минимального значения коэффициента плоскостной анизотропии r , что соответствует максимальному значению напряжения текучести σ_s , перемещается с большей скоростью, чем в направлении максимального значения r . В этих направлениях образуются соответственно впадины и фестоны. Толщина заготовки в зонах, перемещающихся с большей скоростью, больше, чем в зонах, перемещающихся с меньшей скоростью. Таким образом, толщины слоев составной заготовки после первой стадии комбинированной вытяжки (свертки) неодинаковы и вдоль образующей и по периметру. В результате при последующей протяжке (вторая стадия комбинированной вытяжки) таких заготовок степень утонения стенки является величиной переменной как по периметру, так и по длине заготовки, причем наибольшее утонение заготовка получает на заключительной стадии процесса в зонах, имеющих большую толщину.

При комбинированной вытяжке двухслойных составных заготовок имеется возможность располагать слои составной заготовки так, чтобы направления образования фестонов в одном слое совпадали с направлениями образования впадин в другом. При таком расположении слоев скорость смещения материала одного слоя в направлениях образования впадин превышает скорость смещения материала другого слоя в направлении образования фестонов.

Возникающие вследствие этого силы межслойного трения создают в слоях дополнительные меридионально направленные напряжения: растягивающие в области образования впадин и сжимающие в области образования фестонов. С одной стороны это приводит к уменьшению неравномерности деформаций в меридиональном направлении, т.е. к уменьшению степени фестонообразования. С другой стороны уменьшается разнотолщинность стенки вытягиваемого изделия как по периметру, так и по высоте.

**Критерии оценки качества двухслойных полых изделий,
получаемых вытяжкой**

Любимов В. И.

Белорусский национальный технический университет

Использование составных заготовок взамен биметаллических создает более широкие возможности для изготовления полых двухслойных изделий, так как позволяет получать изделия с требуемым сочетанием эксплуатационных характеристик независимо от номенклатуры выпускаемого биметаллического проката.

Исследования показали, что двухслойные изделия, получаемые комбинированной вытяжкой из составных заготовок, не имеющих жесткой металлической связи между слоями, характеризуются неравномерной толщиной слоев. При совместной деформации слой из материала с меньшим пределом текучести получает большую степень утонения, чем слой из материала с большим пределом текучести. При различной интенсивности упрочнения соотношение напряжений текучести материалов слоев в процессе вытяжки постоянно изменяется. В результате изделия получают с неравномерной толщиной слоев по длине стенки: 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 по высоте изделия возрастает, что значительно снижает их качество.

Неравномерность толщины слоев в изделии обуславливается также и анизотропией механических свойств материалов слоев заготовки. В направлении максимального значения напряжения текучести материал перемещается с большей скоростью и имеет большую толщину, чем в направлении наименьшего напряжения текучести.

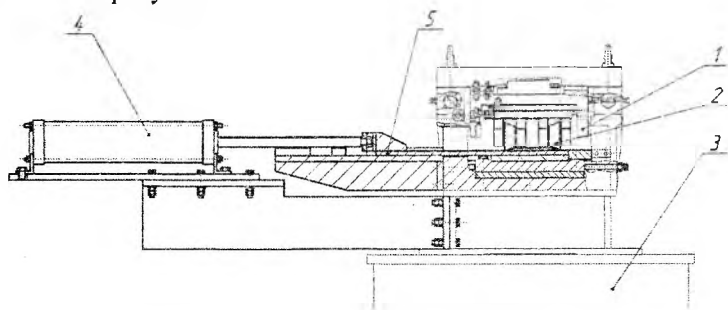
Таким образом, толщина слоев в стенке вытянутого изделия неодинакова и вдоль образующей и по периметру. Качество же полых двухслойных изделий в немалой степени определяется равномерной толщиной слоев при требуемом соотношении их толщин.

Выявленные особенности совместного пластического деформирования составных заготовок из разнородных металлов позволили целенаправленно подойти к разработке технических решений, позволяющих изготавливать полые изделия с равномерной толщиной слоев при требуемом соотношении их толщин.

Разработка специализированного прокатного оборудования для формообразования плоских заготовок

Давидович А.Н., Шиманович И.М., Давидович Л.М., Давидович В.А.
Белорусский национальный технический университет
Физико-технический институт НАН Беларуси

Специализированное оборудование для формообразования плоских заготовок создано в ГНУ ФТИ НАН Беларуси на базе стана поперечно-клиновой прокатки содержащего станину, гидропривод с ползуном, прокатную клетку и электрооборудование. Особенностью этого спецоборудования является наличие в прокатной клетке валкового инструмента, расположенного на ползуне стана и системы упоров, установленных на нижней части прокатной клетки. Схема стана представлена на рисунке.



1 - прокатная клетка, 2 - валковый инструмент, 3 - станина,
4 - пневмопривод, 5 - нижняя подвижная плита
Специализированный прокатный стан

Принципиальным отличием разработанного оборудования является наличие системы перемещения нижней плиты с упорами перпендикулярно направлению оси силового воздействия рабочего гидроцилиндра. Это позволяет выдвигать нижний инструмент вне прокатной клетки и тем самым решать вопросы автоматизации и механизации передачи нагретой до ковочной температуры плоской заготовки от индукционного нагревателя к прокатному стану. Размещенная в открытых упорах заготовка пневмоприводом передается вместе с нижней подвижной плитой в зону действия валкового верхнего инструмента.

Данная конструкция оборудования в настоящее время изготовлена на РУП «Минский завод шестерен» и проходит наладочные испытания при прокатке плоских деталей: «лемех», «долото» и «накладка».

Опыт применения ПКП для метизных деталей кабин тракторов МТЗ

Давидович А.Н., Мазуренок А.В., Давидович Л.М., Шиманович О.А.
Белорусский национальный технический университет
Физико-технический институт НАН Беларуси

Кабины как тракторной, так и автомобильной техники состоят из каркасных деталей с приваренными к ним проушинами, на которые посредством осей крепятся двери и, в некоторых случаях, открывающиеся окна. Конструкция осей предусматривает наличие в детали точно выполненного стержня с утолщением на одном из концов и стопорной канавки для фиксации и предотвращения съема двери. К утолщению оси предъявляются требования по дизайну, т. к. эта часть оси находится на внешней части кабины. Стопорная канавка оси должна обеспечивать надежное крепление двери без люфта, поэтому точность ее изготовления определяется сотыми долями миллиметра. Такая конструкция оси предусматривает традиционную производственную технологию ее изготовления - точение на токарных станках с последующей зачисткой грата в месте обрезки детали на утолщении. Главным недостатком такой технологии является высокая трудоемкость и большой расход металла в стружку, проблема с базированием при обработке и низкая стойкость режущего инструмента. Попытки изменить технологию изготовления осей на горячую высадку утолщения, с целью экономии металла, привели к такому увеличению затрат на механическую обработку, что затраты превысили первоначальный вариант.

Классической технологией, обеспечивающей все необходимые конструктивные параметры детали, является процесс поперечно-клиновой прокатки (ПКП), причем для повышения качества поверхности детали заготовку подвергают скоростному индукционному нагреву до температуры 900-950°C, который обеспечивает необходимую пластичность металла для формообразования всех конструктивных элементов без интенсивного образования окалины. Отрезные элементы инструмента поперечно-клиновой прокатки обеспечивают высокое качество торцовых поверхностей, а клиновые калибры дают необходимую точность линейных размеров деталей за счет многократной калибровки в процессе прокатки. Процесс формообразования происходит в полуавтоматическом режиме - оператор помещает заготовку в установку индукционного нагрева, и далее нагретая заготовка попадает в механизм подачи в прокатный стан, фиксируется на позиции прокатки и при движении ползуна происходит одновременное формообразование двух деталей из одной заготовки.

Изготовленные по разработанной технологии ПКП оси в настоящее время широко применяются в кбинах тракторов РУП «МТЗ».

Разработка теоретических основ и технологических схем процесса изготовления длинномерных трубков малого диаметра из ленты

Логачев М.В., Карпицкий В.С.

Белорусский национальный технический университет

При изготовлении трубчатых изделий малого диаметра из ленты методом гибки (свертки) плоской заготовки в трубку путем протягивания ее через канал одной или нескольких последовательно установленных валок, также как и при обычном волочении, основным технологическим параметром, от которого зависит стабильность процесса изготовления, максимальная степень деформации за проход и, соответственно, выбор наиболее оптимального маршрута изготовления изделий, является усилие волочения.

Аналитические методы определения усилия при волочении труб основаны на законах механики твердого деформируемого тела. Усилие и напряжение процесса определяются решением уравнений равновесия сил, действующих на выделенный в очаге деформации элементарный объем металла и уравнений пластичности для каждого элемента очага деформации. Величина усилия (направления) волочения в значительной степени зависит от угла конусности волокна. Увеличение угла конусности ведет к повышению усилия волочения за счет роста неравномерности деформации, скорости деформации, ухудшения условия смазки и увеличения коэффициента контактного трения. С другой стороны, с увеличением угла конусности уменьшается поверхность контакта металла с волоокой, что ведет к снижению сил контактного трения и, следовательно, усилия волочения.

Определены ряд оптимальных углов конусности (5° - 15°), при которых напряжение волочения минимально. Положение зоны оптимальных углов зависит от степени деформации и величины коэффициента трения. С увеличением указанных величин начало зоны сдвигается в сторону больших углов. Заметное влияние на усилие волочения оказывает длина калибрующей части канала волокна. С ее увеличением растут силы контактного трения и, следовательно, напряжение волочения.

Скоростные условия волочения также оказывают влияние на силовые параметры процесса. С увеличением скорости протягивания за счет аккумуляции в зоне контакта металла с рабочей поверхностью волокна теплового эффекта, уменьшается сопротивление металла деформированию и усилие волочения при этом несколько снижается.

Исследование изгиба полосы и распределения моментов на рабочих валках при несимметричном процессе прокатки

Карпицкий В.С., Карпицкий Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Процесс прокатки с рассогласованием окружных скоростей валков сопровождается рядом особенностей: изгибу металла при выходе его из валков и неравномерным распределением крутящих моментов на валках, отрицательно влияющих на работоспособность деталей стана и качество проката.

На возникновение в той или иной мере указанных выше негативных факторов при несимметричной прокатке оказывают влияние такие основные параметры процесса как относительное обжатие (степень деформации) за проход ($\Delta h/h_0$), относительная разность окружных скоростей валков ($\Delta V/V_{cp}$), величина коэффициента контактного трения (μ) и др.

В ходе проведения экспериментальных исследований выявлено, что с увеличением относительного обжатия, характер изгиба прокатываемой полосы меняется. При обжатиях за проход 20-40% полоса изгибается в сторону ведомого валка (положительная кривизна), т.е. валка вращающегося с большей окружной скоростью, а при обжатиях 40-60% в сторону ведущего валка (отрицательная кривизна). С увеличением относительного обжатия более 60% изгиб полосы вновь происходил в сторону ведомого валка. Отмеченная закономерность при несимметричной прокатке объясняется тем, что на прокатываемую полосу одновременно действуют два противоположно влияющих фактора – разность окружных скоростей валков и неравномерность деформации (разная степень обжатия) со стороны каждого из валков. Преобладание того или другого фактора в процессе прокатки и будет оказывать влияние на характер изгиба полосы. Смещение нейтральных углов в результате несимметрии процесса прокатки приводит к неравномерному распределению крутящих моментов между валками. С увеличением коэффициента рассогласования окружных скоростей валков величина крутящего момента на ведущем валке растет, а на ведомом снижается. Установлено, что процесс прокатки с коэффициентом рассогласования выше его критического значения нецелесообразен, так как возникающий на ведомом валке отрицательный крутящий момент будет оказывать тормозящее действие на прокатываемую полосу и пробуксовку ее относительно ведомого валка.

Особенности изготовления изогнутых на ребро полосовых изделий прокаткой из пруткового материала

Здор Г.Н., Король В.А., Иваницкий С.В.

Белорусский национальный технический университет

Современные технологии изготовления приспособлений для лечения ортопедо-травматологических больных, например полукольца к аппарату Илизарова (рис.1), требуют использования заготовок в виде узких полос с заданными геометрическими параметрами и механическими свойствами. Такие заготовки можно получить из горячекатаных листов с последующей разрезкой их на узкие полосы и дальнейшей механической обработкой. При резке на ножницах, качество кромок получается низким. Горячекатаный лист не обеспечивает требуемых механических свойств. Таким образом, для обеспечения требуемого качества по точности и шероховатости поверхности, полосы целесообразнее получать методом плющения круглого прутка.

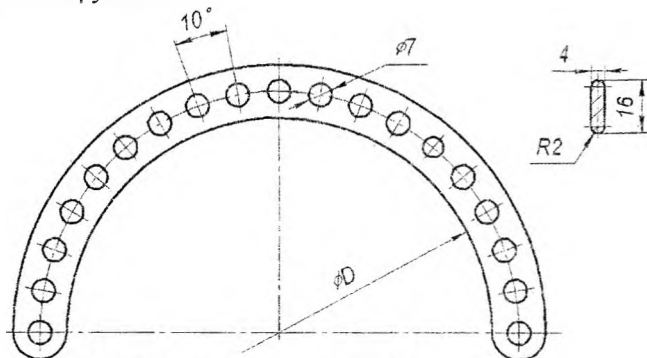


Рис.1. Полукольцо к аппарату Илизарова

Однако из-за неравномерности деформации на начальных этапах плющения прутков круглого сечения требуется изучение этого процесса для выбора величины единичных обжатий, обеспечивающих достижение точности геометрии и размеров.

Технология формообразования узких стальных полос из круглого прутка позволяет получать прокат с заданными размерами поперечного сечения при правильном выборе единичных обжатий. При прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков, изменяя величины критического рассогласования окружных скоростей валков и обжатия, можно добиться необходимого радиуса изгиба полосы на ребро по всей ее длине.

**Формообразование биметаллического стержневого
инструмента скоростным горячим выдавливанием
с плакированием**

Качанов И. В., Шарий В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Предварительные исследования и обзор патентных источников показали, что весьма перспективно для изготовления биметаллических стержневых изделий может быть использован процесс скоростного горячего выдавливания с плакированием, который завершается соударением торцовой выдавленной части изделия с дном матричной полости.

При соударении торцовой части, состоящей из основного и плакирующего металлов, последняя деформируется по схеме скоростной осадки, что приводит к интенсивному радиальному пластическому течению двух металлов в полость, имеющую форму заусенечной канавки, выполненной в донной части матрицы.

На основании проведенного анализа методов решения динамических задач, для определения нагрузки, действующей на инструмент в процессе скоростного горячего выдавливания с плакированием использовали метод верхней оценки.

В результате решения вариационной задачи получены уравнения для расчета оптимальных параметров поля линий скольжения α_1 , β_1 , h_1 , при которых реализация процесса осуществляется с минимальными затратами мощности и энергии.

Установлено на практике, что расчетные значения работы деформации, ликовой нагрузки на пуансоне, пути деформирования удовлетворительно (с погрешностью 15 – 18 %) согласуются с экспериментальными данными, что указывает на приемлемость использования полученных теоретических зависимостей в инженерной практике.

Результаты испытаний показали, что разработанная технология, являясь практически безотходной (коэффициент использования металла равняется 0,92 – 0,95), позволяет в 3 – 5 раз повысить стойкость инструмента и на 90 – 95 % снизить расход дорогостоящей инструментальной путем замены ее в стержневой части на более дешевую конструкционную сталь.

Измельчение боя стекла в многооперационной проходной валковой мельнице центробежного типа RTM4

Гавриленя А.К.

Барановичский государственный университет

Проведенные эксперименты по измельчению связно-сыпучих материалов в валковых мельницах центробежного типа [1-4] показали, что при увеличении частицы материала угол его захвата возрастает, что приводит к увеличению крупности продуктов размола, а в некоторых случаях – к заклиниванию ротора.

Из изложенного очевидно, что повышение интенсивности измельчения в валковых мельницах можно достигнуть предварительной обработкой материала, вызывающей не только измельчение содержащихся в нем крупных частиц и этим самым уменьшение поля рассеяния размеров частиц, но и снижение их прочности и деформационной способности вследствие наклепа и образования в них микро- и макродефектов, облегчающих разрушение частиц при их дальнейшей обработке.

Для реализации последовательно выполняемых разных по силовому воздействию на твердый материал способов разработана конструкция многооперационной проходной валковой мельницы центробежного типа RTM4, в которой обрабатываемый материал сначала проходит ударную обработку по схеме дисмембратора, а затем – истирающе-раздавливающую между роликами и кольцом.

Для определения и оценки возможностей мельницы RTM4 проведены эксперименты измельчения в ней боя бутылочного стекла: производительности (от 5 до 15 г/с) и времени обработки (от 2 до 6 с) при разных сочетаниях и загруженности ротора размольными телами (пружинами и втулками).

Обработкой боя стекла только пальцами верхнего диска получен порошок, содержащий более 20 % частиц размером менее 0,1 мм, и около 30 % – более 0,63 мм. При полной загрузке ротора размольными телами получен высокодисперсный с узким полем рассеяния размеров частиц порошок со средним размером частиц 0,12 мм, содержащий 57,9 % частиц размером менее 0,05 мм. Повторный проход измельчения в мельнице RTM4 увеличил содержание фракции менее 0,05 мм до 70...72 % при незначительном (3...5 %) содержании частиц, больших 0,1 мм, и среднем размере частиц 0,06 мм.

Полученный порошок стекла успешно апробирован в качестве упрочняющего модификатора композиций на основе полипропилена при изготовлении ориентированной мснонити (СОО «Техполимер»).

Материаловедение в машиностроении

Интенсификация процессов борирования, карбидизации и карбонитрации при обработке в «кипящем» слое

Хухарева Н.Г., Петрович С.Н., Стасевич Г.В.
Белорусский национальный технический университет

Снижение материало- и энергоемкости процессов диффузионного упрочнения деталей машин, инструмента и технологической оснастки достигается использованием «кипящего» слоя.

В работе исследована возможность использования порошковых насыщающих сред, применяемых при осуществлении процессов борирования, карбидизации и карбонитрации при печном нагреве в контейнерах с плавкими затворами, для проведения обработки в «кипящем» слое.

Исследование влияния обработки в «кипящем» слое на процессы борирования, карбидизации и карбонитрации проводились на низкоуглеродистой стали 20 и сложнелегированных сталях 4Х5МФС и Х12МФ по различным схемам. Различие в проведении процессов насыщения, при использовании вибрации, относилось как к способу флюидизации (эндогаз, азот, оксид алюминия), объему рабочего пространства и количеству используемой насыщающей смеси, так и способу охлаждения обработанных образцов до температуры окружающей среды после выдержки в «кипящем» слое.

Проведенные металлографические, рентгеноструктурные и микрорентгеноспектральные исследования показали, что осуществление процесса борирования в «кипящем» слое при различных схемах обработки не позволили получить на исследуемых марках стали двухфазных слоев с игольчатой структурой, получаемой при традиционной обработке из данного состава. Тем не менее проведенные испытания износостойкости по трехвалковому методу полученных диффузионных слоев и слоев, полученных при использовании традиционного печного нагрева, показали аналогичные результаты, что говорит об экономической целесообразности применения борирования в «кипящем» слое для упрочнения изделий, работающих в условиях трения скольжения.

Использование «кипящего» слоя для осуществления процессов цементации и нитроцементации стали 20 в порошковых смесях, разработанных для осуществления карбидизации и карбонитрации высокохромистых сталей, показало возможность интенсификации процессов насыщения в 1,5 – 2,0 раза при получении диффузионных слоев с высокой поверхностной твердостью, плавно снижающейся по толщине диффузионного слоя.

Сравнительная износостойкость микролегированных боридных покрытий

Кухарева Н.Г., Галынская Н.А., Петрович С.Н.

Белорусский национальный технический университет

Одной из главных причин выхода из строя машин является износ подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения. В ряде случаев решить данную проблему можно путем нанесения термодиффузионных покрытий, в частности, борированных.

Целью данной работы является исследование и сравнительный анализ износостойкости боридных покрытий, формирующихся в композиционных порошковых средах, полученных внепечным способом.

Испытания на износ проводили по двум методикам: с использованием трехвалкового метода и по методу Амслера.

Результаты испытаний на износ трехвалковым методом образцов стали 20 с разработанными боридными покрытиями показали, что введение в состав насыщающей смеси оксидов меди и молибдена приводит к значительному повышению сопротивления износу формирующихся из них двухфазных покрытий. Данные смеси целесообразно применять для обработки деталей, работающих в условиях тяжелого нагружения, для деталей, работающих в условиях небольших удельных нагрузок, - насыщающие среды практически всех разработанных составов, содержащих оксиды железа, вольфрама, молибдена и никеля.

При испытаниях на износ по методу Амслера максимальную износостойкость показали однофазные боридные покрытия. Рассчитанные коэффициенты трения боридных покрытий, полученных из исследуемых смесей, находятся в узком диапазоне значений: при нагрузке 25 даН - 0,095-0,14, при нагрузке 50 даН - 0,15-0,22. Коэффициент трения покрытий, формирующихся в традиционной смеси, полученной печным способом, на границе фаз изменится скачкообразно, имея при этом минимальное значение. Аналогично изменяется и твердость по толщине диффузионного слоя формирующегося из этой смеси. Возможно, эти два показателя взаимобусловлены. Однако, данная смесь в силу своей нетехнологичности (спекаемость) и неэкономичности (печное восстановление) не рекомендуется для промышленного использования.

Что касается численных значений коэффициента трения покрытий из разработанных боридных сред, то они соизмеримы с величиной коэффициента трения для покрытий, получаемых при азотировании и цементации.

Исследование особенностей формирования боридных покрытий на цементованных сталях

Протасевич В.Ф., Стасевич В.Г., Басалай И.А.
Белорусский национальный технический университет

В работе поставлена задача получить на низкоуглеродистой стали 20 борированные диффузионные слои, которые возможно использовать в условиях высоких контактных нагрузок.

Для этого предварительно цементованные образцы из стали 20 были подвергнуты борированию и закалке с низким отпуском. Обработка исследуемых образцов была проведена по следующим схемам: 1-борирование, 2-борирование+закалка+отпуск, 3-цементация+борирование, 4-цементация+борирование+закалка+отпуск.

На предварительно цементованной стали 20 был получен борированный слой, состоящий из двухфазной боридной зоны, толщиной от 80 до 220 мкм, и переходной зоны от 170 до 2800 мкм.

В ходе исследований установлено, что термическая обработка повышает микротвердость боридов FeB и Fe₂B, как для цементованной стали, так и для стали без предварительной обработки. Максимальные значения микротвердости боридов FeB и Fe₂B после закалки и отпуска составляют соответственно 19300 и 17500 МПа.

Эффект повышения твердости боридов в результате термической обработки в большей степени проявляется для цементованных образцов, борированных при температурах 800, 850 и 900 °С. После термообработки микротвердость увеличивается на 4000 МПа для борида FeB и на 3000 МПа для борида Fe₂B.

Термическая обработка бороцементованных образцов из стали 20 значительно повысила твердость подборидной цементованной зоны. Максимальная микротвердость переходной зоны непосредственно под боридным слоем достигает 10300 МПа при температуре борирования 900 °С, минимальная – 6100 МПа при 950 °С.

В результате термической обработки происходит понижение хрупкости боридного слоя, как для цементованной стали, так и стали без предварительной обработки при температурах борирования 800, 850 и 900 °С. Суммарный балл хрупкости боридов после закалки и отпуска для предварительно цементованных образцов уменьшается в 3-8 раз.

Благодаря созданию твердой и прочной подложки под боридным слоем поверхностная твердость борированной стали 20 с предварительной цементацией после термической обработки достигла 68 HRC при температурах борирования 850, 900 и 950 °С и 66 HRC при 800 °С.

Анализ возможных путей интенсификации диффузионного цинкования

Гегеня Д.В.

Белорусский национальный технический университет

При рассмотрении технологичности любого техпроцесса на производстве наибольшее внимание уделяется его экономической эффективности. В настоящее время когда проблемы энерго- и ресурсосбережения стоят особо остро следует постоянно искать пути снижения затрат на производство.

Одним из наиболее важных направлений в сфере снижения энергоемкости техпроцесса является поиск путей интенсификации процессов ХТО. При рассмотрении путей интенсификации процессов ХТО следует так же понимать, что интенсификация диффузионных процессов не должна являться самоцелью, так как диффузия далеко не всегда является основным лимитирующим фактором при формировании диффузионных слоев. Перспективной является интенсификация именно тех стадий ХТО, которые в данный момент времени являются лимитирующими, тем самым значительно повышается потенциал интенсификации выбранного метода воздействия.

Однако при выборе оптимально метода воздействия на процессы ХТО следует учитывать целесообразность применения того или иного способа воздействия в зависимости от типа производства. Следует понимать, что неоправданные затраты на введение новых способов интенсификации процесса могут значительно повысить конечную стоимость выпускаемого продукта, что резко снизит его конкурентоспособность. В связи с этим введение нового способа интенсификации процессов производства, в частности ХТО, должно быть строго экономически обосновано.

На основании произведенного анализа, наиболее перспективными направлениями касающимися интенсификации процессов цинкования является использование высокопроизводительных методов нагрева (индукционный нагрев), возможность применения индукционного нагрева на всем протяжении процесса цинкования (особенно актуально для длинномерных изделий), создание технологий, позволяющих выгодно применять рекристаллизационные процессы (предварительный наклеп металла, прокатка, дробеструйная обработка), совмещение во времени процессов напыления, индукционного нагрева и рекристаллизации, а так же использование защитных атмосфер предотвращающих окисление насыщаемой поверхности при процессах термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах.

Особенности бороалюмотитанирования углеродистых стальных проволок

Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

При проведении многокомпонентного насыщения, например боротитанирования, в зависимости от содержания в смеси того или иного компонента могут идти процессы преимущественно насыщения бором или титаном.

Проведенные исследования для смесей на основе ферротитана и карбида бора установили следующую особенность. При содержании карбида бора более 37 % идет преимущественно процесс борирования, а при количестве менее 57 % – титанирование. Для повышения технологичности, в частности отсутствия спекаемости смеси, вводили инертную добавку – оксид алюминия. С увеличением содержания Al_2O_3 уменьшается толщина слоя, поэтому количество его ограничивали 15 % масс. Диффузионный слой при проведении преимущественно борирования представляет собой структуру, вытянутых округлой формы боридов. Титан практически не растворяется в боридах. Смесь для насыщения является практически однофазовой, при повторном использовании за 3 часа образует слой в 20 – 30 мкм. Чтобы восстановить активность смеси, требуется введение дополнительно более 50 % «свежей». Для промышленной реализации одновременного диффузионного легирования такая смесь не пригодна.

Известно, что последовательная обработка при многокомпонентном насыщении способствует более эффективному введению легирующих элементов. Для процесса бороалюмотитанирования проводилось последовательное насыщение по следующей схеме: первоначально проводили алюмотитанирование, затем борирование. Последовательное насыщение, например, углеродистой проволоки технологически усложняет процесс, хотя и лишено основного недостатка присущего одновременному насыщению – опасности взаимодействия компонентов насыщающей смеси.

Получаемая микроструктура бороалюмотитанированной проволоки имеет характерную особенность - бориды железа при времени насыщения более 1 ч проникают в твердый раствор. Происходит «погружение» боридов, такое явление исследователи объясняют тем, что образовавшиеся на поверхности бориды неустойчивы и как следствие в диффузионном слое происходит перестройка кристаллической решетки борида, что способствует продвижению атома бора сквозь уже имеющийся диффузионный слой на железе.

Технологические аспекты получения наплавленных слоев из поверхностно-легирующей проволоки

Дашкевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Процессы, происходящие при наплавке поверхностно-легирующей проволокой, имеют ряд отличительных особенностей. Наиболее важное отличие – происходящее растворение диффузионного слоя на торце электродного материала, ее перемешивание на стадии капли и в сварочной ванне. Характер плавления электрода существенно влияет на результаты легирования.

Исследования структурообразования при наплавке проведенные для поверхностно-легирующей проволоки с различными схемами легирования позволили качественно установить некоторые закономерности.

На растворение диффузионного слоя влияют режимы наплавки. Наиболее активно влияют на растворение сила тока и длина вылета электродной проволоки. Это вполне закономерно, поскольку температура в вылете электрода есть функция изменения тока дуги, удельного электрического сопротивления, теплоемкости диффузионного слоя и основного металла. При большой мощности электрической дуги увеличивается средняя температура капли, происходит укрупнение ее размера, что способствует более эффективному растворению диффузионного слоя, но до определенного значения. Следствием увеличения мощности теплового потока из капли в электрод становится процесс разрушения диффузионного слоя.

Эффективным параметром управления процессом растворения диффузионного слоя после характеристики мощности дуги является вылет электрода. При его увеличении область жидкофазного растворения «растягивается» по длине электрода достигая значения 1 мм и более, что способствует более эффективному растворению диффузионного слоя, однако протекающее следом образование капли электродного металла проходит в худших окислительных условиях, что приводит не к снижению потерь легирующих элементов, а к их увеличению, в частности бора, за счет активного флюсования электродной капли.

На «жестких» режимах, предполагающих большую силу тока ($I_{св} \geq 200$ А), высокую скорость наплавки ($V_n \geq 100$ м/ч) и маленький вылет ($h_{выл} \leq 15$ мм), процесс растворения проходит крайне медленно, растворение практически затормаживается, потери легирующих элементов значительные.

Исследование использования металлизированных цинкосодержащих отходов для термодиффузионного цинкования

Булойчик И.А. Гегеня Д.В.

Белорусский национальный технический университет

Создание в Республике Беларусь ряда предприятий, осуществляющих горячее цинкование металлоконструкций выявило острую проблему переработки и утилизации отходов, образующихся при проведении процесса горячего цинкования.

Следует отметить, что в последнее время наблюдается расширение применения способа термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах, что связано с высоким комплексом эксплуатационных свойств диффузионных слоев, а так же высокой степенью экологической безопасности данного вида производства. Расширение области применения данного способа цинкования представляет широкую перспективу по использованию отходов горячего цинкования в качестве основ для порошковых насыщающих смесей.

Способ переработки цинкосодержащих отходов определяется содержанием и химическим состоянием цинка в составе отходов, наличием сопутствующих примесей, химическим составом и физико-химическими свойствами соединений, присутствующих в составе отходов. Следует отметить, что на сегодняшний день большинство отходов производств горячего цинкования в виде золы и дросса просто захороняются, что, несомненно, является серьезной проблемой для предприятия.

Для рациональной оценки возможности получения чистого цинка, или цинка с допустимым количеством загрязнений, необходимо проведение взаимосвязанного комплекса исследований и испытаний, в том числе методами физического и математического моделирования гидродинамических, термодинамических явлений.

Определенную перспективу в данном направлении представляют специальные процессы химико-термической обработки. Возможное использование процессов СВЧ может существенно упростить технологию производства материалов, обеспечить регулирование процесса, улучшить экологические показатели.

Переработка отходов от производств горячего цинкования с целью их дальнейшего использования в качестве основ для насыщающих порошковых сред раскрывает новые перспективы в решении проблем утилизации горячецинковых отходов и представляет определенный интерес с точки зрения ресурсо и материалосбережения.

Защитные вакуумно-плазменные покрытия на текстильных материалах

Станкевич Е. В., Степанова Е. А., Кохнюк В. Н.

НИЦ «Плазмотег» Физико-технического института НАН Беларуси

В настоящее время среди технических текстильных материалов особое значение придается созданию функционально активного защитного текстиля, каждый конкретный вариант которого разрабатывается в соответствии с определенным назначением. Все более актуальной становится необходимость производства и использования металлизированных текстильных материалов. В зависимости от того, что входит в состав наносимого покрытия, металлизированные текстильные материалы могут приобрести не только прекрасные декоративные свойства, но и стать антистатическими, бактерицидными, свето- и теплоотражающими, экранирующими и радиомаскирующими.

Плазменные методы формирования защитных покрытий на текстильных материалах, в частности, метод вакуумно-дугового осаждения, в целом наиболее перспективны. Низкая температура процесса позволяет обрабатывать практически любые текстильные материалы и при этом достигать хорошей адгезии покрытия с основой, что обусловлено более высокой энергией конденсирующихся частиц. Метод позволяет регулировать количество наносимого металла в диапазоне от сотых долей до единиц микрометров и изменять поверхностное удельное сопротивление тканей от десятков до долей Ом.

Покрытия из меди, титана и серебра наносились в вакууме и в присутствии углекислого газа на ткани, трикотаж на основе натуральных, искусственных и синтетических волокон с использованием вакуумно-плазменной электродугуговой установки со стационарными и импульсными источниками плазмы. Покрытия имели квазиморфную структуру со средним размером зерен не более 100 нм. Время осаждения составляло от 10 до 20 минут. Толщина δ от 0,1 до 1,0 мкм. Полученные образцы текстильных материалов с покрытиями показали хорошие радиопоглощающие и бактерицидные свойства. В диапазоне частот 8-12 ГГц ослабление электромагнитного излучения образцов тканей с покрытием составило 0,5-9,0 дБ. Образцы тканей с бактерицидными покрытиями проходят клинические испытания.

Учитывая экологическую безопасность и достаточную производительность, способ металлизации текстильных материалов вакуумно-дуговым осаждением имеет хорошие перспективы для производства тканей технического назначения с покрытиями, придающими им специальные поверхностные свойства.

Исследование электрических характеристик пленок карбонитрида кремния, легированного металлом

Обухов В.Е., Лычковская И.А., Шпак Е.П., Шепетько С.В.
НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси

Целью данной работы являлось исследование электрических свойств пленок карбонитрида кремния для определения возможности создания на их основе резисторных структур с широким диапазоном резистивных свойств.

Пленки карбонитрида кремния толщиной от 1,1 мкм до 1,6 мкм получали путем разложения в низкотемпературной плазме паров гексаметилди-силазана $[(\text{CH}_3)_6\text{Si}_2\text{NH}]$. Легирование пленок осуществлялось ионно-термическим методом в едином с нанесением пленки вакуумном цикле. В качестве легирующего металла использовали медь. Легированию подвергался только верхний слой пленки.

Электроннографические исследования показали, что легированные медью пленки содержат рефлексы, соответствующие чистой меди и окислам меди CuO или Cu_2O . Нелегированные пленки карбонитрида кремния являются аморфными.

При легировании пленок карбонитрида кремния медью ухудшаются их трибологические свойства. Коэффициент трения легированных пленок равен ~ 1 , нелегированных – 0,3.

Для исследования электрических свойств получаемых пленок создавались резисторные структуры на ситалловых подложках. Экспериментально установлено, что нелегированные пленки карбонитрида кремния являются диэлектриками, в то время как легированные в зависимости от содержания лигатуры могут иметь электросопротивление от десятков Ом до сотен МОм. При нагреве легированных пленок на воздухе до 300°C с повышением температуры сопротивление образцов сначала возрастало до значений, определяемых степенью легирования пленок, а затем при дальнейшем повышении температуры нагрева начинало снижаться. Значения температур, при которых в резисторных структурах менялся тип проводимости, определялись степенью их легирования: чем выше процент содержания меди в образце, тем выше температура изменения типа проводимости. При повторном прогреве резисторных структур у них наблюдался только полупроводниковый тип проводимости.

В настоящее время работы по оценке возможности использования пленок карбонитрида кремния, легированного медью, для создания приборов нанoeлектроники различного назначения продолжают.

Некоторые пути совершенствования методов термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах

Булойчик И.А.

Белорусский национальный технический университет

Существует множество видов и технологий нанесения коррозионно-стойких цинковых покрытий и диффузионных слоев. Однако большинство из них характеризуется значительной степенью энергоемкости, а так же экологически небезопасны, что в условиях постоянного повышения цен на энергоресурсы, материалы и ужесточения требований к утилизации отходов производства снижает экономический эффект данных технологий и ведет к росту цен на выпускаемую продукцию. В связи с этим возникает необходимость поиска новых путей в сфере нанесения защитных цинковых покрытий, повышающих эксплуатационные свойства изделий с учетом вышеперечисленных требований.

Предлагается выделить три основных пути совершенствования методов термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих смесях.

Первый из них – это повышение технологических свойств насыщающей смеси. Основной задачей в данном направлении является повышения общей доли активного цинка в насыщающей смеси, а так же использование водных растворов в качестве сред-переносчиков активатора либо других добавок, влияющих на скорость формирования диффузионного слоя.

Следующий путь – это подготовка поверхности изделия. Известно так же, что скорость диффузии при насыщении одного материала другим зависит от степени активации поверхности насыщаемого изделия. Поэтому актуальным будет использование различных методов позволяющих создать поверхность со значительной степенью дефектности (шероховатости), тем самым, повысив адсорбционную способность насыщаемой поверхности. Определенную перспективу представляет предварительная обработка поверхности детали активатором, повышающим диффузию цинка в железе.

Последний, третий путь, тесно связан с уже рассмотренными способами интенсификации и заключается в создании защитных атмосфер с целью удаления кислорода и предотвращения окисления. Наиболее перспективным решением в данном случае представляется использование комбинированных систем вакуум-защитный газ, который может подаваться в реторту как извне, так и автоматически генерироваться путем испарения одного из компонентов насыщающей смеси.

**Разработка источника питания для высоковольтного
электрохимического оксидирования**

Чекан Н.М., Багаев С.И., Паршута А.А., Паршута А.Э., Сергеенко С.Е.,
Лычковская И.А.

НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси
РИУП «НТП БНТУ «Политехник»

В настоящее время заметен повышенный интерес к исследованиям по формированию анодного оксида алюминия и модификации его поверхности с целью изменения структуры и физико-химических свойств. Разработанный метод высоковольтного электрохимического оксидирования, позволят получать с высокой производительностью термопроводящие и электроизоляционные покрытия оксида алюминия на алюминиевых пластинах. взамен токсичной электрохимической технологии и трудозатратного микро-дугового способа.

Разработанный блок управления источника питания предназначен для проведения исследований и разработок в области высоковольтного электрохимического оксидирования. Следует заметить, что высокое напряжение за счет импульсной подачи энергии не приводит к возникновению микродуг, как это происходит при МДО, что приводит к формированию плотного оксидного слоя с низкой шероховатостью и пористостью.

Напряжение питания комплекса, промышленная сеть 380 В с частотой 50 – 60 Гц. Мощность источника питания, выделяемая в нагрузку не менее 25 кВт·А, максимальный рабочий ток 50 А, максимальное выпрямленное напряжение 520 В, диапазон регулировки выходного тока 0 – 25 А, диапазон регулировки выходного напряжения 15 – 520 В при периоде следования 3-10 мс, длительности 1-3 мс. Регулировка выходного тока и выходного напряжения в нагрузке плавная, относительная приведенная погрешность установки выходного тока и напряжения в режиме стабилизации тока не более 2%, площадь обрабатываемых деталей до 50 дм².

Использование системы управления источника питания тензопреобразователей высоковольтного электрохимического окисления и системы преобразования первичной обработки информации позволяет выполнять технологический процесс по получению качественных оксидных покрытий. Повышенное напряжение анодного импульсного режима приводит к уменьшению размера и числа пор в покрытии при формировании оксидного слоя позволяет получить плотные пленки с высокими механическими характеристиками.

Перспективы промышленного использования высоковольтного электрохимического оксидирования

Соколов Ю.В., Паршутю А.А., Паршутю А.Э., Хлебцевич В.А.

НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси

РИУП «НТП БНТУ «Политехник»

Анодирование в последнее время получило интенсивное развитие в электронной промышленности, позволяющее получать заготовки печатных плат на алюминиевой подложке с высокими параметрами: теплопроводностью, механические свойствами, высоким пробивным напряжением, коррозионной стойкостью, простотой изготовления.

Оксидирование - электролитическое нанесение оксидной пленки на поверхность металлов, сплавов и полупроводников. Пленка защищает изделие от коррозии, обладает электроизоляционными свойствами, Оксидная пленка может быть выращена на определенном металле: алюминий, ниобий, тантал, титан, цирконий. Для каждого из этих металлов существуют свои условия проведения процесса.

Наибольшее влияние а геометрические и физические параметры оксида оказывают состав электролита и электрические режимы формирования. На основании многочисленных экспериментальных результатов установлено, что между геометрическими размерами оксида и напряжением его формирования существует линейная зависимость.

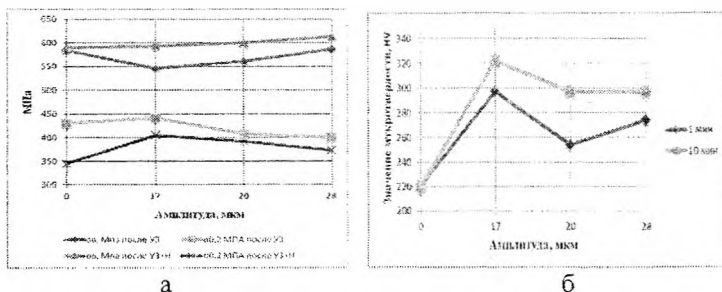
Использование высокого анодного импульсного напряжения при формировании оксидного слоя (200-500 В при периоде следования 3-10 мс, длительности 1-3 мс) позволяет получить пленки микротвердостью до 7 ГПа, пробивным напряжением до 2500 В. Скорость роста пленки составляет 1-1,5 мкм/мин. Повышенное напряжение формирования оксидной пленки приводит к уменьшению размера и числа пор в покрытии, что позволяет достигнуть коэффициента теплопроводности оксида алюминия 3,5 Вт/м К, а общей теплопроводностью заготовки выше 120 Вт/м К

Технология высоковольтного электрохимического оксидирования алюминиевых подложек с теплоотводящими слоем может применяться для изготовления печатных плат, используемых как основа для размещения LED элементов для осветительной аппаратуры, трассировочных микроплат под разварку СВЧ-кристаллов, основание носителей для миниблоков, получаемых методом поверхностного монтажа, и др. Что является достаточно востребованным в период интеграции в обществе энергосберегающих и экологичных технологий производства электрооборудования.

Влияние ультразвуковой обработки на упрочнение стали 40X

Константинов В.М.², Кукин С.Ф.¹, Синиченко Т.Н.², Медведева М.В.²¹РУП «Минский тракторный завод»²Белорусский национальный технический университет

Одним из перспективных способов интенсификации технологических процессов поверхностного упрочнения деталей, термической обработки сталей является воздействие мощного ультразвука. При низких температурах ультразвук способствует образованию дополнительного числа дефектов, что обусловлено деформацией рекристаллизационных зерен за счет знакопеременных напряжений. Обычно это характеризуется более высокой твердостью образцов после ультразвуковой обработки.



Зависимость механических свойств стали 40X от амплитуды озвучивания

Действие ультразвуковых колебаний приводит к накоплению неупругих искажений кристаллической решетки и нарушению межатомных связей. Эффективность ультразвуковой обработки зависит от времени озвучивания и амплитуды колебаний. Циклические напряжения активизируют дислокации, вызывают рост их концентрации, что на определенных этапах приводит к упрочнению металлов. В процессе дальнейшего озвучивания происходит дробление зерен и изменение остаточных напряжений, что приводит к изменению механических свойств металлов, т. е. к некоторому уменьшению прочности характеристик.

Изменение тонкого кристаллического строения металлов при ультразвуковой обработке сопровождается изменением их физико-механических свойств с получением положительного эффекта, не достижимого другими известными способами обработки. Ультразвуковая обработка при перлитном превращении инициирует образование ферритно-перлитных составляющих, повышает их дисперсность и равномерность распределения глобул структурно-сводного феррита.

Энергосберегающая оптимизация термической обработки поковок в процессе металлургического передела кузнечного производства

Синиченко Т.Н.

Белорусский национальный технический университет

Современное производство требует получения промышленного продукта заданного потребительского качества при достаточно низких затратах энергетических ресурсов. В машиностроении и металлургии важнейшим фактором, оказывающим влияние на качество и долговечность деталей, является их термическая обработка, при этом в структуре себестоимости многих изделий машиностроения термообработка занимает существенное место.

Энергосберегающая оптимизация режимов и технологии термической обработки недостаточно освещена и требует выполнения самостоятельного комплекса исследовательских и опытно-промышленных работ:

- 1) Изучение и выявление основных причин отклонений предварительной термообработки поковок;
- 2) Последовательная разработка новых, более совершенных технологических процессов;
- 3) Научный подход к проблемам энергозатрат.

В ряде случаев для исправления неудовлетворительной структуры и получения гарантированной обрабатываемости поковок выполняют дополнительный высокий отпуск или закалку с высоким отпуском. Часть поковок подвергают повторной нормализации. Все эти дополнительные операции приводят к необоснованному увеличению трудоемкости и энергозатрат.

На ОАО «МАЗ» при работе на старом оборудовании для получения стабильных свойств множества кованных (18 наименований) рычагов из стали 40ХН выполняли сложную термическую обработку, состоящую из нормализации для предварительной подготовки структуры и последующего улучшения для окончательного формирования структуры и свойств.

Комплекс выполненных работ позволил обосновать целесообразность исключения операции нормализации для номенклатуры рычагов (18 наименований) из стали 40ХН в кузнечном цехе ОАО «МАЗ», освобождаются мощности агрегата APN-1800G на 13,5 часов в месяц. Плановый экономический эффект в 2010 году - 7,72 млн. руб. в год. Фактический экономический эффект от использования результатов за семь месяцев (10.2010-04.2011) составил 14,4 млн. руб.

Некоторые особенности структурообразования доэвтектоидных сталей при локальном воздействии циклического индукционного нагрева

Ткаченко Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Традиционная термоциклическая обработка с печным нагревом направлена на измельчение зерна стали и не имеет ограничений по количеству циклов. Мелкодисперсное строение получают многократными фазовыми превращениями ферритоперлитной структуры в аустенит с последующим распадом в ферритокарбидную смесь. Чем больше количество превращений, тем выше дисперсность конечной структуры. Однако исследования структурообразования сталей марок 20 и 40Х при индукционном циклическом нагреве показали нецелесообразность длительного термоциклирования. На поверхности развивается вторичная рекристаллизация, а в сердцевине устойчивая полигональная структура. Данное явление проявляется при скорости нагрева $40\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ и охлаждения $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ от 4 и более циклов теплосмен, когда микроискажение кристаллической решетки увеличивается с 0,02 до 0,06. Последующее температурное воздействие на сталь в стационарных условиях (полный отжиг) приводит к образованию разнотерности в сердцевине стальных образцов.

Подобное явление разнотерности возникает при повторных нагревах легированных и углеродистых сталей и носит название структурной наследственности. Возникает вопрос: «Как отделить структурную наследственность от вторичной рекристаллизации слабдеформированного металла?» Известно, что нагрев легированных сталей со структурами мартенсита или бейнита формирует аустенитное зерно исходного размера, который был сформирован предшествующей ковкой или термической обработкой при повышенных температурах. При нагреве равновесных структур наследственность может проявиться, если в исходном состоянии был сформирован видманштет.

Полученные данные по микротвердости крупных зерен (120 HV 0.1), отсутствие игольчатых структур мартенсита и бейнита в циклах охлаждения дают основание утверждать, что в анализируемом диапазоне режимов обработки ($850\dots 600\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$) полностью исключается возможность проявления эффекта структурной наследственности при термоциклической обработке, а разнотерность может быть связана только с процессами фазового наклепа и рекристаллизации зерен.

Игольчатый феррит в структуре высокопрочных сталей

Менделеева О.Л., Иваницкий Н.И.

Белорусский национальный технический университет

Современные микролегированные стали со структурой феррита игольчатого обладают высокой прочностью в сочетании с высокой вязкостью. Эти стали принадлежат к группе HSLA и были специально разработаны для технологии контролируемой прокатки.

Кристаллизация феррита игольчатого наблюдается в HSLA сталях, переохлажденных до 360...390°C - ниже температуры начала бейнитного превращения B_n . Среди факторов, которые влияют на предпочтительное образование феррита игольчатого, прежде всего, следует выделить: наличие неметаллических включений; большой размер зерна аустенита; предварительную диффузионную кристаллизацию тонких ферритных поликристаллических оболочек. Высокая температура аустенизации обеспечивает получение крупного зерна аустенита и высокой степени организации его субструктуры. Пограничный диффузионный феррит затрудняет зарождение бейнитных структур на границе аустенитного зерна и способствует сдвиговому развитию полиморфного превращения. Переохлаждение ниже температуры B_n позволяет избежать кристаллизации феррита видманштеттова, который растет медленно и требует длительных изотермических выдержек. Феррит игольчатый зарождается на неметаллических включениях, таких как диоксиды титана, марганца и их структурные аналоги (TiO_2 , $Al_2Si_2O_7$, MnO_2 , SiC , Si , CoO , V_2O_5). Кристаллы феррита игольчатого растут радиально от включений. Они всегда закономерно ориентированы относительно зерна исходного аустенита, хотя, по сравнению с пакетами бейнита, повторяемость микроструктуры менее очевидна. Границы зерна аустенита непреодолимы для пластин феррита игольчатого. Измельчению структуры способствует более низкая температура изотермической выдержки и увеличение степени пластической деформации исходного аустенита в интервале температур $A_1 \dots B_n$. В результате пластической деформации аустенита возрастает плотность дислокаций. Дислокации препятствуют скольжению межфазной границы, что ограничивает рост пластин феррита игольчатого и приводит к измельчению структуры.

Исходя из анализа этих факторов, можно рассчитать режим термической обработки, при котором будет формироваться дисперсная структура с ферритом игольчатым без бейнита и феррита видманштеттова.

Структурные классы диффузионных слоев

Менделеева О.Л.

Белорусский национальный технический университет

Диффузионные слои одного структурного класса, полученные на разных сплавах при насыщении разными элементами, близки по свойствам. Фаза, свойства которой в наибольшей степени определяют эксплуатационные свойства диффузионного слоя, является основной в его структуре.

По типу основной фазы выделяют структурные классы диффузионных слоев: твердорастворный (ферритный ...); интерметаллидный (цинкидный, алюминидный ...); на основе фаз внедрения (карбидный, нитридный ...) ... При температуре ХТО формируется либо однородная структура диффузионного слоя, либо неоднородная, состоящая из однофазных структурных зон, расположенных по мере удаления от поверхности насыщения. В процессе последующего охлаждения или термической обработки (ТО) в диффузионном слое возможны фазовые превращения, характер которых зависит от режима охлаждения и устойчивости фаз, сформировавшихся при температуре ХТО. Диффузионные слои на основе твердого раствора, изоморфного сердцевине, не имеют четко выраженной границы раздела с сердцевиной, в отличие от диффузионных слоев других структурных классов. Это следствие плавного уменьшения содержания насыщающего элемента в твердом растворе по мере удаления от поверхности насыщения. Глубина диффузии насыщающего элемента значительно превышает толщину диффузионного слоя. Столбчатая структура зоны гомогенного ненасыщенного твердого раствора формируется в результате рекристаллизационных процессов. Характерной чертой таких диффузионных слоев является диффузионная пористость. Гетерогенная структура зоны твердого раствора формируется в результате распада пересыщенного или переохлажденного твердого раствора в процессе охлаждения (или ТО). Диффузионные слои на основе соединений состоят из нескольких структурных зон, каждая с четко выраженной границей раздела. Поверхностная зона соединений (или несколько последовательно расположенных однофазных зон) сформирована кристаллитами игольчатой формы с характерным эпитаксиальным строением. Для диффузионных слоев на основе фаз внедрения характерно интенсивное перераспределение компонентов сплава в процессе сравнения при температуре ХТО с формированием переходной зоны, по сравнению с сердцевиной обедненной (или обогащенной) легирующими элементами.

Изменение структуры и свойств микролегированной автолистовой стали при скоростном нагреве

Соколов Ю.В., Кирильчик А.А.

Белорусский национальный технический университет
Физико-технический институт НАН Беларуси

Одной из основных операций в технологической схеме производства автолистовых сталей, в течение которой формируются требуемые физико-механические свойства, является разупрочняющая термическая обработка, проводимая как в печах периодического действия, так и в печах непрерывного действия. Общая длительность отжига в печах непрерывного действия составляет до 6 – 10 мин. За это время в металле успевают протекать дорекристаллизационные процессы, рекристаллизация, прямое и обратное фазовые превращения, диффузионное перераспределение атомов легирующих компонентов, в том числе атомов элементов внедрения.

Целью данной работы являлось определение закономерностей формирования структуры и свойств микролегированной низкоуглеродистой автолистовой стали при скоростном нагреве.

В качестве материала для исследования использовалась низкоуглеродистая микролегированная ниобием сталь с содержанием углерода 0,07–0,09 %. Нагрев образцов осуществляли на установке электроконтактного нагрева со скоростью нагрева 5 °С/с до температур в интервале 500 – 900 °С.

Установлен характер разупрочнения и упрочнения стали при развитии рекристаллизации и фазового превращения. Определены зависимости твердости от температуры нагрева при отсутствии изотермической выдержки, и при изотермической выдержке в течение 20, 40 и 60 с.

Изучено изменение пределов прочности и текучести, а также относительного удлинения от температуры нагрева при нагреве по режиму, соответствующему режиму термообработки при производстве оцинкованного листа.

Показано, что разупрочнение исследуемой стали, связанное с развитием процесса рекристаллизации, начинается при 600–700 °С в зависимости от режима горячей прокатки и химического состава. Этот процесс не завершается до начала фазового превращения, что приводит к одновременному протеканию фазового превращения и рекристаллизации.

Показано, что оптимальные значения прочностных и пластических характеристик и их сочетания могут быть получены при нагреве в области температур 800 – 850 °С.

**Влияние скоростного нагрева на структуру и свойства
сильнодеформированной высокоуглеродистой стали**

Крылов-Олефиренко В.В., Стефанович В.А., Серегин А.Ю.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Белорусский национальный технический университет

В производстве металлокорда и бортовой проволоки в качестве разупрочняющей термообработки проводят низкотемпературную скоростную термическую обработку для повышения относительного удлинения холоднотянутой проволоки и пластичности при кручении бортовой проволоки и патентирующий отжиг в печи непрерывного действия для обеспечения сорбитной структуры лагунированной проволоки перед последней операцией волочения. Общая длительность патентирующего отжига составляет от 30 до 50 с в зависимости от диаметра проволоки, причем нагрев осуществляется до температуры порядка 950 °С. За это время в стали успевают развиваться дорекристаллизационные, рекристаллизационные процессы, прямое фазовое превращение, обратное фазовое превращение и диффузионное перераспределение атомов углерода. Между тем в литературе практически отсутствуют публикации по зависимости структуры и свойств высокоуглеродистых сталей от условий скоростного нагрева и условий охлаждения.

Целью данной работы являлось определение изменений деформированной структуры в процессе скоростного нагрева и их влияния механические свойства высокоуглеродистых сталей.

В качестве материала исследований использовались высокоуглеродистые стали 80 и 90 после волочения. Степень деформации составляла от 80 до 94 %. Нагрев образцов проводился на установке электроконтактного нагрева со скоростями от 40 до 350 °С/с до температур от 400 до 1050 °С. Особое внимание обращалось на температуры в интервалах 400 – 550 °С и 850 – 970 °С.

Установлено отсутствие признаков того, что в докритической области температур развивается процесс рекристаллизации. Не наблюдается зарождение новых зерен равновесного вида. Определены зависимости пределов прочности и текучести, относительного удлинения и количества оборотов до разрушения при испытаниях на скручивание от температуры нагрева в низкотемпературной области, скорости нагрева и длительности изотермической выдержки для сталей 80 и 90. Получены зависимости размера зерна стали 90 от температуры нагрева в области 840 – 980 °С. Показано влияние добавки хрома на эти зависимости.

**Исследование формирования структуры и свойств
при термической обработке углеродистых и легированных сталей
после вакуумной цементации**

Крылов-Олефиренко В.В., Лашкевич О.Е.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Высокотемпературная цементация при пониженном давлении, или «вакуумная цементация», имеет ряд преимуществ по сравнению с газовой цементацией в печах с контролируемой атмосферой. Основное из них – увеличение производительности с одновременным получением светлой чистой поверхности, а также повышение надежности работы оборудования за счет использования нагревательных камер на основе углеграфитовых материалов, хорошо работающих в углеродсодержащей среде при повышенных температурах. Из-за более высокой скорости подачи газа время цикла значительно сокращается. В вакуумных установках можно получить более высокую температуру, что также сокращает время процесса, особенно для большей глубины слоя цементации. Вакуумная цементация обеспечивает получение бездефектной и блестящей поверхности после охлаждения в газе, незначительные изменения размеров, превосходные механические свойства из-за отсутствия внутреннего окисления.

Цементация в вакууме с использованием пропана или ацетилена применяется в большинстве случаев для деталей несложной геометрии ответственного назначения. Однако было доказано, что ацетилен дает лучший выход по углеводороду из-за своей нестабильности и более высокого содержания углеродов на моль. Поэтому, используя ацетилен, можно без особых проблем производить цементацию даже плотно загруженных садок с деталями сложной геометрии. При термическом разложении пропана образуется 82 % по массе, ацетилена – 92 %. Выход по углероду составляет соответственно ~ 25 % и ~ 60 %. Небольшое количество технологического газа проходит через рабочую камеру и удаляется вакуумными насосами. Параметры процесса, например, температура и проток газа, определяются в зависимости от требования к деталям и используются для управления процессом.

Проведено исследование состояния низкоуглеродистой стали 20 и сталей 20ХН3А, 25 ХГТ после вакуумной цементации. Определена глубина слоя цементации. Изучено влияние вакуумной цементации на ударную вязкость и механические свойства этой стали. Проведено сравнение получаемых свойств после газовой и вакуумной цементации.

Определение глубины проплавления при электронно-лучевой сварке

Юревич С.В., Цыганков Н.И., Губко А.Д.
Физико-технический институт НАН Беларуси

При разработке технологического процесса электронно-лучевой сварки (ЭЛС) одной из важнейших задач является нахождение параметров электронного луча, которые обеспечили бы получение необходимых геометрических характеристик сварного соединения. Это существенно упрощается при проведении предварительных расчетов. Они позволяют уменьшить диапазон поиска оптимальных параметров луча. Такие расчеты чрезвычайно сложны, базируются на упрощенных моделях с целым рядом допущений и носят приближенный характер. При воздействии луча малой интенсивности тепловые процессы в зоне обработки хорошо описываются теорией теплопроводности. При получении глубокого проплавления расчет в рамках теории теплопроводности затруднителен, так как возникает необходимость учета потерь на фазовые переходы.

В работах, посвященных данной тематике, имеются расчетные формулы для нахождения глубины проплавления при ЭЛС с глубоким проплавлением. Анализ работ показал, что в общем случае выражение для расчета глубины проплавления состоит из трех составляющих: энергии луча, израсходованной на единицу длины шва: энергии, потребной для нагрева металла до температуры плавления и расплавления единицы объема и энергии, израсходованной на теплопровод в окружающую зону сварки среду. Проблемы возникают при нахождении энергии, отведенной в окружающий материал и израсходованной на нагрев металла в связи с часто сложной геометрией свариваемого изделия. И если эти значения можно получить методами конечно-элементного моделирования, то энергию, связанную с образованием парогазодинамического канала с фазовыми переходами, найти не удастся.

Проведены расчеты глубины проплавления по формулам из различных источников с последующей экспериментальной проверкой. Точность большинства выражений не превысила 50% от расчетных значений. Наибольшую точность (порядка 80-95%) можно получить при «кинжальном» проплавлении, когда ширина сварного шва у входа луча и у корня шва примерно одинакова. Однако, характер зависимости глубины проплавления от энергетических параметров электронного луча по расчетным данным совпадает с экспериментальными значениями. Поэтому решением может быть самостоятельное введение в формулу корректирующего коэффициента для увеличения точности.

Трибологические свойства упрочняющих тонкопленочных покрытий на деревообрабатывающем инструменте

Мурашова И.В., Поболь А.И., Губко А.Д., Поболь И.Л.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Резание древесных композитов существенно отличается от резания древесного массива. В первую очередь это связано с ударным характером нагружения инструмента в процессе резания. В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности широкое применение находит инструмент из твердого сплава. Его достоинствами являются высокие значения прочности, твердости и износостойкости. Однако, при работе с древесностружечными материалами значений этих характеристик недостаточно для обеспечения высокого качества резания.

Одним из способов повышения ресурса работы твердосплавного инструмента является нанесение на его поверхность тонкопленочных упрочняющих покрытий, способных создать переходную зону между обрабатываемым материалом и режущим.

В качестве основы для нанесения покрытий в работе использовались твердосплавные пластины фирмы Tigra с размерами 30x12x1,5 мм. Нанесение упрочняющих слоев осуществлялось с использованием вакуумно-плазменных технологий. Исследования триботехнических характеристик проводилось на трибометре возвратно-поступательного типа, пара трения сталь шарик из стали ШХ-15 диаметром 4 мм - пластина из твердого сплава (плоскость), приложенная нагрузка 1 Н; длина хода 3 мм, линейная скорость 4 мм/с.

Коэффициент трения для пластин без покрытий находится на уровне 0,4 – 0,5, для инструмента с алмазоподобными слоями - 0,3, для пластин с многослойным покрытием системы Ti-TiN-TiO₂-TiN - 0,7. Толщина слоев на поверхности образцов составляла 2 – 5 мкм.

Рельеф поверхности кромок инструмента в состоянии поставки достаточно ребристый, что связано с заточкой инструмента. После нанесения слоев поверхность образцов сохраняет рельеф заточки. Трибологические испытания пластин с алмазоподобными слоями показали, что наблюдается размытие борозд заточки инструмента, рельеф поверхности сглажен.

Исследования пластин с покрытиями системы TiN-TiO₂-TiN показали, что их структура хлопьевидная и слоистая. По мере истирания покрытия, наблюдается стабилизация поверхности образца, она становится гладкой, без очевидных дефектов. Как и в случае с алмазоподобным слоем, полного истирания в процессе трибологических испытаний не происходит.

Циклическая термическая и химико-термическая обработка ряда конструкционных сталей

Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Семенченко М.В.
Белорусский национальный технический университет

Химико-термическая обработка стали является энерго- и ресурсоемкой операцией. При цементации, борировании или алитировании происходит значительный рост аустенитного зерна, что приводит к снижению механических свойства углеродистых и легированных не карбидообразующими элементами сталей. Поэтому в последнее время появилось множество научных работ по печной циклической обработке (В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский, С.Ф. Забелин, А.М. Гурьев), в которых изучены механизмы структурообразования и механические свойства сталей. Однако циклическое тепловое воздействие индукционного и переменного тока для ТО и ХТО не рассмотрено в полном объеме.

Термическая обработка с циклическим индукционным нагревом, проведенная после нитроцементации (850 °С) стали 40Х, позволяет получить в диффузионном слое мелконгольчатый мартенсит с длиной наибольших игл 4...8 мкм, а в сердцевине стального образца – 8...12 мкм. Помимо увеличения дисперсности происходит новообразование, измельчение цементита (с 15 мкм до 2 мкм) в нитроцементованном слое. В результате площадь цементитной фазы в диффузионном слое заметно больше (в 2 раза), нежели в слое после стационарного режима насыщения. Многократные фазовые превращения при ТЦО в высокоуглеродистом аустените вызывают процессы перераспределения углерода и выделения цементита во время охлаждения.

При повторном нагреве выделившиеся частицы цементита практически не растворяются при максимальной температуре, так как скорость нагрева высока и времени для их растворения недостаточно. Увеличение дисперсности структур сопровождается повышением твердости слоя с 60 HRC до 66 HRC (сталь 40Х). Циклический электроконтактный нагрев прямым пропусканием переменного тока приемлем для ХТО проволоки и других длинномерных изделий. Пропуская по проволоке 09Г2С ток с длительностью импульса 0,01...10 секунды (время нагрева) и длительностью паузы 1...3 секунды (время охлаждения) можно получить за 5 минут при температуре 1100...1200 °С алитированный слой толщиной до 0,2 мм с микротвердостью 2300...2100 HV 0.1

Таким образом, циклический нагрев индукционным током и переменным позволяет не только измельчать структуру, но и сокращать длительность ХТО до нескольких минут вместо часов.

УДК 621.785.5

**Разработка математических моделей, описывающих процессы
химико-термической обработки сталей**

Мельниченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

В статье исследуется возможность статистического моделирования реальных сложных многокомпонентных технологических процессов на примере борирования промышленных сталей различного назначения.

Проанализированы экспериментальные данные и получены математические описания распределения концентрации элементов по глубине слоя, качественная и количественная зависимость хрупкости слоя от нагрузки, и другие технологические параметры.

Элементами научной новизны полученных результатов является применение статистических методов MS Excel для построения линий прогноза (тренда). Такая возможность реализуется путем перебора встроенных линий тренда от линейной, логарифмической к полиномиальной с возможностью варьирования степени полинома. Теснота связи полученной линии связи оценивается коэффициентом корреляции R.

Областью практического применения является учебный процесс. Практическая значимость обусловлена практическим прогнозированием физико-механических свойств сталей и управление качеством технологического процесса.

УДК 621.785

**Перспективы термического упрочнения конструкционных сталей
при интенсивном охлаждении**

Андрушевич А.А., Васильев А. И.

Белорусский государственный аграрный технический университет

В машиностроении одним из наиболее распространенных способов повышения ресурса деталей из конструкционных сталей является термическая обработка (закалка + отпуск). После закалки и отпуска твердость поверхности должна соответствовать указанной в конструкторской документации. На технологию закалки сталей существенное влияние выбор технологии охлаждения и его интенсивность.

Общепринято, что чем мельче структура мартенсита, тем выше качество стальных изделий. Этим гарантируется высокие прочностные характеристики. На современном этапе развития науки и практики поиск технологий упрочнения деталей сводится к получению ультрамелкозернистого состояния структуры.

В результате анализа проведенного при различных технологиях охлаждения (методов окунания, душирование, охлаждение под давлением потока жидкости) можно сделать следующие выводы.

Традиционные методы не обеспечивают высоких скоростей охлаждения стальных изделий и составляют 220-600°C/с. В результате образуются закалочные трещины, а также получается зернистая структура, которая не способствует получению необходимых механических и эксплуатационных свойств стальных изделий.

Исследования зависимости скорости охлаждения при закалке после печного и индукционного нагрева на механические свойства, проводились на образцах из конструкционных сталей 40X, 60ПП (пониженной прокаливаемости).

Перспективными способами являются водяное душирование и охлаждение под давлением потоком жидкости, которые позволяют достигать требуемых диапазонов скоростей охлаждения (1500-10000°C/с). В результате этого не наблюдаются закалочные дефекты, а структурой стальных изделий, является ультрамелкозернистый мартенсит (размерами игл не более 4-6 мкм), что приводит к увеличению комплекса механических свойств (твердость, прочность, вязкость и др.).

УДК 621.785.5

Влияние химико-термической обработки на стойкость инструмента, эксплуатирующегося в условиях Минского тракторного завода

Ситкевич М.В., Минаковская Н.Н.

Белорусский национальный технический университет

С целью повышения долговечности фильеров для протягивания металлопроката проведены работы по применению процессов диффузионного упрочнения с использованием порошковых смесей для боросилицирования при температурах 900-920°C и борокарбозотирования при 560-580°C. В базовом варианте фильеры изготавливаются из сталей У10 и 7Х3. В условиях Минского завода СИиТО, входящего в производственное объединение «МТЗ», процессу боросилицирования подвергали фильеры из сталей У10 и 7Х3 с последующей закалкой и низким отпускком, процессу борокарбозотирования полностью термообработанные фильеры из стали 5Х3В3МФС без последующей термообработки.

Проведенные дюраметрические исследования показали, что на образцах из стали У10 микротвёрдость рабочих поверхностей в результате боросилицирования становится 13,5 ГПа. В случае использования стали 7Х3 микротвёрдость поверхностных слоев после боросилицирования состав-

ляет 14,1 ГПа. Микротвердость поверхностных слоев после борокарбазотирования стали 5Х3В3МФС составляет 13,3 ГПа. В тоже время без химико-термической обработки после закалки и отпуска микротвёрдость исследованных сталей не превышает 8 ГПа.

В настоящее время диффузионноупрочненные детали оснастки для протягивания металлопроката находятся в эксплуатации в производственных условиях цеха подготовки и хранения материалов МТЗ. Проведенные цеховые наблюдения показывают, что в результате использования ХТО фильеров обеспечивается протягивание более 6 тонн металлопроката сечением 50 мм в то время как в случае фильеров без ХТО масса протянутого металлопроката не превышает 2 тонны. Это свидетельствует о повышении их стойкости более чем в 3 раза с одновременным увеличением эксплуатационных периодов, приводящих к уменьшению объемов ремонтных работ, необходимых для замены вышедших из строя фильеров на новые.

УДК 621.791.92

Эффективность легирования азотом наплавленных покрытий, полученных из отходов стали Р6М5

Стефанович А.В., Борисов С.В., Стефанович В.А.
Белорусский национальный технический университет

При ударноабразивном износе наибольшую износостойкость имеют наплавленные покрытия (НП) со структурой, состоящей из аустенитомартенситной матрицы с включениями карбидов, боридов. Соотношение фаз в данной структуре должно быть: твердых частиц- 40-50%, а матрица должна содержать 30-60% аустенита. В НП количество аустенита в матрице регулируется введением Ni и Mn, а получение твердых частиц введением C, B, Cr, Ti. Для снижения никеля в НП вводится азот в виде азотистого феррохрома. К таким покрытиям относятся сплавы 16X16H2AT, 13X14H2Г2AT. Содержание азота в данных сплавах не превышает 0,15-0,19%, и для получения 30-60% аустенита в матрице необходимо дополнительное легирование никелем и марганцем.

Целью работы является исследование эффективности легирования азотом НП стружечными отходами из стали Р6М5, повергнутых предварительному насыщению азотом, углеродом и бором.

Отходы стали Р6М5 насыщали азотом и углеродом при 560°C, а бором при 900°C. Из данных материалов получали НП. Металлографический анализ НП показал, что в матрице количество остаточного аустенита может достигать 70...90%, но при этом количество азота в НП не превышает 0,2%. Поэтому легирование азотом НП, полученных из стружечных отхо-

дов и подвергнутых насыщению азотом является эффективнее легирования азотистым феррохромом. Это можно объяснить следующим: азотистый феррохром содержит 60...75% хрома и 2...6% азота; большинство азота связано в химические соединения CrN, Cr₂N, которые в процессе быстрой кристаллизации при наплавке не успевают диссоциировать и азот не переходит в матрицу, т.е. не способствует сохранению аустенита остаточного. Кроме того частицы ферросплавов могут полностью не растворяться, а только подплавляться, образуя ликвации в структуре. При азотировании стружки азот образует сверхмелкие частицы и растворяется в основе, поэтому при наплавке значительное количество азота попадает в матрицу, способствуя большему сохранению аустенита остаточного в структуре.

УДК 536.46

Особенности индукционной термообработки длинномерных деталей заднего моста автомобиля

Гурченко П.С., Михлюк А.И., Шипко А.А., Польшикова М.А.

Белорусский национальный технический университет

ОАО «Минский автомобильный завод»

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Представлены практические результаты индукционной термообработки длинномерных деталей заднего моста автомобиля – это непосредственно картер и полуоси, длина которых более 1000 мм.

Конструкционная прочность картера заднего моста среднетоннажных автомобилей семейства МАЗ заключается в жесткости кожухов полуосей, высокой твердости рабочих поверхностей цапф при минимальной деформации единой оси детали. Достигается это путем сочетания двух видов термообработки: улучшения заготовки кожуха полуоси и закалкой ТВЧ рабочих поверхностей цапф.

Критерием конструкционной прочности картера большегрузных автомобилей являются: минимальная деформация единой оси детали и высокая твердость рабочих поверхностей цапф. На первом этапе индукционной термообработкой оптимизирована структура и прочность тяжелоагрессивных сварных швов картера двух типов - полученные методом ручной полуавтоматической сварки и сварки трением. Это обеспечило минимальные деформации единой оси и равнозначную конструкционную прочность длинномерной детали (длина 2280 мм, вес 110-130 кг). На втором этапе установлены режимы индукционной закалки цапфы картера, обеспечивающие высокую прочность при минимальном короблении. Использовали одновитковой индуктор с тремя магнитопроводами, расположенными под углом 120° по окружности. Это

позволило перераспределить электромагнитное поле и обеспечить равномерный прогрев цилиндрической части и галтели.

Полуоси всех типоразмеров изготавливают из сталей 40Х, 40ХН, 35ХГСА и подвергают непрерывно–последовательной индукционной закалке. Для обеспечения глубины закалки ТВЧ для полуосей в интервале 5,0 – 8,0 мм и твердостью поверхности 50 – 54 HRC была разработана конструкция двухвиткового индуктора с дифференцированной шириной индукционных витков и регулируемым расположением спрейерного устройства.

УДК 621.78

Разработка энергосберегающих технологий и оборудования обработки деталей подшипников с применением индукционного нагрева

Солонович А.А., Гурченко П.С.,
ОАО «Минский подшипниковый завод»
Белорусский национальный технический университет

При использовании индукционного нагрева дополнительную экономию энергоресурсов можно получить за счет совмещения операций горячей обработки металлов давлением и термической обработки, что подтверждено экспериментальными работами, проведенными на Минском автомобильном заводе (ОАО «МАЗ») и Минском подшипниковом заводе («МПЗ»). Такие технологии могут сократить общий цикл изготовления деталей на время, необходимое для предварительной термообработки после ОМД, с освобождением площадей и оборудования, предназначенных под термообработку.

На ОАО «МПЗ» в настоящее время проводятся опытные работы по замене марки стали с ШХ15 на У8А для изготовления колец подшипников с целью сокращения затрат на материал и термическую обработку.

Для работы выбраны кольца цилиндрического двухрядного подшипника с наиболее простой формой и сечением составляющим - 9 мм. Используемая для опытной работы марка стали – У8А ГОСТ 1435-99.

Изготовление опытной партии поковок колец производили на автоматизированной кузнечной линии Л-309 с использованием индукционного нагрева под горячую ОМД до температур 1150-1180 °С. Конецковки происходил при температурах 900 - 950°С. Применение индукционного нагрева исключило угар металла и образование обезуглероженного слоя в процессе нагрева под ковку.

Обработка опытной партии колец цилиндрического двухрядного подшипника 53610.01 и 53610.02 с выполнением закалки с ковочного нагрева показала отсутствие проблем по обрабатываемости резанием на всех опе-

рациях токарной обработки. Применение углеродистых низкопрокаливаемых сталей типа 60ПП или У8А позволяет снизить себестоимость продукции не только за счет стоимости стали, но и за счет снижения затрат на термообработку. Применение предварительной термической обработки с использованием температуры концаковки заготовок может значительно сократить расходы топливно-энергетических ресурсов, времени и трудоемкости при изготовлении деталей машин.

УДК 621.78

Образование структуры сталей после ионно-плазменного азотирования

Назарова О.И., Ахмед М.Ш.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) является одним из наиболее эффективных способов поверхностного упрочнения, повышающих твердость, сопротивление изнашиванию, контактную выносливость, теплоустойчивость и коррозионную стойкость разнообразных деталей машин и инструмента. Этот процесс химико-термической обработки нашел широкое применение во многих отраслях машиностроения.

Процесс ИПА проводится при температуре 350-600°C. При такой низкотемпературной обработке сталь не претерпевает фазовых превращений. Кроме этого, достигаемое при ИПА упрочнение не связано с получением в поверхностном слое мартенситной структуры. Следовательно, повышение температуры до 600°C, например, в местах контакта сопряжений при трении, не вызывает местного разупрочнения диффузионного слоя.

При азотировании деталей из легированных конструкционных сталей (цементуемых, улучшаемых и азотируемых) следует иметь в виду, что твердость поверхности и глубина азотированного слоя определяются предшествующей термообработкой. Предварительная объемная закалка с отпуском необходима не только для формирования требуемой структуры и свойств сердцевины, но и для обеспечения заданного размера нитридных выделений.

Образование структуры стали после ИПА рассмотрено на примере конструкционной легированной стали 38Х2МЮА. Предварительная термообработка стали – улучшение. После ИПА на поверхности стали сформировался азотированный слой, состоящий из поверхностной зоны нитридов и диффузионного подслоя. В поверхностной зоне присутствуют ϵ -фазы и γ' -фазы (по результатам рентгеноструктурного анализа), соответствующие нитридам железа Fe_2N и Fe_4N . При этом нитриды Fe_4N находятся в более глубоких слоях, чем нитриды Fe_2N . При наблюдении протравленного

шлифа с помощью оптического микроскопа зона нитридов выглядит светлой и почти бесструктурной. Азотистый твердый α -раствор расположен в подповерхностных слоях. Глубина азотированного слоя для стали 38Х2МЮА после различных режимов ИПА составила 0,2-0,5 мм (по результатам измерения микротвердости).

УДК 621.791

Использование предварительного и последующего подогрева при электронно-лучевой сварке условносвариваемых сталей

Поболь И.Л., Юревич С.В.
Физико-технический институт НАН Беларуси

Материал считается поддающимся сварке, когда достигается его металлическая целостность при условии, что свариваемые детали отвечают техническим требованиям, как в отношении собственных свойств, так и в отношении их влияния на конструкцию в целом. Часто обеспечить предъявляемые к сварным соединениям требования достаточно сложно из-за необходимости проведения операций предварительного и последующего подогрева, что бывает затруднительно по целому ряду причин, возникающих при их проведении. При электронно-лучевой сварке (ЭЛС) эффективным решением этих проблем является использование в качестве источника теплоты для подогрева непосредственно электронного луча. Существенным преимуществом такой технологии является возможность нагрева локального участка свариваемой конструкции. Широкие возможности регулировки параметров электронного луча и автоматизации процесса позволяют полностью контролировать термический цикл сварки.

Проведены исследования по соединению с помощью ЭЛС разнородных сталей и сплавов, которые по характеристикам свариваемости относящихся к условносвариваемым. При сварке стали 40Х со сталью 10ХСНД и жаропрочным никелевым сплавом Inco713 в зоне термического влияния стали 40Х образуются закалочные структуры. Значение микротвердости металла в зоне термического влияния стали 40Х достигает 650-720 HV при твердости основного металла 250 HV. При ЭЛС сталей 40Х и 10ХСНД твердость металла сварного шва увеличивается до 400 HV. При сварке сталей 5ХНМ и Р6М5 в зоне термического влияния наблюдаются пики значений микротвердости, имеющие резкие перепады по отношению к основному металлу.

Проведение предварительного подогрева позволяет избежать данных негативных явлений. Твердость металла зоны термического влияние и сварного шва при сварке с предварительным подогревом остается на уров-

не основного металла. Распределение остаточных напряжений в сварных соединениях сталей 40Х и 10ХСНД, определенное методом рентгеновской тензометрии, свидетельствует о наиболее благоприятном распределении напряжений в образцах, полученных ЭЛС с предварительным подогревом.

УДК 621.762

**Анализ технологических свойств диффузионно-легированных
наплавочных материалов подверженных предварительной
высокотемпературной обработке**

Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Важнейшим технологическим фактором, определяющим структуру и свойства наплавленных покрытий при индукционной наплавке, является температура плавления. Проведенные ранее исследования позволили выявить некоторые закономерности. Оплавление диффузионно-легированных отходов чугунной дроби ИЧХ28Н2 в струе плазмы с последующим анализом показало значительное отклонение исходной и обработанной микроструктур [1].

Для высокотемпературного воздействия на диффузионно-легированные наплавочные порошки использовалась установка для дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом. Порошок оплавлялся следующим образом. В предварительно пропиленный в металлической пластине паз $2 \times 3 \times 50$ мм засыпался исследуемый диффузионно-легированный наплавочный порошок и подводился вольфрамовый электрод. Расплавленные порошинки выдувались магнитным полем из паза и закристаллизовывались на воздухе.

Из предварительных результатов исследований установлено, что изменение микротвердости по сечению порошинок аналогично, описываемому в предыдущих работах. На отдельных порошинках видны, возникшие после кристаллизации расплава, первичные бориды правильной геометрической формы.

Исследование оплавления диффузионно-легированных порошков на установке УПУ-3Д и на установке для дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом позволило разработать экспериментальную установку для предварительного высокотемпературного воздействия на диффузионно-легированные порошки. В настоящий момент идет работа по анализу оптимальных параметров установки.

Литература

1. Щербаков, В.Г. Анализ путей снижения температуры плавления диффузионно-легированных наплавочных порошков // Инженерия поверхностно-

УДК 621.762

Исследование диффузионного легирования медных отходов производства

Щербаков В.Г., Чугаев П.С.

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный аграрный технический университет

Фильтрующие материалы (ФМ) – материалы, применяемые для очистки жидкостей и газов, относящиеся к классу пористых сред, характеризующиеся наличием взаимосвязанной системы поровых каналов (пор), которые обуславливают их способность пропускать жидкость и задерживать находящиеся в них частицы загрязнений.

В зависимости от строения твердого каркаса и типа структурообразующих элементов рассматриваемые ФМ можно разделить на 4 группы: порошковые фильтрующие материалы (ПФМ), волокнистые из дискретных волокон — волокнистые фильтрующие материалы (ВФМ), из непрерывных нитей — сетчатые фильтрующие материалы (СФМ) и высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ) [1, 2].

В качестве основы для производства волокнистых фильтрующих материалов использовались отходы кабельного производства. Было проведено предварительное диффузионное легирование медных волокон (цинкование в порошке цинка в подвижном слое) и последующие прессование и спекание по традиционной технологии.

В настоящее время проводятся исследования пористости, коэффициента проницаемости и фазового анализа полученных волокнистых фильтрующих материалов и сравниваются с получаемыми традиционным способом.

Предварительный анализ результатов позволяет утверждать, что по сравнению с классическим спеканием медных волокон, предварительное диффузионное легирование позволило снизить температуру спекания с 1020°C до 860°C и снизить давление прессования перед спеканием с 20-25 тонн до 10-15 тонн.

Литература

1. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2008. – 232 с. . ил.
2. Витязь, П.А. Фильтрующие материалы: свойства, области применения, технология изготовления / П.А. Витязь, В.М. Капцевич, Р.А. Кусин. – Минск: НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.

**Влияние состояния исходной поверхности на стабильность
высокоэнергетического процесса ионного осаждения
из водных растворов**

Калиниченко В.А., Воробьёв Д.В.

Белорусский национальный технический университет

В отличие от стандартных гальванических процессов при ионном осаждении не требуется тщательная подготовка поверхности. В идеальном случае поверхность должна быть очищена от оксидов и обезжирена.

Обезжиривание поверхности можно осуществлять простой очисткой растворителями. Очистка от оксидов и остатков жира и загрязнений происходит запуском реверсивного тока, т.е. сменой полярности на детали и электроде. Данный процесс позволяет не только провести очистку поверхности, но и при работе в реверсивном режиме в течении 3 – 5 минут, происходит частичное растворение поверхностных слоёв, что является активной поверхностью.

Как показывают экспериментальные данные, при работе с активированной поверхностью сцепление покрытия с основой заметно улучшается. При этом, в отличие от неактивированной поверхности, наблюдается с самого начала процесса рост нормальных кристаллов (сходных с кристаллической основой заготовки), а не рост нитевидных или столбчатых структур.

Так же немаловажной характеристикой является материал основы. От него зависит как процесс осаждения, так и характер необходимой предварительной обработки поверхности. Так, при травлении высокоуглеродистых сталей и чугунов (например, корпуса редукторов) образуется большое количество шлама содержащего графит и цементит плохо растворимые в электролитах. Никель, хром и кремний, содержащиеся в коррозионностойких сталях, благоприятствуют пассивации поверхности, чем затрудняют активирование поверхности. Это же относится к кремнию, содержащемуся в некоторых бронзах. Бронзы, содержащие бериллий, обычно требуют плакировку поверхности медью.

Особой подготовки поверхности перед нанесением покрытия требуют цинк и его сплавы, сплавы на основе титана и на основе алюминия. Ряд сплавов на основе никеля (хромель, алюмель и др.), содержащие хром, алюминий и кремний, а так же некоторые сплавы железа (ковар, инвар) так же требуют специфических приёмов подготовки поверхности (например, работа через искусственную подложку).

Выбор состава легирующих элементов при высокоэнергетическом процессе ионного осаждения из водных растворов

Калиниченко В.А.

Белорусский национальный технический университет

По причине разнообразия требований предъявляемых к покрытиям, в настоящее время, большой интерес представляют не монометаллические покрытия, а покрытия из сплавов и композиционные покрытия, получаемые дешёвыми способами и на оборудовании которое доступно на каждом предприятии.

Выбор состава легирующих элементов определяется, во-первых: требованиями, предъявляемыми к покрытиям, во-вторых: возможностью осаждения выбранных элементов в заданной композиции (правое расположение парциальных кривых) и в третьих доступностью данных элементов в виде водорастворимых солей.

Для восстановления стальных и чугунных изделий основными элементами, входящими в состав электролита, должны быть железо, марганец, никель и в качестве пластификатора цинк.

Данный набор элементов является оптимальным для процесса ионного осаждения из водных растворов, так как соблюдаются три вышеперечисленных условия. Эта композиция в осаждённом виде близка по свойствам к легированным сталям, обладает высокой прочностью, твёрдостью и износостойкостью. При этом парциальные кривые данных элементов имеют одинаковое правое смещение, в результате чего все элементы хорошо диффундируют из раствора на осаждаемую поверхность. И в третьих соли этих металлов в виде $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ или $\text{Fe}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$, $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ являются водорастворимыми и легкодоступными.

В качестве объекта испытаний были выбраны изношенные посадочные места под подшипники чугунного редуктора. Необходимо было восстановить поверхность под новый подшипник. В качестве электролита использовался трёхкомпонентный электролит. Варьируемым параметром была выбрана сила тока от 20 до 100 А, время осаждения составляло 1 час. По истечению заданного времени обработки было получено надёжное металлическое покрытие на поверхности редуктора.

Результаты испытаний показали, что использование данного метода весьма эффективно для восстановления изделий на основе железоуглеродистых сплавов.

Подготовка образцов с осаждёнными покрытиями для исследований

Калиниченко М.Л., Кожемякина А.С.

Белорусский национальный технический университет

Образцы с осаждёнными покрытиями подвергаются металлографическому исследованию. Для этого используется следующее оборудование. Для вырезания образцов - абразивное мокрое отрезание, которое обеспечивает минимум повреждений. Для этого в применяется отрезной станок Streuers Labotom-3 (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Отрезной станок Streuers Labotom-3

В зависимости от отрезаемого материала используют круги различного состава. Твердость и пластичность материала влияют на выбор отрезного круга. Керамические и спеченные карбиды режутся алмазами в металлической или бакелитовой основе. Для отрезания черных металлов обычно используется оксид алюминия (Al_2O_3) в бакелитовой основе. Нитрид бора (BN) используется для более твердых черных металлов. Цветные металлы режутся карбидом кремния в бакелитовой основе. Вырезанные образцы запрессовывают в смолы.

Шлифование и полирование осуществляют на автоматическом оборудовании "Lapopol" (рисунок 2), так как опыт показывает, что воспроизводимость и высокое качество достигается лишь автоматикой.

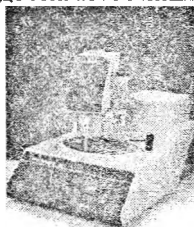


Рисунок 2 – Шлифовально-полировальный станок Streuers - "Lapopol"

После полировки образцы готовы для исследований с применением оптической и электронной микроскопии.

Исследование структур слоев толщиной более 0,5 мм, нанесённых с помощью высокоэнергетического ионного осаждения из растворов

Калниниченко М.Л., Кожемякина А.С.

Белорусский национальный технический университет

Обычно для α -Fe толщина ионно-модифицированного слоя превышает 100 мкм, а для сложнoleгированных железуглеродистых сплавов – 20-40 мкм. Если в составе стали присутствуют элементы с высоким сродством (особенно Cr) к азоту, то эффект упрочнения модифицированного слоя становится более значительным.

Установлено, что эффект модифицирования структуры наблюдается при температуре процесса свыше 450°C . При температуре процесса $600 - 650^{\circ}\text{C}$ происходит формирование азотированного слоя толщиной 50 – 100 мкм. Микротвердость азотированного слоя для высоколегированного чугуна находится в интервале 5000 – 16500 МПа.

В низколегированном чугуне обработка при температуре в интервале $600 - 650^{\circ}\text{C}$ способствует формированию слоя с микротвердостью от 6000 до 11000 МПа. Повышенная микротвердость и меньшая глубина модифицированной структуры высоколегированного чугуна объясняется наличием ванадия. В слое находятся нитридные фазы γ' - Fe_4N и ϵ - Fe_3N . Наибольшее значение микротвердости (т.е. степени упрочнения) наблюдалось при температуре ионно-лучевой обработки равной 650°C . В нитроцементированных слоях чугунов наблюдается значительное количество карбонитридов. изомофных Fe_3C . Микротвердость таких слоев находится в интервале 5000 – 10000 МПа и не зависит от марки чугуна.

Обработка ионами серого чугуна при температуре $350 - 550^{\circ}\text{C}$ способствует формированию модифицированного слоя толщиной до 40 – 50 мкм с микротвердостью 9000 – 10000 МПа. Фазовый состав характеризуется наличием различных фаз: α - Fe, Fe_3C , Fe_3C , C, γ' - Fe_4N и ϵ - Fe_3N .

Сравнение данных по структуре и микротвёрдости чугунов показывает, что независимо от состава и способа модифицирования фазовый состав и микротвердость слоев достаточно близка. Поэтому преимуществом обладают режимы обработки при пониженной температуре, поскольку характеризуются меньшими энергетическими затратами.

Кроме того, высоколегированные чугуны позволяют получать более высокие значения микротвёрдости благодаря наличию в заметном количестве хрома и ванадия.

Расчет технологических параметров плетельно-пултрузионного процесса изготовления профильных композитных стержней

Коструб В.А.

Восточноукраинский национальный университет
имени Владимира Даля (г. Луганск, Украина)

Снижение веса автомобильных конструкций вызывает необходимость применения для их изготовления композиционных материалов (КМ). Совершенствование технологических процессов переработки КМ, и, в частности, волокнистых КМ с эпоксифенольными матрицами, приводит к созданию новых методов формования подобных изделий. Одним из таких методов, позволяющим реализовать непрерывное изготовление длинномерных профильных изделий из волокнистых КМ, является плетельно-пултрузионный метод роллтрузии. Он заключается в формировании стержневых композиционных изделий с помощью профилированных приводных роликов, расположенных в полимеризационной камере. При этом изделие имеет пространственную схему армирования, реализуемую путем спиральной обмотки или оплетки продольных волокон основного армирующего материала.

Реализация такого метода требует расчета целого комплекса параметров технологического характера.

Профильный стержень формируется из полуфабриката, имеющего форму трубки с коаксиальными, пропитанными связующим, слоями основной и вспомогательной арматуры.

Степень наполнения полуфабриката по основной арматуре определяется по формуле

$$\varphi'_i = \varphi_i \frac{\pi}{4},$$

Усилие натяжения основной арматуры

$$P = \frac{F_{\text{пр}} \pi}{2} \cos \alpha \cos \beta + \frac{1 \omega l' \pi d_i}{2} f_{\text{пр}} + p \pi d_{\text{от}} l',$$

Усилие натяжения вспомогательной арматуры

$$T_0 = \frac{16 \eta L_0 k_{\text{с}} V_{\text{пр}} \varphi_{\text{Н}}^2 [2 \varphi_{\text{к}} - \varphi_{\text{Н}} (1 - \varphi_{\text{к}})]}{d_{\text{В}}^2 \varphi_{\text{к}} (1 - \varphi_{\text{Н}})},$$

Скорость протяжки $V_{\text{пр}}$ связана с длиной полимеризационного тракта, площадью сечения стержня и типом связующего. В реализованном процессе изготовления стержней сечением 10x16 мм она составила 0,25 м/мин. Полученные методом роллтрузии стекло- и углеэпоксидные стержни имеют повышенные на 30-40% удельные прочностные свойства.

Теория механизмов и машин

УДК 621.01: 621.7

Кинематика процессов нанесения покрытий с исправлением погрешностей формы изношенных поверхностей

Авсиевич А.М., Осипович В.В.

Белорусский национальный технический университет

Восстановление неравномерно изношенных поверхностей целесообразно производить нанесением покрытий с переменной толщиной соответственно эпюре износа. При нанесении с помощью концентрированных источников энергии толщина покрытия за один проход при постоянном расходе материала определяется временем воздействия потока частиц с участием восстанавливаемой поверхности. Предпочтительно наносить покрытия с переменной толщиной при постоянном потоке частиц и варьировании относительной скорости перемещения детали и источника. Это может быть реализовано путем создания специальных приводов вращения детали.

Учитывая, что стандартные приводы движения деталей обеспечивают постоянную скорость вращения $\omega_1 = const$, приспособление для обеспечения переменной скорости вращения должно проектироваться исходя из обеспечения заданной передаточной функции

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = f(\varphi_1), \quad (1)$$

где ω_2 и ω_1 – угловые скорости упрочняемой детали и вращателя.

График функции $i(\varphi_1)$ должен соответствовать развертке эпюры износа, поэтому в общем случае зависимость (1) может иметь сколь угодно сложный вид. Можно задавать детали переменное вращение с изменением направления угловой скорости. Конструкция передаточного механизма определяется видом погрешности формы изношенной поверхности. Например, исправление смещения оси вращения может быть обеспечено с использованием кулисного механизма, в котором межосевое расстояние между кулисой и кривошипом больше длины кривошипа. При этом за цикл работы через 180° появляются максимум и минимум угловой скорости кулисы. Соотношение размеров механизма определяется степенью износа. Исправление овальности может быть обеспечено последовательным соединением двух одинаковых таких механизмов. Использование в кинематической цепи нескольких кулисных механизмов и зубчатых передач с различными передаточными отношениями позволит исправлять огранку цилиндрических поверхностей. При этом величина передаточных отношений зубчатых передач и количество механизмов зависит от количества граней.

**Подход к анализу температурного поля
при произвольном распределении энергии лазерного излучения
в установках непрерывного действия**

Кочеров А.Л., Пиллпчук А.П., Девойно О.Г., Авсиевич А.М.
Военная академия Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет

На современном этапе развития способов создания покрытий перспективным направлением является применение лазерной обработки для улучшения эксплуатационных свойств. Лазерное излучение обладает резко изменяющимися пространственно-временными характеристиками, что оказывает влияние на температурное поле в пятне нагрева и, как следствие, на свойства поверхностного слоя. Поэтому для выбора оптимальных параметров обработки возрастает значение математического моделирования процесса нагрева тела при воздействии лазерного излучения с произвольным пространственным распределением интенсивности. В данном случае целесообразно использование результатов работы ученых оборонной отрасли СССР.

Разработана математическая модель оценки теплового воздействия немонокотного источника поверхностного нагрева, отличающаяся тем, что функция $f(x,y)$, описывающая распределение источников в граничном условии для неоднородного уравнения теплопроводности, представляется в виде суперпозиции гауссовых источников

$$f(x,y) = \sum_{i=1}^N q_i \exp\left\{-k_i \left[(x - nx_i)^2 + (y - ny_i)^2 \right]\right\}$$

где q_i – максимальное значение интенсивности i -го источника;
 k_i – коэффициент сосредоточенности i -го источника;
 nx_i и ny_i – соответственно сдвиг i -го источника относительно осей Ox и Oy ;
 N – число источников.

Оптимальные значения параметров разложения q_i , k_i , nx_i , ny_i определяются из условия обеспечения минимума среднеквадратичной ошибки аппроксимации δ экспериментального распределения интенсивности.

Полученные значения параметров разложения используются при определении температурного поля в виде суперпозиции решений для гауссовых источников, движущихся со скоростью V по поверхности полубесконечного тела. Применение данной модели позволило повысить точность расчета температурного поля при действии лазерного излучения установки «Комета-2». По сравнению с использованием упрощенного равномерного и гауссова представления точность аппроксимации повышается на порядок.

Особенности проектирования кулачкового механизма с применением ЭВМ

Аншипович П.П., Акулич В.К., Дворянчикова А.Б., Галаев К.О.
Белорусский национальный технический университет

Один из разделов курсового проекта по теории механизмов и машин посвящен проектированию кулачковых механизмов, состоящему в определении основных размеров и координат профиля кулачка по заданным законам движения толкателя. Для решения этих задач на кафедре теории механизмов и машин БНТУ разработан программно-методический комплекс «Синтез кулачковых механизмов», включающий в себя компьютерную программу синтеза и учебно-методическое пособие. Программа позволяет профилировать кулачковые механизмы с различными схемами преобразования движения и законами движения выходного звена. Имеется возможность выполнения как кинематического, так и динамического синтеза. Результаты проектирования выводятся на экран компьютера в виде графического изображения кулачкового механизма, причем имеется возможность привести механизм в движение и наблюдать все фазы его движения. На экране также демонстрируются графики кинематических характеристик толкателя и угла давления от угла поворота кулачка. Проектируемые механизмы могут иметь как геометрическое замыкание высшей пары кулачок-толкатель, так и силовое, когда используется пружина, предотвращающая размыкание высшей пары. В случае силового замыкания имеется возможность расчета параметров пружины. При синтезе кулачковых механизмов сочетаются аналитические и графические методы проектирования. Так построение профиля кулачка выполняется графически с использованием метода обращения движения, позволяющего хорошо усвоить принцип работы механизма. Для отдельных положений производится контрольное сопоставление с результатами аналитического расчета, представленными в итоговом файле работы программы. Интерактивный характер работы программы дает возможность изменять входные параметры синтеза и исследовать их влияние на работоспособность механизма. В частности при некоторых сочетаниях величин фазовых углов поворота кулачка, хода толкателя и законов движения динамический синтез механизма, выполненный с использованием упрощенной совмещенной диаграммы, дает неудовлетворительные результаты. В таких случаях имеется возможность получить решение задачи, многократно используя сначала кинематический, а затем динамический синтез с получением в конечном счете оптимальных параметров механизма.

**Методология использования информационных технологий
в курсе «Теория механизмов и машин»**

Дубовская Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Современная научно-техническая революция характеризуется развитием информационных технологий и интенсивной информатизацией общества. На кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ проводится целенаправленная работа по разработке и внедрению в учебный процесс инновационных образовательных технологий, учитывающих потребность в применении новых форм и методов обучения, в том числе и мультимедийных технологий. Эти технологии соединяют в себе возможность одновременно получения образа объекта, процесса в различных информационных представлениях: графика, звук, видео, реализацию динамизма движения, преобразования объектов в виде анимации.

Научно доказана эффективность использования мультимедийных технологий для повышения объема восприятия, усиления внимания, развития памяти и интеллекта, активизации мыслительной деятельности за счет возможности воздействовать на оба полушария головного мозга, включить дополнительный источник повышения интенсификации обучения, связанный с образным мышлением.

Мультимедийные технологии были использованы студентом Петровым Д.А. при выполнении студенческой научно-исследовательской работы по теме «Классификация зубчатых механизмов». В данном проекте представлены виртуальные модели зубчатых механизмов с различным расположением осей зубчатых колес: с параллельными осями (внешнего, внутреннего и реечного зацепления), с пересекающимися осями (коническая передача), со скрещающимися осями (винтовая и гипоидная передача), показаны передачи с прямым, косым, шевронным и криволинейным зубом, планетарный механизм. Дана классификация зубчатых механизмов по форме профиля зубьев, по окружной скорости, по конструктивному оформлению, в зависимости от характера относительного движения валов.

Модели выполнены в 3D, т.е. в трехмерном изображении, которое несравненно более качественное и реалистичное по сравнению с фото- и видеоматериалами. 3D-графика и анимация позволили смоделировать механизмы в динамике, в различных ракурсах, «оживить» модели, всесторонне их визуализировать.

Данный проект будет использован при создании электронных учебных материалов.

**Виброзащита машиностроительного оборудования
от вибрации внешних источников**

Кудин В.В., Кудин М.В.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что на станину (корпус) машины, наряду с силовыми воздействиями от внутренних источников неуравновешенности и отдельных звеньев механизмов действуют кинематические возмущения со стороны опорных поверхностей. При этом как силовые, так и кинематические возмущения на корпусе машины проявляются в виде колебательных процессов. Силовое воздействие обычно кратно основной частоте вращения ротора, а амплитуда этого воздействия пропорциональна квадрату угловой скорости. Кинематическое воздействие не является периодическим, а закон его изменения во времени носит нерегулярный, хаотический характер. Основными причинами хаотичности является большое число независимых источников вибрации и нерегулярность физических процессов в этих источниках. Кроме этого вибрации от источников до объекта передаются через грунт, различные участки которого, соответственно, обладают разными физико-механическими свойствами. Поэтому кинематическое возмущение на входе объекта виброзащиты представляет случайный характер. Невозможно одновременно учесть все факторы, влияющие как на частоту, так и амплитуду колебаний. Кинематическое возмущение включает в себя виброперемещение, виброскорость и виброускорение соответствующих точек опорной поверхности, выражающие суммарное воздействие всех работающих машин и оборудования.

Вибрационное возмущение предлагается получить инструментальным методом с помощью виброметра «Октава 101В», предназначенного для измерения характеристик общей и локальной вибрации. Виброметр подключается к персональному компьютеру (ПК) и информация, полученная экспериментальными измерениями, переносится в память ПК в виде функции $F(t)$, записываемой в специальном файле. Решение задачи спектрального анализа функции $F(t)$ выполняется в численном процессоре Mathcad при помощи алгоритма быстрого преобразования Фурье. Спектральный анализ функции $F(t)$ позволяет получить значения частоты, амплитуды и начальной фазы, характеризующих кинематическое возмущение и на их базе построить амплитудный и фазовый спектры. Амплитудные и фазовые спектры используются при разработке виброзащитных систем рабочих машин.

Структура механизмов с высшими парами

Кудин В.В.

Белорусский национальный технический университет

Структурный анализ механизмов, содержащих как низшие, так и высшие пары, предлагается производить на заменяющей схеме механизма, в основу которой положен метод замены высших кинематических пар кинематическими цепями с низшими парами. Однако такая условная замена высших пар виртуальными звеньями по нашему мнению является не совсем удобной.

Структурные группы должны удовлетворять единственному условию: степень подвижности группы после присоединения свободными элементами кинематическими пар к неподвижному звену равна нулю ($w_{гр}=0$). Тогда, используя формулу Чебышева, установим какое число подвижных звеньев и какое число низших p_H и высших p_B кинематических пар будет удовлетворять условию: $w_{гр}=0$. Оказывается, что таких вариантов может быть несколько, удовлетворяющих условию

$$3n - 2p_H - p_B = 0.$$

Наиболее простая структурная группа, содержащая $n=1$, $p_H=1$, $p_B=1$ будет удовлетворять этому условию. Примерами таких однозвенных структурных групп являются зубчатое колесо с одной вращательной и одной высшей (зубчатой) парами, либо толкатель с поступательной и одной высшей (кулачковой) парами.

Так как низшими парами являются одноподвижные пары (вращательная и поступательная), а высшие пары – двухподвижными, то можно выделить 8 разновидностей однозвенных групп с высшими парами.

В случае, если $n=2$ то число низших пар $p_H=2$, а число высших $p_B=2$. Такие двухзвенные структурные группы должны иметь 2 низшие и 2 высшие пары. Примером такой группы является зубчатое колесо (сателлит) и водило Н, образующие между собой вращательную пару, а сами присоединяются к другим звеньям дифференциального (планетарного) механизма с помощью двух высших и одной (низшей) кинематических пар. При этом такие структурные группы соответствуют 3 классу группы Ассура, состоящей только из низших пар. При структурном синтезе в результате получим разного типа зубчатые механизмы с неподвижными и подвижными осями (планетарные, дифференциальные) либо кулачковые механизмы.

Таким образом, введения понятия структурной группы с высшими парами позволяет показать как строение механизма, так и пути образования новых схем механизмов с высшими парами.

**Получение механической характеристики
маховичного двигателя мобильной машины**

Астахов Э. И., Шкурко С. С.

Белорусский национальный технический университет

Механические характеристики, т. е. зависимости ведущего момента M_ϕ на валу двигателя от его угловой скорости ω , для типовых двигателей (электродвигателей постоянного и переменного тока, двигателей внутреннего сгорания и др.) давно приведен в технической литературе, и представляются на графиках в виде кривых. Для маховичных двигателей с быстро вращающимся маховиком механические характеристики, необходимые для исследования динамики разгона, торможения и установившегося движения машины, в существующей литературе отсутствуют, за исключением работ профессора Гулиа Н.В.

Одним из путей получения механической характеристики маховичного двигателя является использование уравнения движения вращающегося звена приведения динамической модели в форме кинетических энергий:

$$\frac{J_{n0}\omega_0^2}{2} - \frac{J_n\omega^2}{2} = \int_0^\varphi M_n^o d\varphi + \int_0^\varphi M_n^c d\varphi \quad (1).$$

Рассчитываются приведенный момент инерции J_n и приведенный момент сопротивления по конкретным составляющим (составляющей сил веса, сопротивления перекачиванию шин, составляющей лобового сопротивления воздуха) и при отсутствии M_n^o , при начальном условии $\omega_0 = 0$ из уравнения (1) рассчитывается угловая скорость ω звена приведения – колеса машины. Расчеты ω_i целесообразно вести численными методами. По полученной численной зависимости угловой скорости $\omega_i(\varphi_i)$ звена приведения рассчитываются угловые ускорения $\varepsilon_i(t) = d\omega / dt = \Delta\omega_i / \Delta t_i$, где $\Delta t_i = \Delta\varphi / \omega_i$, а также производную $dJ_n / d\varphi \approx (J_{n_{i+1}} - J_{n_i}) / \Delta\varphi$. Затем используется уравнение движения звена приведения в дифференциальной форме, из которого определяются численно величины условного приведенного момента M_{ni}^o движущих сил:

$$M_{ni}^o = M_{ni}^c + J_{ni}\varepsilon_i + \frac{\omega_i^2}{2} \cdot \frac{\Delta J_i}{\Delta\varphi_i} \quad (2).$$

По рассчитанным значениям M_{ni}^o строятся графики момента движущих сил $M_{ni}^o(t_i)$ или $M_{ni}^o(\omega_i)$.

Исследование приведенного момента инерции мобильной машины с маховичным двигателем

Астахов Э. И., Шкурко С. С.

Белорусский национальный технический университет

Объектом исследования является мобильная машина – грузопассажирский вариант автомобиля маршрутного такси. Источником энергии является быстровращающийся маховик, запас кинетической энергии которого обеспечивает перевозку на конечное расстояние до 50 км. Трансмиссия заднеприводного автомобиля передает вращение от вала ведущего маховика к полуоси ведущих пневмоколес, и состоит из волновой зубчатой передачи в герметичном корпусе маховика, фрикционной муфты сцепления, двухступенчатого клиноременного вариатора, конической зубчатой передачи, карданного вала, конического дифференциала с двумя полуосями колес. Разгонный электродвигатель через обгонную муфту периодически подключается к вариатору для раскрутки маховика на конечной остановке. Одна из ступеней вариатора соединена с педалью регулировки скорости движения автомобиля или с программным устройством задания скорости. Другая ступень является следящей с автоматической регулировкой передаточного отношения вариатора для обеспечения постоянной скорости выходного вала вариатора, при медленном уменьшении частоты вращения маховика.

Для анализа динамики разгона и торможения мобильной машины её трансмиссия представлена двухмассовой моделью (при идеально жестких звеньях) с вращающимися звеньями J_1 на валу маховика и J_2 на ведомом валу полуосей автомобиля, принятом за звено приведения модели. После окончания краткой пробуксовки муфты сцепления и полного сцепления полумуфт динамическая модель станет одномассовой с общим инерционным параметром – приведенным моментом инерции $J_n = J_1 + J_2$. Величина J_n получена из равенства кинетических энергий всех вращающихся звеньев и после математических преобразований запишется в виде: $J_n = J_2 + J_1 / U_{k-1}^2(\varphi)$, где J_1 – постоянная составляющая ведущих звеньев полумуфты с маховиком, J_2 – постоянная составляющая вращающихся звеньев ведомой части колес автомобиля, U_{1-k} – передаточное отношение вариатора. При разгоне величина U_{1-k} зависит от обобщенной координаты φ_2 . Поэтому и приведенный момент инерции J_n будет переменным в зависимости от угла φ_2 колеса.

**Методическое обеспечение зала курсового проектирования
по теории механизмов и машин**

Анципорович П.П., Акулич В.К., Александров И.А., Гармаза Р.Н.
Белорусский национальный технический университет

Кафедра теории механизмов и машин БНТУ ведет учебный процесс на восьми факультетах. Для успешного усвоения студентами учебного материала большое значение имеет курсовое проектирование. Тематика курсового проектирования охватывает широкий круг технологических машин и машин-двигателей, соответствующих специфике отдельных специальностей. Кафедра постоянно работает над разработкой и совершенствованием методического обеспечения курсового проектирования по дисциплинам «Теория механизмов и машин» и «Теория механизмов, машин и манипуляторов». С этой целью в текущем учебном году с помощью студентов заочного отделения значительно обновлены наглядные пособия в зале курсового проектирования.

В работе приняли участие студенты, получившие среднее техническое образование, умеющие работать с графическими пакетами. В процессе выполнения проектов использованы и доработаны алгоритмы наиболее сложных расчетов и по ним изготовлены плакаты. В частности, учтено, что в типовых учебниках и учебных пособиях мало внимания уделено такому трудному для освоения вопросу, как определение реактивных и управляющих сил и моментов сил в кинематических парах манипуляторов промышленных роботов, что, в свою очередь, имеет важное значение для построения системы управления роботом.

На нескольких плакатах приведены примеры решения задач по кинематическому и силовому исследованию основных плоских рычажных механизмов.

Одним из разделов курсового проекта, выполняемого студентами факультета информационных технологий и робототехники, является проектирование логической системы управления механизмами машины-автомата по заданной тактограмме на основе электромагнитных элементов. В связи с этим подготовлены плакаты, на которых показана последовательность поэтапного решения этой задачи на примере конкретной тактограммы и даны рекомендации по графическому оформлению соответствующего листа проекта.

Разработанные наглядные пособия не повторяют, а дополняют материал, излагаемый в учебно-методических пособиях по курсовому проектированию, которые используются студентами.

Горные машины

Определение основных аэродинамических параметров сушки опилок в кипящем слое

Кислов Н.В., Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

Обеспечение наибольшей прочности брикетов и пилет из древесных опилок достигается при их влаге (относительной влажности) в пределах 8-12 %. Отходы деревообработки имеют влажность 30-60 %. Поэтому в технологии производства брикетов и пилет с использованием опилок предусматривается их сушка.

Наиболее приемлемыми с точки зрения энергозатрат являются ротерные сушилки с направленным перемещением кипящего слоя сыпучего материала. Принцип работы такой сушилки основан на использовании псевдооживления материала и направленного его перемещения от места загрузки на газораспределительную решетку к сектору выгрузки.

Обоснованный выбор параметров сушки опилок в роторной сушилке с кипящим слоем обеспечивается сведениями об основных аэродинамических характеристиках слоя. Это критическая скорость \mathcal{Q}_k псевдооживления (начало «кипения» слоя), потери давления p в слое и высота H кипящего слоя. По этим данным выбираются конструктивные и дипломные параметры роторной сушилки.

Выполненные экспериментальные исследования процесса сушки древесных опилок свидетельствуют о возможности перевода их в псевдооживленное состояние в широком диапазоне удельных загрузок $q = m/F$, где m – масса материала; F – площадь газораспределительной решетки, м². Для начала псевдооживления опилок характерен переходный режим с первой критической скоростью $\mathcal{Q}_{k1} \cong 1,2$ м/с. Наибольшие потери давления в слое отмечаются в начале его кипения и характеризуются зависимостью $p = 0,9gq$, Па, где $g = 9,81$ м/с².

Расширение псевдооживленного слоя опилок при увеличении скорости \mathcal{Q}_ϕ фильтрации газа характеризуется порозностью ε , для определения которой предлагается зависимость $\varepsilon = 0,19 \cdot Re^{0,18}$, где $Re = 800-3000$ – число Рейнольдса для режима перехода слоя опилок в кипящее состояние.

Максимально возможная высота H слоя для принятой загрузки q и скорости \mathcal{Q}_ϕ фильтрации, соответствующей режиму уноса частиц из сушилки

$$H = H_0(1 - \varepsilon_0)/(1 - \varepsilon),$$

где H_0 – высота неподвижного слоя частиц на газораспределительной решетке; ε_0 – порозность неподвижного слоя.

Сапропель Беларуси: ресурсы, использование, технологии освоения

Курзо Б.В.*, Березовский Н.И., Гайдукевич О.М.*,

Кузмицкий М.В., Ковалева И.М.

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»*

Белорусский национальный технический университет

Сапропели – органогенные образования пресноводных водоемов с содержанием органического вещества более 15%.

Основными направлениями использования сапропеля являются сельское хозяйство, медицина, промышленность строительных материалов, буровая техника. Благодаря высоким сорбционным свойствам сапропели служат хорошей основой для высокоэффективных комплексных многокомпонентных удобрений. Сапропели используются в качестве минерально-витаминных препаратов для скармливания животным и птицам. Сапропели применяются в бальнеологии в качестве лечебных грязей и для получения на их основе лечебных препаратов. Малозольные сапропели используются в технологиях производства пористых керамических изделий, аглопорита, теплоизоляционных материалов, связующего для древесноволокнистых плит, в качестве компонентов промывочных жидкостей при бурении скважин, как заменителей дорогостоящих и дефицитных реагентов.

Технологии добычи сапропеля основаны на использовании как типового серийно выпускаемого, так и оригинального технологического оборудования. Месторождения озерного сапропеля разрабатываются следующими технологиями: гидромеханизированной с использованием земснаряда; экскаваторной с использованием грейферного рабочего органа; ковшовозелеваторной; канатно-скреперной.

В ГНУ «Институте природопользования НАН Беларуси» разработан новый канатно-скреперный способ добычи сапропеля. При добыче канатным скрепером залежь сапропеля разрабатывается упорядоченно, отсутствует подготовка месторождения к эксплуатации. Работа оборудования не лимитируется глубиной воды и зарастаемостью озера, имеется возможность проведения работ в труднодоступных местах месторождений. Технологическое оборудование размещается вне участка разработки, возможно круглогодичное проведение работ и использование данной технологии для добычи сапропеля на выбывших из эксплуатации торфяных месторождениях.

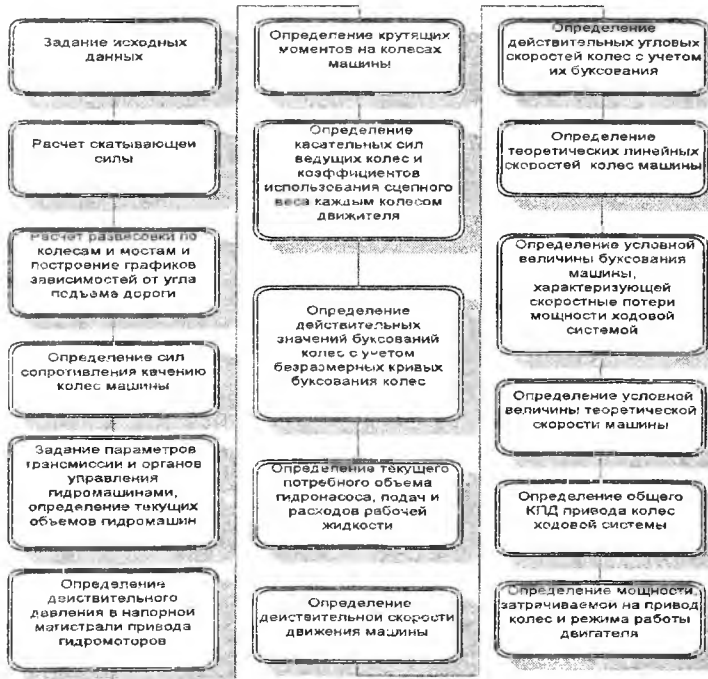
Применение технологий добычи сапропеля обусловлено горно-геологическими условиями месторождений, а также энергетическими и экологическими параметрами применяемых технологий разработки.

Алгоритм статического тягового расчета машины 4К4 с гидроприводом колес

Таяновский Г. А.

Белорусский национальный технический университет

Гидрообъемные приводы колесных ходовых систем полноприводных низкоскоростных технологических машин переменной массы позволяют существенно расширить возможности их компоновки. При работе по схеме полного дифференцирования суммарное тяговое усилие ведущих колес машины существенно зависит от сцепных условий отдельных колес, сопротивлений их качению и текущих положений органов управления гидромашинами такой трансмиссии. Для исследования возможностей поддержания требуемой тяги в характерных штатных условиях движения разработан представленный на рисунке алгоритм расчета тяговых свойств машины, адекватность которого подтверждена натурными испытаниями экспериментальных образцов машины с гидроприводом колес.



УДК 622.331;622.271

Развитие технологии добычи топливного торфа

Нагорнов Д.О., Кремчеев Э.А.

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Современное развитие технологии добычи и переработки топливного торфа должно базироваться на внедрении принципиально новых способов добычи, снижающих зависимость результативности производства от неблагоприятных природно-климатических условий.

В настоящее время технология добычи торфа послойным фрезерным способом испытывает существенные трудности из-за низкого качества продукции, ненадежности поставок потребителю, а также высокого уровня пожароопасности, природоохранных и экономических рисков.

Зная несовершенство применяемой технологии, необходимо переходить на новые способы добычи топливного торфа. Которые должны развиваться по двум основным направлениям: увеличение продолжительности сезона добычи торфа; экскавация торфа из залежи с последующим искусственным обезвоживанием в заводских условиях.

Сегодня наиболее перспективным направлением решения основной задачи, стоящей перед торфодобывающим производством, представляется создание технологического процесса круглогодичной добычи торфа на принципиально новой технической основе с использованием последних достижений научно-технического прогресса.

Предприятия-комбинаты с круглогодичным производством торфяной продукции на основе искусственного обезвоживания торфа могут заменить предприятия по добыче фрезерного и кускового топливного торфа с полевой сушкой продукции. Такие предприятия будут обладать рядом существенных преимуществ: выполнение годового объема производства торфяного топлива при постоянном качестве вне зависимости от метеорологических условий; расширение районов добычи и увеличение использования торфяных ресурсов; круглогодичная занятость работающих; повышение престижности профессии; улучшение условий труда и жизни.

УДК 622.331

Обоснование типа транспортных машин при карьерной добыче торфа

Кремчеев Э.А., Нагорнов Д.О.

Санкт-Петербургский государственный горный университет

В торфяном производстве залежь является основанием для движения транспортных машин, следовательно, разработка транспортной концепции в первую очередь сопряжена с обоснованием типа и вида транспорта тор-

фяного сырья в пределах торфяного массива. Учитывая необходимость обеспечения универсальности и адаптивности звеньев транспортной системы предприятия (использования единых машин и оборудования для выполнения нескольких операций технологического процесса) выбор основного транспортного оборудования следует проводить с учетом возможности его использования для транспортировки сырья до цехов переработки.

С целью уменьшения издержек производства на перевозку торфяного сырья при его добыче и на доставку сырья до перерабатывающего модуля при разработке транспортной схемы необходимо руководствоваться следующими принципами:

- обеспечить максимальную концентрацию производства, что сократит расстояния перевозок как при внутримассивном транспорте, так и при вывозе сырья до перерабатывающего модуля;

- уменьшить количество звеньев транспортной цепи;

- в благоприятные периоды добычи осуществлять досушку торфяного сырья на месторождении;

- промежуточный склад (штабель торфяного сырья) следует располагать на суходолах вблизи постоянных дорог.

В результате проведенных аналитических и полевых экспериментальных исследований установлено, что в качестве основного транспортного оборудования следует использовать колесные транспортно-тракторные агрегаты, обладающие достаточными тягово-сцепными свойствами, проходимостью и эффективностью при движении по торфяной залежи, на грунтовых дорогах и дорогах с твердым покрытием.

УДК 622.121

Повышение эффективности питательности торфа

Дорогов О.В.

Тверской государственный технический университет

Высокое содержание в верховом слаборазложившемся торфе легко и трудногидролизуемых полисахаридов (до 80%), биологически активных веществ и других ценных соединений послужило предпосылкой к применению его в кормовых целях. Однако исходный торф имеет низкую питательную ценность. Это связано с тем, что большая часть углеводов (полисахаридов) и другие высокомолекулярные соединения недоступны для действия микроорганизмов, соков и ферментов пищеварительного тракта животных. Для превращения верхового слаборазложившегося торфа в полноценный питательный корм необходимо подвергнуть его соответствующей обработке. Наиболее высокие показатели питательности торфа получаются в результате ферментативной переработки. Метод фермента-

тивной переработки основан на принципе микробиологической реакции перевода органического вещества в усваиваемую форму. Микроорганизмы, потребляя питательную среду, увеличивают свою популяцию, что в свою очередь приводит к увеличению питательности корма. Чтобы создать благоприятные условия для протекания процесса повышения питательности торфа надо подобрать состав смеси, в котором возможен процесс развития микроорганизмов. Смесь должна включать в себя: торф, который является носителем биомассы, органическое вещество – источник питательной среды микроорганизмов, минеральные вещества, необходимые для успешного протекания процесса. В целях интенсификации процесса, в смесь рекомендуется вводить часть готового продукта “закваски”. Обозначенные выше компоненты смешивают в определённых пропорциях и помещают в специальную ёмкость, где при заданных условиях выдерживают определённое время. В начальный период выдерживания идет адаптация микроорганизмов, находящихся в торфе, к условиям среды. Для этого они используют вещество, присутствующее в зерне (комбикорме) – клейковину. Затем наступает стадия роста, происходит потребление биологически активных веществ, находящихся в торфе (биогенов, аминов, органических кислот и других), которые необходимы для строительства клетки. Одновременно с потреблением биологически активных веществ микроорганизмы используют белок, присутствующий в комбикорме. В результате данных преобразований популяция микрофлоры возрастает на 2-3 порядка, что приводит к увеличению питательной ценности ферментируемой смеси.

УДК 622.121

Анализ процесса перемешивания при ферментативной переработке

Дорогов О.В.

Тверской государственной технической университет

Для научно обоснованного ведения процесса ферментативной переработки в заданных условиях важно осуществлять постоянный контроль ряда технологических показателей, как-то характеристика исходного торфа, состав ферментативной смеси, внешние факторы (температурный и аэрационный режимы, время года), а также параметры перемешивания. Перемешивание при ферментативной переработке осуществляется внутри ёмкости ферментёра, путём её вращения. При ферментативной переработке данная операция осуществляется дважды. В первый раз для придания смеси однородности, после её загрузки в ёмкость ферментёра. Второй раз во время проведения аэрации с целью удаления углекислого газа и поступления в смесь кислорода в необходимых количествах. При анализе результатов экспериментов, целью которых было получение зависимостей биоло-

гической активности смеси и количества “закваски”, температуры и влажности смеси видно, что её увеличение происходило с временными спадами. Предполагается, что такие спады связаны с тщательным перемешиванием ферментируемой смеси, которое осуществлялось раз в сутки в течение пяти минут. В процессе перемешивания разрушаются создавшиеся колонии микроорганизмов, и какое-то время требуется для того, чтобы процесс размножения вновь активизировался. Разрушение колоний микроорганизмов объясняется процессами радиального и осевого смещения частиц, которые имеют место быть при перемешивании. Радиальное смещение наступает, если частицы изменяют свою траекторию движения в плоскости поперечного сечения. Изменение траектории движения частиц основано на гравитационном оседании таковых в находящееся на их пути свободное пространство между частицами прилегающего снизу слоя. Осевое смещение основано на том, что частицы изменяют свои траектории движения в одной плоскости перпендикулярной радиусу смещения на соответствующие им траектории циркуляции в прилегающих плоскостях. Такое явление возникает вблизи боковых стенок барабана, находящегося с ними в контакте, поскольку движение частиц задерживается трением о стенки, вследствие чего возникает тенденция перемешиванию частиц в соседние слои. В связи с предполагаемым отрицательным влиянием перемешивания следует стремиться к минимизации времени перемешивания смеси и частоты вращения ёмкости ферментёра.

УДК 631.32

Мероприятия по улучшению осушения участка по добыче фрезерного торфа

Ермияш Д.М., Пухова О.В., Купорова А.В., Королев И.О.
Тверской государственной технической университет

Для подготовки торфяного месторождения к добыче торфа выполняют гидротехнические мероприятия по осушению торфяной залежи. Путем осушения осуществляется сброс из торфяной залежи избыточных запасов воды и максимально ограничивается поступление на территорию торфяного месторождения поверхностных и грунтовых вод с прилегающей территории.

В результате разработанных гидротехнических мероприятий торфяного месторождения «Тухун» Новгородской области осушения торфяной залежи повысилась несущая способность залежи, увеличивается выход воздушно-сухого торфа; понизился уровень грунтовых вод до величины, обеспечивающей на поверхности условия для процесса сушки торфа; создались условия для быстрого отвода поверхностных вод.

Цель работы – изучение процессов осушения торфяных месторождений с наименьшим отрицательным влиянием на окружающую природную среду и в первую очередь на режим прилегающих водных объектов.

Проведен анализ осушительной сети торфяного месторождения «Тухун». На основании экспериментальных данных рассмотрены зависимости потенциала влаги по глубине. Описаны процессы, происходящие в торфяной залежи ниже и выше уровня грунтовых вод (зона аэрации), и теоретически показаны отличительные особенности движения влаги в торфяной залежи в пределах обозначенных зон. Предложены практические методы для снижения влажности торфяной залежи.

Для улучшения осушенности торфяной залежи месторождения «Тухун» разработаны следующие рекомендации: механические воздействия (разрушение структуры, уплотнение торфа); временное переосушение залежи; применение шелевого дренажа; профилирование поверхности карт с целью создания поверхности с уклоном в сторону осушителей.

Таким образом, для эффективного осушения месторождения требуются комплексные мероприятия, выходящие за пределы методов понижения уровня грунтовых вод.

УДК 662.641:634.0.332

Использование дробленых древесных включений после глубокого фрезерования торфяной залежи при ее подготовке к эксплуатации

Жигульская А.И., Беляков В.А.

Тверской государственной технической университет

Древесные включения в торфяной залежи оказывают значительное влияние на технологические процессы добычи торфа. Кроме того, их наличие приводит к значительному увеличению динамических нагрузок в элементах привода и конструкции торфяных машин.

Уже более 30 лет торфяные месторождения подготавливаются к эксплуатации только с применением машин по глубокому фрезерованию залежи вместе с древесными включениями, что связано с относительно невысокой стоимостью подготовки производственных площадей при достаточно хорошем качестве выполнения работ.

С помощью фрезы на глубину до 40 см перерабатывается корнеобитаемый слой торфяного месторождения вместе с произрастающим кустарником и мелкими деревьями (до 8...10 см в диаметре), травяно-моховым покровом и древесными включениями, погребенными в залежи. Высокая засоренность подготовленного слоя мелкими древесными остатками считалась одним из недостатков этого способа, приводящим впоследствии к ухудшению качества торфяной

продукции. Однако некоторые современные виды продукции из торфа требуют добавления древесной массы в торф, поэтому возникает необходимость определения объема древесных включений, уже имеющихся в торфе после глубокого фрезерования.

Перед разработкой торфяного месторождения проводится детальная разведка, при которой определяются показатели, характеризующие качество торфяной залежи (в том числе пнистость), гидрологические и другие исследования. В состав разведки входят также лесотаксационные работы, в которых определяются площади с древесной и кустарниковой растительностью; состав пород древостоя; число ярусов; возраст, высота и диаметр деревьев; полнота насаждений; бонитет условий местопроизрастания.

Для использования торфа совместно с другими ресурсами торфяных залежей (древесной растительностью, очесного слоя, пневой древесины) необходимо пересмотреть классическую концепцию по составу комплекса машин и оборудования, используемых в производстве. Данная модернизация приводит к сокращению машин и оборудования и позволяет создать варианты малогабаритных технологических схем добычи и переработки сырья, полученного глубоким сплошным фрезерованием.

УДК 662.641:634.0.332

Производство торфяной формованной продукции с использованием новых видов связующих добавок

Жигульская А.И., Гусева А.М.

Тверской государственный технический университет

При разработке торфяных месторождений остаются миллионы кубометров пневой древесины, которая может успешно применяться в различных производствах взамен деловой, а чаще всего используется в качестве топлива для котельных. Большое содержание органического вещества, высокие влаго- и газопоглощительные свойства, значительное содержание азота, отсутствие болезнетворных начал и антисептичность делают его незаменимым продуктом для сельскохозяйственного использования.

Наиболее перспективными направлениями использования древесины торфяных залежей следует считать получение материалов, не связанных с нарушением ее микроструктуры и химического состава.

Одним из вариантов применения древесных включений торфяной залежи является получение связующей добавки (древесноволокнистой массы) для торфяных полых горшочков. При производстве полых торфяных горшочков в качестве основного связующего компонента к торфу добавляется коробочный картон. Для успешного развития данного вида торфяного

производства необходимо использовать связующую добавку (древесноволокнистую массу), сырьем для которой служит пневая древесина торфяной залежи, отходы лесозаготовок и других производств.

Получать связующую добавку для торфяных горшочков предлагается термомеханическим способом с двухступенчатой схемой размола, т.к. данная технология позволяет получить качественную древесную массу, которая не требует дополнительной переработки и может сразу же смешиваться с торфом.

Формованная продукция должна обладать определенными свойствами, такими как механическая прочность, влаго- и воздухопроницаемость, а также устойчивость развитию болезнетворных бактерий, которые улучшаются при использовании пневой древесины в качестве сырья для получения связующей добавки.

Замена исходного сырья (деловой древесины) в производстве связующей добавки торфяных горшочков на более доступное и дешевое (пневую древесину торфяной залежи).

Таким образом, реализуется задача рационального и комплексного использования местных сырьевых ресурсов.

УДК 662.331 + 553.973

Утилизация отходов производства

Березовский Н.И., Грибкова С.М., Лесун Б.В., Попко С.В.
Белорусский национальный технический университет

Республика Беларусь располагает сырьевыми топливными ресурсами торфа, продуктами его добычи и переработки (торф для брикетирования и пылевидного сжигания, брикеты, кусковой торф).

Анализ современного состояния вопроса по энергоемкости технологических операций производства брикетов показал, что снижение энергоемкости можно добиться за счет экономного распределения технологического оборудования на производственном участке, уменьшения дисперсии влажности и зольности торфа улучшения фракционного состава; переработки торфа в брикеты, а также использование в промышленности отходов производства. Перспективный метод утилизации отходов различных отраслей промышленности – их использование в производстве строительных материалов. Это способствует расширению сырьевой базы, экономии материальных ресурсов, сокращению затрат на их транспортировку и складирование.

Совершенствование технологии производства аглопорита из глинистого сырья месторождения «Фанипольское» состоит в использовании отходов, имеющихся на ТБЗ и заводах стройматериалов с целью увеличения произ-

водительности агломерационных машин и экономии сырьевых ресурсов. Использование в составе шихты глинистого сырья и отходов производства (пыль циклонов, лом торфяных брикетов) предполагает создание в технологическую схему дополнительной линии, при помощи которой отходы будут вводиться в состав шихты. Это позволит улучшить технологический процесс спекания и сэкономить глинистое сырье и топливо.

Выполнению постановлений Правительства Республики Беларусь по проблеме защиты окружающей среды способствует разработка и создание безотходных технологических производств, работающих по замкнутому циклу и максимальное использование отходов на действующих предприятиях. Рациональное применение промышленных отходов в промышленности строительных материалов позволит полнее использовать резервы производства и даст значительный экономический эффект.

В результате утилизации и использования отходов промышленности в народном хозяйстве страны достигается экономия капитальных вложений и снижение расходов производства как в отраслях, выпускающих материалы и изделия из отходов, так и в промышленности, располагающей утильным сырьем.

УДК 662.641:634.0.332

Технологическое оборудование для комплексного использования и переработки торфяной залежи

Яконовская Т.Б.*

Тверской государственной технической университет (Россия)

В современных экономических условиях основой инновационного развития экономики любого региона России является комплексное и рациональное использование имеющихся природных ресурсов.

Среди природных ресурсов, требующих комплексного подхода к изучению и освоению, торф, очесный слой торфяных залежей, погребённая древесина и продукты лесопереработки занимают особое место по разнообразию состава и свойств, наличию широкого класса химических веществ и соединений, что позволяет получать много различных видов продукции на их основе.

Широкая география торфяных месторождений, сравнительно высокая степень доступности, экологическая чистота и ценность таких ресурсов являются побудительными мотивами повышенного интереса к их освоению во многих регионах страны и за ее пределами.

Расширение спектра использования торфяных ресурсов, рост интереса инвестиционных компаний к их освоению определяет уровень требований, предъявляемых к содержанию торфяных фондов, технологиям добычи и

переработки торфяного сырья, технологическому уровню оборудования. В настоящее время известны три основные технологии разработки торфяных месторождений, позволяющие комплексно использовать ресурсы торфяной залежи с дальнейшей их переработкой.

Выбор технологического оборудования для разработки торфяных месторождений зависит от характера поверхности, растительного лесного покрова, характеристики торфяной залежи (степень разложения и пнистость). Причем в качестве основного признака характеристики торфяного месторождения принята степень облесенности.

Недостатком первой технологии является то, что порубочные древесные остатки вывозятся за пределы торфяного месторождения и сжигаются. Недостаток второй технологии – это сильная засоренность залежи мелкими древесными остатками, что ухудшает технико-производственные показатели добычи торфа. Недостатком третьей технологии следует отметить высокую засоренность торфа. Однако, применение такой технологии подготовки торфяного месторождения целесообразно для торфа низкой степени разложения, который пользуется высоким спросом из-за возможности получения широкого спектра сельскохозяйственной продукции путем его переработки.

** Работа выполнена под руководством Жигульской А.И.*

УДК 61.53.29

Критериальные подходы при оценке качественных показателей инновационных видов торфяной продукции

Мисников О.С., Тимофеев А.Е., Черткова Е.Ю.

Тверской государственной технической университет (Россия)

Многие процессы в горном производстве описываются криволинейными зависимостями, что затрудняет анализ и требует использования адекватных математических моделей. Процессы добычи и переработки торфа также часто бывают нелинейными, например, кривые сушки, графики кинетики водопоглощения и другие. В связи с этим для обработки и анализа экспериментальных данных был использован метод оценки нелинейных процессов, который заключается в установлении взаимного влияния параметров процесса при приведении функций к нормализованному виду.

На основании анализа функционалов, полученных для кривых сушки торфяных гранул с различными концентрациями глинистых добавок, было установлено, что наибольшее значение функционала соответствует смеси с содержанием глины 0,4. Данный композиционный материал обладает наибольшей способностью к отдаче влаги, т.е. при соответствующих начальном и конечном влагосодержаниях десорбция влаги идет наиболее эффек-

тивно. Установленный оптимум имеет практическое значение для технологий получения различной торфоминеральной продукции: гидрофильные сорбенты, сырье для пиролиза. Для них данное значение концентрации неорганической составляющей также близко к оптимальному.

Для оценки конечных свойств получаемой многокомпонентной продукции был введен критерий эффективности композиций $K_{экс}$, который отражает во сколько раз совместное действие составляющих смеси повышает их начальные свойства:

$$K_{экс} = \frac{X_0}{\sum_{i=1}^k X_i C_i},$$

где X_0 – величина свойства композиционной смеси; X_i – величина свойства у исходных компонентов; C_i – массовая доля компонентов смеси, k – количество компонентов в смеси.

Для торфяных композиций с добавками каолиновой глины было установлено, что наибольшей эффективностью также обладают смеси с содержанием минерального компонента 0,4.

Предложенный критерий является универсальным и может быть использован для многокомпонентных систем различного состава.

УДК 632. 232

Способ и оборудование для изоляции штабелей торфа

Шпынев В.М., Жигульский М.А.

Тверской государственной технической университет (Россия)

Летний сезон 2010 года показал, что пожары, возникающие на территории РФ, принесли значительный ущерб населению, лесному фонду страны и торфяным предприятиям.

Открытый огонь, возникающий на торфяном поле, представляет серьёзную опасность, так как его распространение, особенно при порывистом ветре, происходит со стремительной скоростью и захватывает большие площади. Горят взвешенные частицы высохшего торфа по площади карт (размер карты 500*20м), воспламеняются штабели убранный торфа, и огненный вал перемещается за пределы торфяного участка, как правило, в лес. Борьба со стихией, в таких условиях, весьма затруднительна, а потери от сгоревшего в штабелях торфа невосполнимы.

Предложенный нами способ и оборудование по изоляции штабелей фрезерного торфа позволяет практически исключить их загорание при верховом огне на участках добычи. На этот факт обратили внимание и представители государственного пожарного надзора, принимавшие уча-

стие в работе Государственной комиссии по приёмке данного способа в производство (Протокол от 4.10.1982.).

Разработка данного способа происходила с целью торможения процесса саморазогревания фрезерного торфа в штабелях. При определённых условиях процесс саморазогревания приводит к самовозгоранию торфа и соответственно к появлению очагов открытого огня, что и определяет возникновение пожара.

В процессе испытаний и опытной эксплуатации машины установлено, что корневой угол факела форсунок составил $89 - 92^\circ$ и соответствует расчётному значению.

Состав распыленной эмульсии состоит из фракций $0,1 - 0,7$ мм, что обеспечивает равномерность покрытия по всей поверхности. По результатам экспериментальных исследований плёночного покрытия и его качества в период хранения торфа в штабеле необходимо иметь сплошную плёнку толщиной $2,0 - 2,5$ мм с показателем воздухопроницаемости $33 - 47$ $\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$. Для получения такой толщины плёнки из битумно-щелочной эмульсии требуется трёхкратное напыление по одной поверхности. На изоляцию одного штабеля массой 1000т расходуется около 4 т эмульсии.

УДК [622.331:631.312.34]:636.083.14

Исследование процессов производства продукции на основе торфа для сельского хозяйства

Копенкина Л.В., Воробьев А.А.

Тверской государственный технический университет (Россия)

Одним из полезных ископаемых с обширными и разнообразными свойствами является торф. Направления использования торфа и продуктов его переработки определяются их народнохозяйственной потребностью.

В настоящее время в Тверском регионе продолжается широкое внедрение торфа и торфяной продукции в сельскохозяйственное производство.

В настоящее время торф используется в виде различных торфяных грунтов и субстратов, прессованной и формованной продукции для выращивания овощей, цветочных, декоративных и лесных культур. Это торфяные полые горшочки, субстратные торфоблоки, плиты сухого прессования, питательные брикеты, стимуляторы роста.

Применение торфа как подстилочного материала – одно из ценных направлений использования торфа в сельском хозяйстве.

Повышение урожайности сельскохозяйственного производства во многом определяется возможностью использования торфа как ценного органоминерального сырья для производства удобрений, раскислителей, ме-

диорантов, позволяющих расширить номенклатуру торфяной продукции и имеющих хорошие перспективы на внутреннем и внешнем рынках.

Проведенный анализ заводской переработки верхового торфа степенью разложения до 25% показывает, что по дисперсному составу при получении одних видов торфяной продукции предпочтение отдается мелкой фракции с размером частиц не более 6-8 мм, для других видов – крупной фракции (подстилка, кипованный торф на экспорт, тепличные грунты) с размером частиц не менее 3-5 мм. Фрезерная крошка, прошедшая сортировку, затем используется для приготовления той или иной торфяной продукции в соответствии с предъявляемыми требованиями к ней по фракционному составу и другим показателям.

Для производства торфяных почв рекомендуется использовать торф со степенью разложения 20-30 %. По фракционному составу лучшим является верховой торф, содержащий не более 30% мелких фракций (размером менее 1 мм); из них частиц размером менее 0,5 мм не более 5%. Разработана технология производства грунтов особо высокого качества из верхового торфа низкой степени разложения на специализированных линиях.

УДК 622.331:662.271.4 091

Развитие научных школ в области добычи и переработки торфа

Копенкина Л.В.

Тверской государственной технической университет (Россия)

Термин «научная школа» имеет различные определения. Можно отметить следующие признаки научной школы: объединение группы ученых для решения определенной проблемы или изучения объекта; новый теоретический подход и методы изучения, отличающиеся от других научных школ; существенное влияние на развитие науки и техники данного направления; привлечение последователей в других научных школах, т.е. интенсивное влияние на теоретические и практические положения и методы. Научные школы формируются в разных центрах действия, называются по имени лидера или метода и объекта исследования, главной теоретической идее. С течением времени в связи с изменением методов изучения, теоретических подходов, центров действия, сменой лидеров научные школы трансформируются, из них выделяются новые научные школы, которые могут сохранять или изменять научные традиции и научные направления.

Развитие научных школ в области добычи и переработки торфа в СССР было связано с созданием специальных научных центров (Инсторф (1922), ТОС (1927), филиалы Инсторфа (1929), Институт торфа АН БССР (1932), ВИМТ (1934), ВНИИТП (1941), Калининский филиал ВНИИТП (1955), отделы НИР вузов (МТИ (г. Москва), БПИ (г. Минск), СГИ (г. Сверд-

ловск), ТПИ (г. Томск), КПИ (г. Каунас), УИИВХ (г. Ровно), где осуществлялась подготовка научных кадров в области торфяного дела.

В истории торфяного дела России можно выделить несколько научных направлений и школ по имени лидера, которые стали образовываться с 1920-х гг. и развивались на протяжении 20 века. Самыми значительными из них в Московском торфяном институте, затем Калининском политехническом институте являются научные школы В.С. Доктуровского, В.Г. Горячкина, И.Г. Блоха, М.А. Веллера, В.С. Варенцова, М.П. Воларовича, М.В. Мурашова, С.Г. Солопова, В.Е. Раковского, С.Н. Тюремнова, В.Я. Антонова, В.М. Наумовича и др.

Исследования в области торфяного дела велись по широкому спектру проблем, разработка которых способствовала повышению эффективности торфяного производства. Наиболее крупными были направления: физика и химия торфа, технология фрезерного торфа, торфобрикетное производство, гидротехника в торфяном производстве, технология кускового торфа, торфяные месторождения и их разведка, химическая технология торфа, механика торфяной залежи и др.

УДК 629.331

Энергетический баланс дисковой фрезы

Казаченко Г.В., Кислов Н.В., Басалай Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Рассматривается взаимодействие дисковой фрезы с массивом полезного ископаемого и обосновываются возможности вычисления затрат мощности на привод фрезы при наличии в породе включений. Подобные фрезы применяются как инструмент для разделки горной породы на небольшие блоки, нарезания щелей в породе, а также для экскавации породы с целью дальнейшей переработки (фрезформовочные торфяные машины).

Отличительным признаком дисковой фрезы является то, что ширина его захвата мала по сравнению с диаметром, а число ножей в линии резания сопоставимо или равно общему числу резцов.

Для вычисления мощности на привод фрезы рассмотрено ее взаимодействие с залежью и определены нагрузки, действующие на нее.

В результате сформированы выражения для определения всех составляющих затрат мощности на работу дисковой фрезы. Это позволяет анализировать распределение мощности в зависимости от свойств разрабатываемой породы, конструктивных и режимных параметров фрезы. Проведен анализ для фрезы машины добычи кускового торфа при следующих исходных данных: ширина выработки $B = 0,05$ м; глубина выработки $H = 0,5$ м; рабочая скорость машины $v_n = 0,25$ м/с; наружный радиус фрезы $R = 0,6$

м; число резцов на фрезе $z = 30$; плотность экскавируемой массы $\rho = 1000$ кг/м³; местная пнистость залежи $\alpha = \alpha_0 = 0,01$ и $\alpha = \sqrt{\alpha_0} = 0,1$; коэффициент трения между волочимым материалом и кожухом $f = 0,5$; угол волочения $\alpha_s = 0,6\pi$. Результаты расчетов представлены диаграммой.

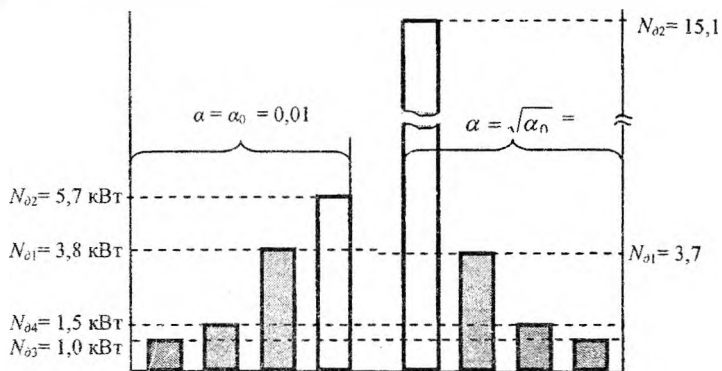


Диаграмма распределения мощности на привод фрезы при разной местной пнистости залежи

Таким образом, величина мощности, необходимой для работы фрезы, зависит главным образом от прочности залежи. На ее распределение по отдельным составляющим большое влияние оказывает наличие включений и характеристики их прочностных свойств. Расчеты подтверждают мнение о том, что мощность на подъем ископаемого можно пренебрегать вследствие ее малости по сравнению с другими составляющими.

Предложенный способ оценки неравномерности сил резания открывает возможность снижать эту неравномерность за счет рационального выбора конструкции и режимов работы фрезы.

УДК 631.372

Исследование изменения технического состояния навесного фрезформирующего оборудования после различной наработки

Ромашко Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В рамках государственной программы «Торф» ведется разработка новой конструкции машины для добычи кускового торфа, навесной к колесному трактору. Однако, это не первый опыт разработки и использования машин такого типа в Беларуси. С целью выявления преимуществ и недостатков существующих конструкций оборудования для добычи кускового торфа

проанализированы на основании отзывов сотрудников эксплуатирующих организаций статистика возникновения отказов, а также изменение технического состояния машин НТК-2 после различной наработки.

Практика эксплуатации показала, что в процессе использования проявляются следующие недостатки конструкции машины. За первые три года эксплуатации возникают следующие отказы: выход из строя карданного вала привода машины от ВОМ трактора; повышенный износ и выход из строя конической передачи коническо-цилиндрического редуктора; трещины на диске фрезы в местах расположения отверстий; износ чашечных ножей и поломка их креплений. Данные неисправности быстрее и чаще проявляются у машин, работающих на залежах с более высокой пнистостью, и связаны с высокими нагрузками на перечисленные составные части машины при фрезеровании пня. Кроме того, коническая передача подвергается значительному износу из-за затрудненного доступа, сложности и трудоемкости процесса ее регулировки.

При эксплуатации в период от 3 до 5 лет, как правило, проявляются следующие недостатки: выход из строя отбойной плиты и крепления опорной лыжи, вызванные усталостными напряжениями из-за превышения нагрузок, опять же связанных с высокой пнистостью залежи; нарушение герметичности пресса и формователя из-за необходимости постоянной очистки пресса от древесных включений. При эксплуатации более 5 лет дополнительно возникают следующие отказы: износ витков шнека по толщине из-за интенсивного трения; износ витков шнека по наружному диаметру из-за отсутствия второй опоры шнекового пресса. Проведенный анализ изменения технического состояния фрезформирующего оборудования после различной наработки и выявленные конструктивные недостатки характерны для машин марки НТК-2, работающих в разных условиях, поэтому могут быть учтены при разработке новой конструкции машины.

УДК 631.372

Резервы повышения производительности рубильных машин в условиях торфопредприятий

Хащицевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Актуальность проблемы вовлечения в народное хозяйство местных источников топлива привела к увеличению разработки торфяных площадей. Как следствие на пнистых залежах скорчевывается большой объем пневой древесины, которая является хорошим источником тепловой энергии. Для сжигания такой древесины ее необходимо измельчить в щепу, с этой целью используются отечественные рубильные машины МР-25 и МР-40

Минского тракторного завода, в научном обосновании которых принимали участие авторы статьи. Однако эффективность машин, при измельчении крупных скорчеванных пней, крайне низка из-за сложности загрузки их в приемный порт машины. Обеспечить приемлемую полноту загрузки рубильной машины можно предварительной разделкой пней в габариты ее приемного окна.

Проведены изыскания и предложена рациональная схема переработки пневой древесины в щепу, а также конструкция передвижного модуля предварительной разделки на базе универсальной колесной лесохозяйственной полуприцепной тележки, на которой устанавливается рубильный модуль машин МР-25. Передвижной модуль предварительной разделки позволяет непрерывно обрезать до требуемых размеров крупногабаритные корчи неразложившейся пневой древесины, загружаемые гидроманипулятором, управляемым оператором установки из кабины на шасси полуприцепа. После чего подающим конвейером весь материал продвигается в приемный порт рубильной машины. Привод активных рабочих органов модуля предварительной разделки осуществляется от ГСОМ трактора. Все звенья агрегата сцеплены в тракторный поезд и при измельчении пневой древесины удерживаются на месте штатной тормозной системой, что позволяет оперативно продвигаться вдоль складированных корчей и существенно снижает непроизводительные потери времени. Топливную щепу от рубильной машины ее метатель через разгрузочную поворотную направляющую загружает в сменные оборотные кузова, которые затем отвозятся на склад тракторными поездами-щеповозами. Обслуживают агрегат оператор и подсобный рабочий. Производительность возрастает до пяти раз, обеспечивая окупаемость всего агрегата за один сезон.

**Работа выполнена под руководством Таяновского Г.А.*

УДК 622.331.002.5

Исследование особенностей взаимодействия пневмоколесного хода с торфяными залежами в лабораторных условиях

Яблонев А.Л.

Тверской государственной технической университет (Россия)

В Тверском государственном техническом университете разработана и создана модель пневматического колесного хода для исследования его взаимодействия с торфяными залежами различных качественных характеристик, а также с другими грунтами и основаниями. Модель дает возможность проводить исследования в течение всего года независимо от погодных условий, легче, чем в полевых условиях, позволяет подбирать и изменять характеристики опорных поверхностей и пневматических колес.

Модель позволяет поддерживать давление в пневматических колесах от 0,01 МПа до 0,3 МПа, воспроизводить нагрузку на колесный ход от 0 до 2320 Н. Определяемые в ходе лабораторных экспериментов с моделью величины силы сопротивления передвижению и силы сцепления колес с грунтом по специальным методикам переводятся в реальные полевые условия в виде удельной силы сопротивления передвижению, удельной силы сцепления, коэффициента сопротивления передвижению и коэффициента сцепления колес с грунтом.

Серия проведенных экспериментов с торфяной залежью верхового типа нарушенной структуры различных значений влажности и плотности позволила определить: нагрузки на колесные опоры, при которых целесообразен эффективный переход на сдвоенный колесный ход; максимальное смещение колеи передних колес относительно задних, при котором не наступает увеличения интенсивности роста силы сопротивления передвижению; оптимальное давление воздуха в шинах по условию минимизации силы сопротивления передвижению; средние коэффициенты сопротивления передвижению для залежей уплотненных и уплотненных впереди идущими колесами. По результатам серии опытов, построена математическая модель, описывающая зависимость силы сопротивления передвижению от нагрузки на колесо, давления воздуха в шинах и влажности торфяной залежи, которая коррелируется с плотностью залежи и с предельным напряжением сдвига.

Модель пневмоколесного хода задействована в учебном процессе для студентов специальности 190603 - СТМ (Сервис транспортных и технологических машин и оборудования), выполняемые лабораторные работы с использованием данной модели и последующая обработка полученных данных с использованием программы Excel 2007 обладают свойствами широкой информативности, показательности, наукоемкости.

УДК 622.331

Получение топливных брикетов с использованием отходов льнопереработки

Цыбуленко П.В.

Белорусский национальный технический университет

На заводах переработки льна имеются большие накопления отходов в виде костры, образующейся в трепальных машинах. По своим теплотехническим свойствам при сжигании она находится на уровне древесной коры, соломы и поэтому может быть использована как один из компонентов в композитном топливном брикете на основе торфа.

Проведенные исследования на кафедре «Горные машины» показали

возможность получения композитного брикета, отвечающего ГОСТ 13672-76 на топливный брикет из торфа.

В качестве объекта исследований выбрана торфяная сушенка низинного типа степенью разложения $R = 32\%$ с содержанием влаги 14% , средним размером частиц $d = 3,2$ мм, насыпной плотностью $\rho_n = 310$ кг/м³ и костра льнозавода, расположенного в г. Кобрин Брестской области, с содержанием влаги 18% , насыпной плотностью $\rho_n = 90$ кг/м³ и средним размером частиц 1-3 мм в поперечном сечении и длиной 3-10 мм.

Процесс прессования проводился на гидравлическом прессе ПСУ-125 с максимальным усилием на штемпеле 1250 кН. При исследованиях определялся коэффициент уплотнения смеси $K = H_1/H_2$, где H_1 – начальная высота засыпки смеси в матрицу, мм и H_2 – толщина брикета в сжатом состоянии, мм, а также прочность брикета на изгиб σ_n , МПа. Опыты проводились при давлении прессования $p = 100$ МПа близкими к значениям прессования в производственных условиях. Установлено, что прочность брикета на изгиб σ_n с увеличением массовой доли костры снижается и при значении содержания костры более 30% выходит за пределы прочности установленной ГОСТ 13672-76, т.е. $\sigma_n < 2$ МПа.

Влияние содержания костры в смеси на коэффициент уплотнения K характеризуется интенсивным его ростом с увеличением массовой доли костры. Так при содержании костры 40% коэффициент K увеличивается в 4,3 раза по сравнению с чистым торфяным брикетом.

Таким образом, исследования прессования смеси торфа и костры показали возможность получения качественного брикета при содержании в смеси костры не более 30% по массе. Однако при этом значительно увеличивается коэффициент уплотнения, что приводит к необходимости увеличения рабочего хода штемпельного пресса, являющимся основным прессовым оборудованием при получении торфяного топливного брикета.

УДК 631.372

Механико-математическая модель динамики неопрокидного скипа

Таяновский Г.А., Гушин Э.П.

Белорусский национальный технический университет

Особенности динамики взаимодействия неопрокидных скипов через роликоопоры с микропрофилем направляющих проводников жесткой армировки шахтного ствола калийного рудника приводят к необходимости уменьшения скорости подъема сосудов, частой замене роликоопор, снижению производительности рудника и большим затратам. Необходимо существенно повысить ходимость роликоопор. Методика выбора параметров перспективных роликоопор с увеличенной ходимостью для скипов

большой грузоподъемности включает анализ их динамики на математических моделях на ЭВМ.

Разработана расчетная динамическая система “скип-жесткая армировка” с учетом лобовых и боковых контактов упругих роликоопор со случайным микропрофилем проводников, обладающих собственной податливостью, детерминированно распределенной по длине пути. Система имеет восемь фазовых переменных. С использованием основного уравнения динамики в форме уравнений Лагранжа второго рода с обобщенными силами составлена система дифференциальных уравнений взаимосвязанных вынужденных колебаний скипа во время движения, при кинематическом возмущении со стороны пути и допущении, в первом приближении, о том, что он движется с установившейся средней скоростью и боковой увод роликов не учитывается. Подобраны моделирующие выражения корреляционных функций для описания случайного микропрофиля поверхностей контакта роликов с проводниками, которые необходимы для формирования входных воздействий на динамическую систему. Также получены выражения для закона изменения нормальных податливостей лобовой и боковых поверхностей проводников по их длине, с учетом мест их крепления к стволу, а также зависимости нормальных и боковых жесткостей деформируемой шины ролика от величин соответствующих деформаций.

Разработана программа исследования механико-математической модели в функции параметров роликоопор и параметров пути, с целью установления расчетных динамических нагрузок для последующих ресурсных расчетов роликоопор при выборе их рациональных параметров по критериям динамической нагруженности и долговечности, а также оценки влияния скорости движения скипа в порожнем и груженом состояниях на уровень динамических нагрузок роликоопор.

УДК 517.929.7

Математическая модель температурного поля в зоне пожара в горной выработке

Ляшенко В. П., Григорова Т.А., Кобыльская Е.Б.
Кременчугский национальный университет (Украина)

Горную выработку можно представить в виде конечного полого двуслойного цилиндра, во внутренней части которого распространяется горячий поток воздуха и других газов от пожара. Очаг пожара расположен на одном из концов выработки. Прогретый, в очаге пожара, воздух вентиляционным потоком распространяется по горной выработке со скоростью v . На внутренней поверхности цилиндра имеет место конвективный теплообмен по закону Ньютона с горным массивом. До возникно-

вения пожара начальные температуры воздушной среды и поверхности пород массива предполагаются постоянными –

$$T_1(r, z, 0) = T_2(r, z, 0) = T_0 = const.$$

Целью работы является определение температурного поля в горной выработке $T_1(r, z, t)$ и породе $T_2(r, z, t)$. Это приводит к решению системы из краевой и нелокальной задачи в области $\Omega: \{ 0 < z < l, 0 < r < r_0, t > 0 \}$:

$$\operatorname{div}(\lambda_3 \operatorname{grad} T_1) - c_1 \rho_1 v \frac{\partial T_1}{\partial z} - c_1 \rho_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = 0,$$

$$T_1(r, z, 0) = T_0, \quad T_1(r, 0, t) = T_0, \quad T_1(r, l, t) = T_l, \quad T_l > T_0,$$

$$\left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad \lambda_1 \left. \frac{\partial T_1}{\partial r} \right|_{r=r_0-0} = \lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_0+0},$$

$$\operatorname{div}(\lambda_2 \operatorname{grad} T_2) - c_2 \rho_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = 0, \quad 0 < z < l, \quad r_0 < r < R, \quad t > 0$$

$$T_2(r, z, 0) = T_0,$$

$$\lambda_2 \left. \frac{\partial T_2}{\partial r} \right|_{r=r_0+0} = -\alpha (T_1 - T_2), \quad \lim_{r \rightarrow R} T_2 = T_0$$

$$T_2(r, l, t) = T_l, \quad \int_0^l T_2(z, t) dz = S$$

Решение системы задач получено численно-аналитическим методом.

УДК 631.372

Особенности производства калийных удобрений в современных условиях

Рухля И.Е.

Белорусский национальный технический университет

Конкуренция на мировом рынке производителей калийных удобрений требует постоянного совершенствования технологии переработки и обогащения калийной руды с целью повышения качества готовой продукции, снижения ее себестоимости, удовлетворения спроса потребителей и завоевания рынка сбыта. Например, китайские потребители отдают предпочтение белому продукту с содержанием KCl 98 %, немецкие производители калия хлористого поставляют особо чистый концентрат – 98-99 %-й. Казалось бы, речь идет о нескольких процентах, эффективность которых в

сельском хозяйстве уловить сложно. Однако сегодня все стараются экономить, покупая лучший продукт за ту же цену.

Кроме того, более требовательными стали потребители и к другим качественным показателям готового продукта, например, к гранулометрическому составу. Техническими условиями СПЭКС 001-98 установлены следующие марки калийных удобрений, поставляемых на экспорт: марка М, Н, О и Г, отличающиеся главным образом размером частиц. Главным различием калийных удобрений, выпускаемых по техническим условиям Республики Беларусь, также является их гранулометрический состав. Содержание в них массовой доли фракций от 1 до 4 мм колеблется от 35 % до 90 %. Рынок сегодня требует разнообразия готовой продукции. В основу положено не только содержание КСl, но и гранулометрический состав.

Традиционно обезвоживание флотоконцентрата осуществляется двухстадийно. На первой стадии используются барабанные вакуум-фильтры, эксплуатационная надежность работы которых, как и производительность, не высокие. После второй стадии обезвоживания в центрифугах получаем продукт одного гранулометрического состава.

На 1РУ ОАО «Беларуськалий» для обезвоживания флотоконцентрата впервые применили дисковые вакуум-фильтры SSFE 26/3, которые выгодно отличаются от применяемых в настоящее время. Он состоит из трех фильтровальных дисков, каждый из которых образуют 30 сегментов, снабженных отдельной дренажной трубкой. Каждый сегмент работает автономно и при повреждении фильтрующей поверхности сегмент может быть заглушен или заменена фильтрующая поверхность только одного сегмента, площадью 1,4 м² при общей площади фильтра 126 м². Выгодным является использование частотного преобразователя привода дисков с регулированием скорости вращения от 0,25 до 2,5 об/мин. Использование таких фильтров обеспечивает производительность до 80 % выше при потреблении электроэнергии на 40 % меньше по сравнению с барабанными вакуум-фильтрами. Кроме того, при использовании дисковых вакуум-фильтров на СОФ 1РУ применили оригинальную схему гидроклассификации и обезвоживания флотационного концентрата. Флотационный концентрат подается на гидроклассификацию по классу 0,25 мм в гидроциклон. Пески гидроциклона (более 0,25 мм) направляются на обезвоживание в центрифугу типа SZ-1000/2 и далее на сушку. Слив сгустителей с размером частиц менее 0,25 мм после флотосгущения поступают на дисковый вакуум-фильтр. SSFE 26/3 на обезвоживание и с конечной влажностью 8,5 % направляется на сушку. Использование дискового вакуум-фильтра позволило разделить продукт по гранулометрическому составу на два класса, а значит расширить ассортимент продукции без дополнительной классификации и при минимальных на то затратах.

Определение запаса прочности элементов барабана ленточного конвейера

Прушак В. Я., Миранович О. Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения с ОП

Расчет выполняется на основании линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений для кривой усталости с горизонтальным участком. Условие прочности для заданного ресурса, определяемого числом блоков λ , имеет вид

$$\sum_{\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1D}} ((\lambda \cdot v_{i0} \cdot \sigma_{ai}^m) / (\sigma_{-1D}^m \cdot N_G)) = a_p, \quad (1)$$

где a_p — расчетное значение суммы относительных повреждений; σ_{-1D} — предел выносливости; N_G — число циклов, соответствующее точке перелома кривой усталости; m — показатель наклона левой ветви кривой усталости, с уменьшением которого наклон увеличивается, v_{i0} — число циклов повторения амплитуд σ_{ai} в блоке нагружения.

Один блок нагружения состоит из r ступеней, каждой из которых соответствует амплитуда напряжений σ_{ai} и число циклов повторения этой амплитуды в блоке v_{i0} , $i=1, 2 \dots r$. Обечайка барабана не должна разрушаться при рабочих амплитудах напряжений σ_{ai} , поэтому выражение, стоящее в левой части уравнения (1), должно быть меньше a_p . Согласно концепции перехода к предельному состоянию все амплитуды σ_{ai} необходимо увеличить в n раз, чтобы наступило разрушение (n — коэффициент запаса прочности).

Таким образом, из уравнения (1) после преобразований вытекает:

$$n = \sigma_{-1D} / \sigma_{\text{экс}} \geq [n], \quad (2)$$

где $[n]$ — минимально допустимое значение коэффициента n ;

$$\sigma_{\text{экс}} = \sqrt{\frac{\lambda}{a_p \cdot N_G} \cdot \sum_{(\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1D})} \sigma_{ai}^m \cdot v_{i0}}, \quad (3)$$

где t_i — вероятность попадания амплитуд напряжений в определенный интервал в долях единицы.

Расчет по коэффициенту запаса проводится в следующей последовательности. При проектировании ленточного конвейера необходимо задать требуемым сроком службы барабана, выраженным числом блоков нагружения λ , которое должен отработать рассчитываемый барабан.

Затем рассчитываются напряжения, возникающие в средней части обечайки барабана, после чего по приведенным зависимостям рассчитыва-

ется коэффициент запаса. Обечайка считается работоспособной, если коэффициент n превышает принятое минимально допустимое значение [1].

Так как n входит в выражение эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$, то задача решается последовательными приближениями: задавшись предварительным значением n' , находят $\sigma_{экв}$, затем n по формуле (2).

Выполнив расчеты коэффициентов запаса для обечаек и сварных швов барабанов сравнимых конструкций, получим следующие результаты: коэффициенты запаса сварных швов барабанов традиционной и сотовой конструкций равны 2,8 и 3,5; коэффициенты запаса обечаек барабанов традиционной и сотовой конструкций равны 2,7 и 3,1 соответственно.

Полученные коэффициенты запаса соответствуют вычисленным ранее значениям долговечности для сварных швов и обечаек барабанов сравниваемых конструкций при их использовании на ленточных конвейерах 2ЛБ120 при заданном режиме нагружения.

УДК 622.6.2

Проверочный расчет напряженно-деформированного состояния барабана ленточного конвейера сотовой конструкции

Прушак В. Я., Миранович О. Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения с ОП

Для облегчения проведения вариантных и проверочных расчетов барабана ленточного конвейера сотовой конструкции строится регрессионная модель напряженного состояния его элементов. Для ее построения применяется линейная модель вида $\varphi(X_1, X_2, \dots, X_n) = B_0 + B_1X_1 + \dots + B_nX_n$ при использовании которой каждый фактор варьируется на двух уровнях. Применение линейной модели допустимо, так как материал, из которого изготавливаются барабаны, работает в упругой зоне, где зависимость «напряжения-деформации» линейна.

Исходным материалом для получения точечных оценок параметров регрессионной модели является набор из N наблюдений над значениями факторов X_1, X_2, \dots, X_n и отклика Y .

Используя приведенную выше информацию, необходимо оценить неизвестные коэффициенты регрессии $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_d$, т.е. найти соответствующие значения оценок этих коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_d . Система базисных функций $f_j(X), j=0, \dots, d$, выбирается заранее. Для этого применим метод наименьших квадратов, согласно которому, значения b находятся путем минимизации суммы:

$$\Sigma = \sum_{g=1}^N [Y_g - (b_0 f_{g0} + b_1 f_{g1} + \dots + b_d f_{gd})]^2 = \min. \quad (1)$$

Величины b_i , при которых указанная сумма квадратов достигает минимума, и принимаются за оценки коэффициентов регрессии. Минимизация суммы квадратов производится обычным способом с помощью дифференциального исчисления путем приравнивания к нулю первых частных производных (1) по b_0, b_1, \dots, b_d .

В результате можем получить систему линейных алгебраических уравнений, решая которую получаем искомые оценки b_0, b_1, \dots, b_d . Значения функции f_j можно рассчитать для любых значений X_i и, следовательно, можно получить значения Y , т.е. наибольшие эквивалентные напряжения на валу, в обечайке и элементах сотового каркаса барабана ленточного конвейера сотовой конструкции.

Расчет производится в три этапа. На первом этапе рассчитываются значения функций f_j , которые зависят от параметров барабана и от условий его нагружения. Значения этих функций в векторном виде запишутся так:

$$f^T(X) = [1, B, D, T_0, T_K, b_0, S_{CB}, T_\phi, B^2, D^2, T_0^2, T_K^2, b_0^2, S_{CB}^2, T_\phi^2, DB, T_0B, T_KB, b_0B, S_{CB}B, T_\phi B, T_0D, T_KD, b_0D, S_{CB}D, T_\phi D, T_KT_0, b_0T_0, S_{CB}T_0, T_\phi T_0, b_0T_K, S_{CB}T_K, T_\phi T_K, S_{CB}b_0, T_\phi b_0, S_{CB}T_\phi],$$

где B - ширина ленты, D - диаметр барабана, T_0 - толщина обечайки, T_K - толщина элементов каркаса, α_0 - выбор обхвата барабана лентой, S_{CB} - натяжение сбегающей ветви ленты, T_ϕ - тяговый фактор.

На втором этапе производится перемножение соответствующих коэффициентов регрессии b_i и базисных функций f_j , полученных на первом этапе. На третьем этапе полученные числа суммируются.

В результате этих вычислений определены величины наибольших эквивалентных напряжений, рассчитанных по IV теории прочности, которые возникают в элементах барабана ленточного конвейера сотовой конструкции.

При расчетах барабанов длиной до 2800 мм и диаметром до 2500 мм по приведенной методике погрешность составляет не более 3,5%.

Результаты испытаний динамики неопрокидного скипа с опытными роликкооперами

Гущин Э.П.

Белорусский национальный технический университет

Актуальная задача увеличения рабочей скорости движения скипов, для повышения производственной мощности рудников, может быть решена путем снижения нагрузки на проводники жесткой армировки в системе "скип - жесткая армировка" за счет разработки новой конструкции упругих роликовых направляющих с раздельной подвеской роликов.

Проведены изыскания эффективной конструкции роликкоопор и экспериментальные исследования динамики неопрокидного скипа с перспективными роликовыми направляющими. Средневзвешенные по сериям однородных испытаний результаты сравнительных измерений динамических усилий в упомянутой системе на нижнем поясе восточного скипа СМ-35 отделения подъемной машины ЦШ 5x8 рудника 4РУ ПО «Беларуськалий» приведены в таблице.

Восточный проводник				Западный проводник			
Скип порожний (вниз)		Скип грузный (вверх)		Скип порожний (вниз)		Скип грузный (вверх)	
Лобовое измерение тах/ср, кН	Боковое измер. тах/ср, кН	Лоб. измер. тах/ср, кН	Бок. измер. тах/ср, кН	Лоб. измер. тах/ср, кН	Бок. измер. тах/ср, кН	Лоб. измер. тах/ср, кН	Бок. измер. тах/ср, кН
Старые роликкоопоры							
88,5/7,2	38,3/4,5	52,6/9,6	43/5,3	52,6/7,2	33,5/2,4	43/14,3	79/4,5
Новые роликкоопоры							
62,2/7,2	33,5/3,6	47,8/7,2	38,3/4,5	45,4/7,2	35,8/2,4	47,8/9,5	47,8/4,5

Анализ результатов показал, что при установке новых роликкоопор нагрузки в системе "скип - жесткая армировка" в целом существенно ниже, что может обеспечить повышение ходимости-долговечности новых роликкоопор неопрокидных скипов. Однако уровень нагрузок зависит также от случайных значений отклонений поверхностей установленных в шахтном стволе проводников от прямой линии и их жесткости по длине.

Для окончательного выбора параметров роликкоопор необходимо исследовать на математических моделях динамику движения скипа по случайным профилям проводников с учетом их жесткости по длине и параметров крепления к элементам шахтного ствола.

Моделирование рабочих процессов тоннелепроходческого комплекса

Казаченко Г.В.¹, Елизаров Д.П.², Глинистый С.Л.¹, Шульдова С.Г.³

Белорусский национальный технический университет¹,

СУ-173 треста №15 «Спецстрой»², Минский институт управления³

Проходка современных тоннелей различного назначения осуществляется комплексами технических средств, разных принципов действия, сочетающих механизмы разрушения, выемки и транспортирования горных пород. В г. Минске при проходке коллектора «Центр» используется тоннелепроходческий комплекс фирмы «Herrenknecht», позволяющий вести проходку тоннеля в условиях города. Производство работ по прокладке коллектора осуществляется отдельными отрезками путем устройства стартовых и приемных шахт и прокладки участка коллектора с помощью тоннелепроходческого комплекса (ТПМ)

Тоннелепроходческий комплекс включает: тоннелепроходческую машину, систему гидротранспорта разработанной породы и поддержки забоя, сепарирующую установку обезвоживания гидросмеси, а также системы энергопитания и управления агрегатами комплекса. Для определения производительности комплекса, энергетических и материальных затрат при его работе необходимо сформировать математическую модель рабочего процесса, учитывающую как технические характеристики основных звеньев комплекса, так и горно-геологические условия на трассе коллектора.

При формировании математической модели использованы законы сохранения, выраженные в форме балансовых соотношений по мощности и производительности, а также данные наблюдений и измерений ряда параметров комплекса. На основе анализа сформированной математической модели получены расчетные зависимости, позволяющие определять скорость прокладки тоннеля с учетом технических возможностей комплекса, физико-механических характеристик грунтов и статистических данных о вспомогательных работах.

Балансовые соотношения по мощности для разрушения грунта базируются на степенной зависимости удельных энергозатрат от глубины резания породы режущими элементами ротора ТПМ. Моделирование процесса подачи основано на определении силы подачи ротора на забой и силы сопротивления продвижению участка коллектора, а также инерционных усилий при установке железобетонного кольца и трогании участка коллектора. При анализе гидротранспортирования смеси использованы наиболее распространенные зависимости гидромеханики.

**Повышение проницаемости горных пород
направленными упругими волнами**

Силков Р.А.

Белорусский национальный технический университет

По данным геологического прогноза ресурсы нефти Беларуси, приуроченные к относительно крупным залежам, практически исчерпаны. Оставшиеся неразведанные ресурсы сосредоточены в небольших залежах с запасами от 0,1 до 1,0 млн.т. В свою очередь, рентабельность разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами может быть обеспечена только при промышленном освоении новых технологий, как в области интенсификации притоков нефти и увеличения дебитов скважин, так и в области совершенствования методов повышения коэффициентов нефтеизвлечения.

В данной работе речь идёт о совершенствовании одного из наиболее популярных методов обработки нефтегазовых коллекторов – гидроразрыва. В частности, его модернизация на основе использования энергии направленных упругих волн.

В соответствии с применяемой технологией выщелачивания, рудное тело вскрывается по меньшей мере двумя скважинами. Рабочая жидкость подаётся через закачные скважины, а выдача продуктивного раствора осуществляется через откачные скважины. На выщелачиваемое рудное тело воздействуют энергией волновых полей. Излучаемые из закачной или добычной скважины импульсы имеют периодически изменяемую форму волны и несимметричное распределение энергии во времени относительно нулевой амплитуды. Рудное тело в направлении закачных скважин обрабатывают импульсами растяжения, излучаемыми из откачных скважин, а в направлении откачных скважин - импульсами сжатия, которые излучают из закачных скважин. В качестве излучателей энергии могут применяться электромагнитные или механические (электро-, пневмо-, гидроударники) генераторы волн. Промышленное значение способа волнового воздействия для добычи твёрдых полезных ископаемых определяется тем, что примерно 60% из них залегают в жидкостно непроницаемых горных породах (сейчас остро стоит проблема обработки именно таких рудных тел) и не менее 20% - в недостаточно проницаемых горных структурах.

Задача восстановления или создания дополнительной проницаемости нефтяного пласта за счёт воздействия силовыми волнами должна решаться комплексно с учётом особенностей его физико-механических свойств и напряжённо-деформированного состояния, конструкции скважин и её забоя, состояния крепи и обеспечения условий, исключаящих совпадение

частоты изменения внешней силы, действующей на систему, с возможной частотой её свободных колебаний.

Оценивая перспективы использования энергии упругих волн при интенсификации притоков и разработке нефтегазовых месторождений, можно предположить, что после доработки технологии и технических средств это направление может составить серьёзную конкуренцию таким сложным и дорогостоящим операциям, как гидроразрыв и вскрытие пласта горизонтальными скважинами.

УДК 622.26

Анализ режимов фрезерования горной породы соосными роторами проходческого комбайна

Конопляник А.С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время в горнодобывающей промышленности широко используются проходческие комбайны серии ПКС-8 с соосными роторами. Исполнительные органы данного типа состоят из двух вращающихся в разных направлениях роторов с общей осью. Центральный ротор представляет собой трёхлучевую конструкцию. Резцы на каждом луче закреплены таким образом, что их режущие кромки расположены в одной линии, которая в свою очередь перпендикулярна оси вращения роторов и радиально относительно ее. Внешний ротор представляет собой четырёхлучевую раму, с закреплёнными на каждом луче ковшами. На ковшах установлены резцы, которые обрабатывают как площадь забоя, так и внешний контур выработки.

За время эксплуатации данных комбайнов выявлены ряд достоинств (высокое качество поверхности получаемой выработки, постоянная толщина стружки) и недостатков (закрытое резание, разные скорости резания резцов от центра к периметру, большая инерционность привода и роторов, высокая сосредоточенность резцов по забою, характерная для центрального бура). Закрытое резание увеличивает энергозатраты на разрушение, износ режущего инструмента. Расположение резцов в одной плоскости делает фактически невозможным выведение резца из закрытого резания.

В работе решается задача оптимизации режимов резания породы путем модернизации соосных роторов, в частности схем расположения резцов на центральном роторе. Для этого используются научно обоснованные данные по эффективности процесса при различных вариантах взаимодействия резцов с породой. В результате анализа определены следующие направления модернизации: улучшить условия работы для резцов (переход от закрытого к полукрытому); изменить конструкцию центрального ротора

с целью увеличения рассредоточенности резцов по плоскости резания; увеличение прочности лучей и ковшей роторов для предотвращения поломки крупногабаритных деталей.

В работе рассмотрены известные и предложены принципиально новые схемы расположения резцов на центральном роторе: действующая конструкция на ПКС-8 с радиальным расположением резцов на трехлучевом роторе; расположение резцов в одной плоскости со смещением по углу (со двоянными прямыми и обратными спиралями по отношению к вектору угловой скорости); расположение резцов на конусном роторе со смещением по углу.

Вывод. Предлагается выполнить центральный ротор с продольной конусностью, а оси лучей должны иметь эксцентриситет по отношению к оси вращения. Конусность позволит перейти от закрытого к полукрытому резанию, за счет эксцентриситета обеспечивается угловое смещение резцов для уменьшения динамических нагрузок и отбросов машины.

УДК 622.233

Балансовые соотношения в шнековом бурении

Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

В данной работе исследована возможность теоретического обоснования оптимальных соотношений между конструктивными и режимными параметрами бурового оборудования, которые могут быть найдены путем совместного решения системы уравнений материального и энергетического балансов, характерных для установившегося режима шнекового бурения. Под оптимальным здесь понимается соотношение конструктивных и режимных параметров оборудования, позволяющее в конкретных геологических условиях обеспечивать максимально возможную механическую скорость бурения V_6 .

Необходимым условием для этого является соблюдение материального баланса по разрушаемой долотом Q_0 и транспортируемой шнеком $Q_{ш}$ породе и энергетического баланса между установленной мощностью буровой установки N и ее затратами на преодоления сил сопротивления бурению N_1 и на вынос разрушенной породы из скважины N_2 .

Обоснованные конструктивные параметры бурового оборудования и режимные параметры их рабочих процессов представляют интерес для практического бурения при выборе существующего, а также при разработке технических заданий на вновь проектируемое оборудование для предполагаемых условий бурения.

Математическая модель процесса шнекового бурения, функционально связывающая между собой конструктивные и режимные параметры бурового оборудования может быть представлена в виде

$$Q_{ш} \geq Q_0, \quad (1)$$

$$N \geq N_1 + N_2, \quad (2)$$

Выведенное из условия (1) ограничение для v_0 имеет вид

$$v_0 \leq \frac{\pi(R^2 - r^2)\psi m}{30Rk_p(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\gamma)}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что для заданных условий бурения $v_{0\max}$ определяется максимальным числом оборотов n буровой колонны, допускаемым по резерву установленной мощности из условия (2).

УДК 622.232.002

Экспериментальный стенд для оценки смазывающей способности консистентных смазок горных машин

Фокин А.С., Иванов С.Л., Звонарев И.Е.

Санкт-Петербургский государственный горный университет

Эффективную работу горных машин невозможно представить без эффективной смазки их элементов, в том числе трансмиссий и открытых зубчатых передач. В зубчатых передачах контактные давления достигают до 2 ГПа, при скорости скольжения в открытых крупномодульных цилиндрических передачах до 3 м/с, при этом температура в контакте может достигать 150 ÷ 200 °С. В столь тяжелых условиях эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, снижать износ. Кроме перечисленных требований, смазка должна иметь стабильную вязкость, низкую температуру застывания, хорошие противокоррозионные свойства.

Для оценки работоспособности консистентных смазок и их смазывающей способности был задействован специальный стенд с измерением акустико-эмиссионного сигнала, в трибосистеме индентор-смазка-плита, прибором АРП-11. Изменение величины акустико-эмиссионного сигнала, пропорционального коэффициенту трения проводилось при изменяющейся нагрузке в контакте от 40 до 120 МПа и скорости относительно плиты от 25 до 65 рад/с. В зависимости от величины показателя акустической эмиссии определялся тип трения (жидкостное, граничное сухое). При обработке экспериментально полученных данных был проведен анализ влия-

ния каждого из рассматриваемых факторов (угловой скорости и давления в паре) на характер трения для исследуемых смазок.

Разработанный стенд позволяет оценивать смазывающую способность консистентных смазок. Для каждой смазки имеется предельная область граничного трения, ограничивающая диапазон скоростей и давлений в смазываемой паре трения, ниже которой возможно эффективное применение данной смазки. Как правило, область граничного трения в координатных осях угловая скорость (скорость скольжения) и давление в паре трения, расширяется при повышенных скоростях и малых давлениях и резко снижается при повышенных давлениях и пониженных скоростях.

УДК 622.002.5:621.34

Перспективы применения охладителей на основе порошковых материалов для систем воздушного охлаждения горных машин

Нагорский А.В.

Белорусский национальный технический университет

Необходимым условием надежного функционирования элементов электропривода горных машин является уровень температуры, который не должен превышать предельно допустимых значений. Это может быть обеспечено за счет эффективного охлаждения соответствующих теплонагруженных элементов электропривода. В связи с ростом энерговооруженности привода, мощности электрических машин и единичной мощности силовых полупроводниковых приборов в системах управления регулируемым электроприводом острота проблемы их эффективного охлаждения возрастает. Известными путями решения этой проблемы является применение проточной водяной, испарительной или принудительно-воздушной систем охлаждения. При этом предпочтение в связи с более высокой электрической прочностью, надежностью, технологичностью и наиболее простой конструкцией все же принадлежит воздушному охлаждению.

Ключевой при проектировании эффективных систем воздушного охлаждения является задача создания охладителей-теплоотводов для передачи тепловых потоков высокой плотности от теплонагруженных элементов электропривода к охлаждающему воздушному потоку с минимально возможным температурным перепадом между ними.

Представляется перспективным применение в системах воздушного охлаждения электропривода горных машин охладителей и теплообменников на основе тепловых труб (ТТ) с порошковой капиллярной структурой (ПКС), производимых серийно в РБ на заводе порошковой металлургии в г. Молодечно. Достоинством ТТ является ее тепловая сверхпроводимость, надежность, компактность, технологичность. относительно низкая стои-

мость, что во многом predeterminedено применением в ней ПКС из спеченного порошка меди. Производимые тем же заводом различные модификации теплоотводов на ТТ для охлаждения силовых полупроводниковых приборов уже более двадцати лет успешно применяются в системах воздушного охлаждения силовых электропреобразователей различного назначения, серийно выпускаемых большим числом электротехнических предприятий, действующих на постсоветском экономическом пространстве.

УДК 621.785

Термодиффузионные покрытия на стальных изделиях для защиты от атмосферной коррозии

Гоян В.В., Басалай И.А.

Технический университет Молдовы (г. Кишинев, Молдова)
Белорусский национальный технический университет

Атмосферной коррозии подвержены почти все металлические детали горношахтного и обогащательного оборудования, а также металлические конструкции. Остро проблема защиты оборудования от атмосферной коррозии, стоит на разрабатываемых соляных месторождениях. На скорость атмосферной коррозии оказывает влияние большое количество факторов - влажность, степень загрязнения воздуха, места эксплуатации изделий.

Наименьшей стойкостью в атмосферных условиях обладают углеродистые стали и чугуны, для защиты которых широко применяют цинкование. Известно, что коррозионную стойкость цинковых диффузионных покрытий в атмосферных условиях можно повысить их легированием.

Термодиффузионное цинкование проводили в порошковых смесях при температуре 500°C в течение 4 ч. В качестве легирующих элементов использовали Al, Ti, Ni, Mn, Cu, Cr. Испытания на коррозионную стойкость проводили в камере солевого тумана при 20 °C и относительной влажности 95% в течение 600 ч. Сравнительные испытания на коррозионную стойкость показали, что марганец и титан ее снижают, никель и хром увеличивают незначительно, а алюминий и медь повышают в 1,5 раза. Поэтому для дальнейших исследований отобраны Ni, Cr, Al и Cu. Исследовали зависимость толщины цинкового покрытия на сталях 20, 45 и чугуне от содержания легирующих элементов в насыщающей смеси, изменение микротвердости по толщине слоя, фазовый состав. Введение легирующих добавок в насыщающие смеси уменьшает скорость формирования слоя. Они не изменяют фазового состава диффузионного цинкового слоя, но изменяют соотношение между толщиной фаз.

Результаты исследования кинетики коррозионного разрушения показали, что легирующие добавки характера разрушения практически не изменяют, а скорость коррозии по сравнению с нелегированным

покрытием несколько снижается во времени за счет образования на поверхности защитной пленки из продуктов коррозии. Внешний осмостр покрытий после 600 ч коррозионных испытаний показал, что традиционные слои покрыты продуктами коррозии на 50 % поверхности, а покрытия, полученные из разработанных смесей – на 10-15%, что также хорошо согласуется с гравиметрическими исследованиями кинетики коррозионного разрушения.

УДК 629.113

Практика упрочнения рабочих поверхностей дегалей

Тарасов Ю.И., Арабей М.А.

Белорусский национальный технический университет

Современная техника испытывает острую потребность в материалах, которые способны длительный срок выдерживать высокие механические и тепловые нагрузки, противостоять вредному воздействию износа, агрессивных сред и других нагрузок.

Поэтому при создании нового класса материалов заложен принцип, заключающийся в том, что совместная работа разнородных материалов дает эффект, равнозначный созданию нового материала. Одним из видов этого класса являются композиционные электрохимические покрытия (КЭП).

КЭП представляют собой металлическую матрицу с вкраплением мелкодисперсных частиц твердой фазы неорганического или органического происхождения. Эти покрытия совмещают в себе свойства металлов и неметаллов и характеризуются более высокой коррозионной стойкостью, микротвердостью, повышенными износостойкостью, жаропрочностью.

Для получения твердых неорганических частиц, обладающих заданными свойствами, используют золь-гель процесс. Основа золь-гель процесса состоит в получении золя и последующем переводе его в гель. Таким образом, данная технология имеет дело с особым состоянием, являющимся промежуточным между твердым и жидким. Размеры частиц вещества в коллоидном состоянии составляют 10^{-9} - 10^{-6} м, этим и определяются особенности физико-химического поведения коллоидных частиц определенного вещества в сравнении с соответствующими свойствами этого же вещества, но не в коллоидном состоянии. Полученные образцы подвергались электронно-микроскопическому анализу для определения структуры поверхности КЭП, а также испытаниям на износостойкость и коррозионную стойкость. Износостойкость оценивалась по потере массы образцов в условиях сухого трения и сравнивалась с цинковым покрытием, осажденным из стандартного электролита. Коррозионная стойкость оценивалась по потере массы образца при растворении изучаемого покрытия в 1 н растворе серной кислоты в течение 2 ч при температуре 70 °С.

Анализ приведенных данных свидетельствуют о возможности получения композиционных покрытий с улучшенными свойствами для упрочнения рабочих поверхностей деталей.

УДК 629.113

Мониторинг и диагностирование агрегатов горной техники

Тарасов Ю.И., Лютко Г.И., Арабей М.А.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время довольно отчетливо проявляются основные различия между системой управления и контроля сложного горного оборудования и методами их диагностики. Одним из современных методов является вибродиагностика повсеместно используемых в горной промышленности ленточных конвейерных установок (ЛКУ).

Контрольные измерения предназначены для оценки технического состояния механических узлов ЛКУ по общему уровню вибрации без выявления дефектов и причин их возникновения.

Диагностические измерения предназначены для выявления дефектов и причин их возникновения, оценки и прогнозирования степени развития дефектов и разработки рекомендаций по их устранению. Из возможных измеряемых значений колебательного процесса (амплитуда перемещения, скорость колебания, ускорение) рекомендуется использовать для оценки технического состояния скорость колебаний V мм/с, т.к. она наиболее полно характеризует энергию колебательного процесса.

В качестве основного виброметрического параметра используют общее среднее квадратичное значение виброскорости $V_{\text{r.m.c}}$ мм/с:

$$V_{\text{r.m.c}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt},$$

где T – период вибрации, который должен быть много больше периода любого из основных частотных компонентов, содержащихся в $V(t)$.

$V(t)$ – функция виброскорости от времени (осциллограмма колебательной скорости).

Также при диагностических измерениях оборудования ЛКУ следует определять виброперемещение S_c , мкм и виброускорение A_c , м/с².

На кафедре «Горные машины» в учебном процессе используется отечественная разработка вибротестера ВТ – 1000 БГУИР на специальном лабораторном стенде ЛКУ для определения указанных выше параметров.

Строительные и дорожные машины

К выбору кусторезного и подбирающе-погрузочного оборудования для расчистки объектов мелиорации от древесно-кустарниковой растительности

Вавилов А.В., Аксенов Т.И., Бурмак И.В.

Белорусский национальный технический университет

Исследования, проводимые на кафедре «Строительные и дорожные машины» БНТУ, направлены на решение проблемы подготовки площадей для производства мелиоративных работ. Эта проблема в последнее время выходит на передний план в Республике Беларусь, так как объемы мелиоративного строительства непрерывно растут. Вследствие этого и было принято решение о создании специального рабочего оборудования – кусторезного и подбирающе-погрузочного для расчистки мелиорируемых площадей от древесно-кустарниковой растительности (ДКР), объемы которой при ежегодном удалении в республике составляют около 500 тыс. м³, что является серьезным источником местного вида топлива (МВТ).

Кусторез предназначен для срезки сплошных кустарниковых зарослей с диаметром стволов от 3 до 20 см. Требования к создаваемой машине следующие: низкий срез кустарника (желательно у поверхности почвогрунта с удалением корневой шейки), минимальное нарушение дернового покрова, удаление небольших пней, кобел и кочек, возможность работы на поверхностях с неровным рельефом и на почвогрунтах с низкой несущей способностью, достаточная боковая устойчивость.

Конструктивно кусторез представляет собой гусеничный трактор класса 10 с навешенным спереди одноотвальной рабочей органом, который срезает растительность горизонтальным ножом, установленным под определенным углом к направлению движения для обеспечения скользящего резания. Подрезанные на определенной высоте стволы кустарника и мелкоколосья сдвигаются отвалом в сторону, образуя валок.

Из валков ДКР должна быть подобрана и погружена в транспортное средство для подвозки к мобильной рубильной машине для получения топливной щепы. Эту функцию с наименьшими затратами должно выполнять подбирающе-погрузочное рабочее оборудование, смонтированное на гусеничном тракторе класса 10.

Известно, что одной из основных отличительных характеристик ДКР является низкий коэффициент полндревесности - 0,3- 0,36, что говорит о наличии пустот, а следовательно предполагает уплотнение срезанной массы при её сборе. Поэтому предлагается рабочее оборудование, конструкция которого позволяет уплотнять кустарник при сборе и собирать его независимо от размеров за счет механизма изменения ширины захвата.

Инсталляционные приборы

Антоневич А.И., Мельникова Н.М.

Белорусский национальный технический университет
НИЦ «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси

Появление новых инсталляционных приборов на рынке и их стремительное обновление, показывает важность этой отрасли промышленности. В этой связи интерес представляет появление и стремительный рост производства устройств защитного отключения.

Устройства защитного отключения (УЗО) в значительной мере повышают уровень электробезопасности электроустановок, а также защищают имущество и здоровье людей в случаях возникновения пожаров, вызванных неисправностью электросети. Особенности УЗО является высокая надежность, простота монтажа и небольшие размеры. К неоспоримым достоинствам, которыми обладают эти устройства, также относятся: высокая чувствительность устройства при косвенном прикосновении; обеспечение единственно возможной защиты при случайном прямом прикосновении; обеспечение отключения при возникновении опасного тока утечки (противопожарная защита); предотвращение некоторых видов хищения электроэнергии (например, посредством использования земли в качестве обратного проводника или другим подобным способом); возможность простого контроля правильного функционирования устройства и для непрофессионалов (при помощи кнопки «ТЕСТ»).

Классификация УЗО, управляемых дифференциальным током, может быть произведена следующим образом:

- согласно способу монтажа: для фиксированного монтажа и мобильного монтажа (адаптеры для штепсельных розеток);
- согласно функциональной зависимости от напряжения питания: FI – функционально независимые, DI – функционально зависимые, HF1 – функционально условно зависимые;
- согласно конструкции механизма отключения: с прямым отключением (механизм отключения является составной частью УЗО) и непрямым отключением;
 - согласно числу полюсов: двухполюсные и четырехполюсные;
 - согласно выдержке времени при отключении: без задержки срабатывания, с задержкой срабатывания –тип G, и селективные –тип S;
 - согласно виду защиты от сверхтоков: без встроенной максимальной токовой защиты и со встроенной максимальной токовой защитой.

**Автоматизация управления положением рабочего
оборудования строительных и дорожных машин**

Антоневич А.И., Вавилов А.В., Моисеев А.О.
Белорусский национальный технический университет

Применение автоматических систем управления дорожно-строительными машинами в современном строительстве является насущной необходимостью. Применение АСУ повышает производительность машин (по отдельным работам до 40%), дает существенную экономию строительного материала (асфальта, щебня, грунта и т. д.), позволяет уменьшить количество рабочих, занятых на строительстве.

Система нивелирования позволяет в автоматическом или ручном режиме управлять рабочим органом строительно-дорожной машины при выполнении основной технологической операции. На асфальтоукладчике система управляет гидроцилиндрами лонжеронов плиты, на грейдере поворотом отвала, его наклоном и высотой расположения относительно контрольной поверхности или струны, на дорожной фрезе гидроцилиндрами, которые располагают фрезу под нужным углом и на определенном расстоянии от контрольной поверхности или струны. Входящие в АСУ датчики (может быть один датчик) контролируют расстояние от поверхности, струны или наклон рабочего органа к горизонту, постоянно выдавая информацию процессору системы. Процессор сравнивает полученную информацию с данными, на которые была настроена система, и при необходимости дает соответствующую команду на корректировку расположения рабочего органа машины. В настоящее время широкое применение находят лазерные нивелиры.

В Беларуси используются АСУ следующих марок: ПРОФИЛЬ-30 (Россия), МОВА (Германия), САУРО (Республика Беларусь). Системы автоматики типа «Профиль» представляют собой микроэлектронные блоки управления с бортовыми датчиками маятникового типа. В системах автоматики «МОВА» предусматривается также применение ультразвуковых датчиков и датчиков, основанных на эффекте Холла. Их отличает высокая надежность и точность в неблагоприятных условиях эксплуатации.

Проведенный анализ существующих систем показал, что наиболее подходящим устройством для отечественной техники являются на сегодняшний день приборы САУРО, с точки зрения соотношения цены и качества. САУРО может комплектоваться любыми датчиками. Проста и надежна в эксплуатации и настройке.

**К вопросу создания эффективных гидроприводов
для строительных и дорожных машин производства Беларуси**

Смоляк А. Н.

Белорусский национальный технический университет

Современные строительные и дорожные машины оснащаются объемными гидроприводами с высоким уровнем автоматизации управления. Важнейшим показателем эффективности дорожно-строительной техники является - надежность работы в условиях реверсивных нагрузок при высоких давлениях и температурных перепадах. Непосредственно фактор надежности объемных гидроприводов определяет стоимость машин на строительном рынке.

Комплекты машин для строительства отечественного производства имеют значительно меньшую стоимость по сравнению с аналогами зарубежных фирм, однако и значительно меньшую надежность.

К факторам, обуславливающим работоспособность гидроприводов технологических машин, относятся: низкая пульсационность подачи насосов, эффективная защита от гидроударов, обеспечение рабочих температурных режимов циркуляции жидкости. Рассматриваемые факторы особенно ярко проявляются при создании высокопроизводительных строительных машин, работающих в условиях значительных знакопеременных нагрузках на рабочие органы.

При проектировании энергоемкого технологического оборудования производители такой техники нередко избегают установок в системы объемных гидроприводов дорогостоящих устройств для гашения гидроударов, таких как гидроаккумуляторы. При этом экспериментальные исследования контрольно-регулирующей аппаратуры позволяют сделать вывод о низкой способности к защите от гидроударов таких гидроаппаратов, как предохранительные клапаны.

Результатом проектирования объемных гидроприводов высокопроизводительных строительных машин без специальных средств защиты от гидроударов приводит к выходу из строя дорогостоящего оборудования и большим экономическим потерям.

Анализ гистограмм нагрузочных режимов объемных гидроприводов строительных и дорожных машин циклического и непрерывного действия позволяет сделать вывод о необходимости исполнения конструктивных решений гидроаппаратов, характеризующихся плавно изменяющимся расходом на выходе. Надежность работы гидроаппаратов обеспечивается правильным выбором конструкционных материалов сопряженных пар, реализующих эффект безыносного трения.

Поворот трактора при кинематическом рассогласовании привода управляемых колес

Яцкевич В.В., Зеленый П.В., Щербакова О.К.

Белорусский национальный технический университет

Применение в конструкции приводов ведущих колес тракторов и дорожно-строительных машин, например, грейдеров, бортовых поворотных редукторов позволяет улучшить их тягово-сцепные качества в условиях сложного рельефа местности, в том числе путем стабилизации остова в вертикальном положении. Один из вариантов такого редуктора со сложными корпусом и схема его работы представлены на рис.1[1].

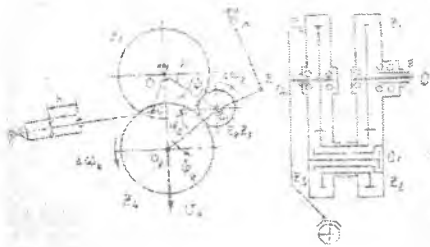


Рис.1 Схема бортового редуктора и механизма его привода

Редуктор представляет собой планетарный механизм внешнего зацепления с неподвижными осями и передаточным числом равным единице. В то же время перемещение ведущего колеса по высоте за счет поворота корпусов редуктора приводит к изменению угловой скорости ведущего колеса:

$$\Delta\omega_k = (\varphi_1 + \varphi_2) \cdot \frac{z_1 + z_2}{z_1},$$

где φ_1 и φ_2 – углы поворота корпусов редуктора, z_1 и z_2 числа зубчатых передач.

Влияние приращения $\Delta\omega_k$ наиболее проявляется на малых скоростях движения. Это обстоятельство приводит также к кинематическому несоответствию межосевого привода, которое может достигать 10° . Это может повлиять отрицательно на минимальный радиус поворота или же снизить тяговые показатели трактора при прямолинейном движении. В связи с этим предложена кинематическая схема 3-х ступенчатого кинематического привода переднего моста трактора с фрикционными муфтами, которые автоматически управляются гидравлическим приводом перемещения корпусов бортового редуктора. Дальнейшим развитием конструкции является бесступенчатый привод, обеспечивающий кинематическое соответствие вращения задних и передних ведущих колес при изменении рельефа местности или же поворота на наклонной опорной поверхности.

1. Войтешонок, В.С., Зарецкий, В.П., Зелёный, П.В., Скуртул, А.И. Транспортное средство повышенной проходимости. А.с. СССР1428605. – 1988, № 37.

Привод колёс многоосной тягово-транспортной машины

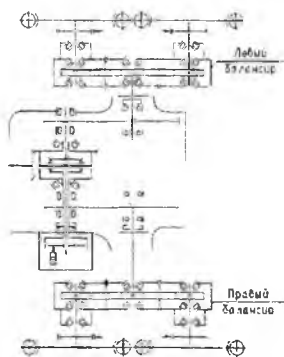
Яцкевич В.В., Зеленый П.В., Щербакова О.К.
Белорусский национальный технический университет

Многоосные тягово-транспортные машины для земляных работ – грейдеры содержат балансирную подвеску ведущих колес и их жесткий блокированный привод. Это обеспечивает хорошие тягово-сцепные качества, но приводят к увеличенному радиусу поворота и как следствие к непроизводительным потерям рабочего времени. Этого недостатка лишен легкий грейдер «Ирмаш» ГС-10-08 на базе тракторов МТЗ-82П (рис.1).



Трансмиссии универсально-пропашных тракторов обладают рядом преимуществ – восьмискоростной коробкой передач, реверс-редуктором для движения в противоположном направлении и, что особенно важно, дифференциальным приводом ведущих колес с автоматической блокировкой дифференциала.

Рис. 1. Грейдер на базе МТЗ-82П



Управление блокировкой дифференциала имеет три положения: I – блокировка дифференциала выключена; II – блокировка дифференциала включена постоянно с автоматическим ее отключением при повороте направляющих колес на угол более 8° от прямолинейного движения; III – блокировка дифференциала включена кратковременно независимо от положения направляющих колес. Для грейдера характерно прямолинейное движение с повернутыми передними колесами, поэтому

момент отключения блокировки дифференциала по углу управляемых колес следует увеличить до их крайних пределов, соответствующих повороту с минимальным радиусом. Дальнейшим развитием кинематической схемы является установка балансирного привода ведущих колес по традиционной схеме $1 \times 2 \times 3$ (рис.2).

Установка дополнительных бортовых колесных редукторов позволит также расширить функциональные свойства грейдеров за счет стабилизации угла остова в вертикальном положении путем их принудительного поворота вокруг оси балансира, что позволит выполнить грейдер на базе трактора МТЗ-82П.

**К повышению маневренности
мобильной технологической машины**

Шавель А.А.

Белорусский национальный технический университет

Вопросы, связанные с обеспечением маневренных качеств дорожных машин при сохранении хороших тягово-сцепных качеств тягачей, являются весьма актуальными. Обеспечение высоких маневренных качеств дорожной машины при сохранении тягово-сцепных качеств тягача может быть достигнуто путем выбора целесообразных значений механических параметров всех его звеньев: схемы привода ведущих колес, развесовки по осям, упругих свойств шин, линейных размеров дорожной машины и т.п.

Ранее в БПИ были проведены специальные расчетно-теоретические исследования по определению влияния межколесного, межосевого приводов и перераспределения нагрузок по осям трактора, обусловленное различным навесным рабочим оборудованием, на поворотливость агрегата [1,2].

По результатам проведенных исследований был разработан механизм поворота транспортного средства [3], который содержит бортовые планетарные передачи. Солнечные шестерни этих передач установлены на приводимом от главной передачи валу, а коронные шестерни связаны между собой промежуточным звеном, которое соединяется с остовом транспортного средства через фрикционную муфту. Гидроцилиндр фрикционной муфты через управляемый гидрораспределитель связан с источником давления гидроусилителя рулевого управления.

Предлагаемый механизм поворота сохраняет повышенные тяговые качества и поворотливость при промежуточных углах поворота управляемых колес за счет обеспечения вращения колес ведущего моста с одинаковой и различной угловой скоростью. Кроме того, механизм поворота улучшает маневренность транспортного средства за счет принудительного увеличения разности угловых скоростей колес ведущего моста на повороте, которые могут вращаться в одном или в разных направлениях.

Литература

1. Скойбеда, А.Т., Шавель, А.А. и др. К исследованию влияния межосевого привода колес на поворотливость трактора. – «Тракторы и сельхозмашины», 1983, № 5, с. 5,6,7.
2. Скойбеда, А.Т., Шавель, А.А. и др. К исследованию влияния схемы привода колес на поворотливость трактора и МТА – «Тракторы и сельхозмашины», 1983, № 6, с. 9,10,11.
3. Шавель, А.А., и др. Механизм поворота транспортного средства. Авт. свид. СССР № 992255. – Бюллетень № 4, 1983.

Грузозахватные органы подъемных машин

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. Эти Правила включают в главе 5 следующие грузозахватные органы: грузовые кованные и штампованные крюки (однорогие, двурогие); замки предохранительные, пластинчатые грузовые крюки однорогие и двурогие; канатные грейферы для навалочных грузов. В грузоподъемных кранах общего назначения наиболее широко используются грузовые кованные однорогие крюки, которые в криволинейной части изготавливаются с равновеликим по напряжениям поперечным сечением трапецидальной формы. В связи с этим кованные однорогие крюки имеют наименьшую массу, поэтому и преимущественное распространение.

Однако в Правилах отсутствуют грузозахватные органы в виде кованных глухих скоб или петель. По имеющимся данным из технической литературы изгибающий момент в петле из-за замкнутой конструкции находится в пределах

$$M_{изг.п.} = Q \cdot \ell/8 \dots Q \cdot \ell/6,$$

где Q – вертикальное усилие; ℓ – длина поперечины.

Изгибающий момент в боковине составляет величину

$$M_{изг.б.} = Q \cdot \ell/13.$$

Таким образом, при прочих равных условиях масса скобы оказывается меньше массы кованого однорогого крюка. Петли забыты из-за одного недостатка, – затруднено зачаливание грузов. В то же время при обследовании кранов с истекшим сроком службы обнаруживается, например для автокранов, в вертикальном сечении крюка износ по форме соединительного звена РТ1 канатного стропа. Следовательно, там, где не существенны проблемы по зачаливанию грузов, возможно использование с успехом либо взамен, либо вместе с однорогими коваными крюками глухих петель. Следует подчеркнуть, что эффективность использования глухих скоб увеличивается при увеличении грузоподъемности подъемных машин.

Передня Л.И.

Белорусский национальный технический университет

На предприятиях торговли и общественного питания находят применение подъемники, разработанные в свое время институтом Белгипроторг. Подъемники предназначены для вертикального транспортирования грузов.

Подъемник состоит из наклонной рамы, подъемной платформы с кабиной и лебедки. Двухбарабанная электрореверсивная лебедка с червячным редуктором и нормально закрытым тормозом осуществляет подъем и опускание платформы с кабиной, на которой размещается грузовая тележка или передвижной контейнер с грузами.

Подъемник монтируется в шахте с вертикальными стенками и изготавливается для работы на двух (2 ПН II) или трех (2 ПН III) уровнях.

Для обеспечения безопасности работ при эксплуатации подъемника в конструкции его предусмотрены следующие устройства безопасности: ограничитель грузоподъемности, выключатели контроля натяжения канатов, ловитель, ограничители положения кабины на уровнях ее остановки.

При эксплуатации подъемников имели место аварии. Расследование причин аварий позволило установить следующее:

- эксплуатация неисправных подъемников;
- недостатки эксплуатационной документации на подъемники;
- нарушение требований безопасности;
- необученность обслуживающего персонала.

К неисправностям подъемников в первую очередь относятся неисправности ловителей и системы контроля натяжения канатов. Последнее позволяет сматывать канаты с барабанов лебедки, включенной на опускание, при застрявшей по той или иной причине кабине, что, как показала практика, приводит к последующему срыву и падению ее. Ловители, в большинстве случаев, неработоспособны. И это объясняется не только недостатком их конструкции, но и отсутствием в инструкции по эксплуатации подъемника необходимой методики их безопасного испытания. Ловители, на практике, не испытываются.

Для повышения безопасной эксплуатации подъемники должны подвергаться не только периодическим освидетельствованиям с проверкой ловителя и подъемнике в целом, но и техническому диагностированию с целью определения возможности их дальнейшей эксплуатации. Должна быть разработана система технического обслуживания и ремонта подъемников. Персонал владельца подъемников, пользующийся подъемником, должен быть обучен с проверкой знаний правил безопасности.

Регистратор параметров, как инструмент для планирования технических обслуживаний и ремонтов грузоподъемных кранов

Передня Л.И.

Белорусский национальный технический университет

Регистратор параметров работы крана представляет собой электронный блок, содержащий микропроцессор с вычислительными возможностями и памятью.

Первые модели регистраторов параметров предназначались для определения группы режима работы крана. Для этого регистрировали массу поднятого груза в каждом рабочем цикле и число циклов.

На втором этапе разработки приборов добавлена функция регистрации состояния крана в течение некоторого времени, предшествующего аварии, т.е. функция «черного ящика».

Дальнейшие исследования и практика применения регистраторов параметров показали, что группа режима работы крана, определяемая регистратором, не дает владельцу крана возможности определения остаточного ресурса крана и избежать преждевременных дорогостоящих обследований. Было установлено, что группа режима работы является второстепенным параметром. Главным параметром была признана наработка крана. Было рекомендовано назначенный (нормативный) ресурс крана оценивать так называемым характеристическим числом, представляющим собой произведение коэффициента распределения нагрузок и числа циклов.

Современные регистраторы параметров работы кранов представляют собой устройства, информирующие владельца крана о выработанном краном ресурсе (объеме выполненной работы), о необходимости проведения регламентных работ по техническому обслуживанию крана, а также выдают сведения о нарушениях правил эксплуатации, приводящих к аварии, если она произошла.

По мнению автора, дальнейшей задачей разработчиков конструкторской документации на кран является планирование сроков проведения технических обслуживаний и ремонтов крана осуществлять не в моточасах, а в выработке характеристического числа и приводить эти рекомендации в инструкции по ремонту крана. Дальнейшее развитие регистраторов параметров целесообразно вести в направлении совокупной регистрации наработки крана в целом и отдельных его механизмов, в оценке качества технического обслуживания. Целесообразно ввести функции оповещения обслуживающего персонала о наступлении времени проведения соответствующих регламентных работ.

О некоторых направлениях модернизации трансмиссии тяговых машин

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Одной из тенденций развития конструкций строительных погрузчиков является широкое использование гидрообъемных трансмиссий, что обеспечивает возможность автоматизации рабочего процесса, свободу компоновки, облегчение управления и повышение маневренности.

При создании гаммы универсальных погрузчиков с бортовым поворотом существенным резервом рационализации габарита может быть применение насосного моноагрегата привода ходового оборудования и отказ от использования громоздкой раздаточной коробки привода насосов. При создании тяговых машин с гидравлическим объемным приводом приводом двух мостов рациональным может оказаться отказ от механической связи мостов тяговой машины.

Формирование структуры гидрообъемной трансмиссии погрузчика, тяговой машины на базе насосного моноагрегата привода ходового оборудования потребует деления потока рабочей жидкости по контурам гидромоторов привода колес бортов, работающих с различными нагрузочными режимами.

Задача деления потока рабочей жидкости насоса по напорным магистралям может решаться по двум направлениям: применения гидравлических агрегатов деления – суммирования потока рабочей жидкости насоса; применения двухпоточных насосов. Возможность маневрирования погрузчика осуществляется изменением параметров подачи рабочей жидкости по магистралям гидромоторов привода колес бортов, обеспечивается структурой агрегатов деления – суммирования потока рабочей жидкости.

Авторами разработан принцип деления потока рабочей жидкости насоса, состоящий в дискретной подаче фиксированных объемов рабочей жидкости последовательно по напорным магистралям потребителей. Математическое моделирование работы дискретного гидрораспределителя в составе многомоторного гидропривода показало широкие возможности эффективного использования дискретного гидрораспределителя. Предложены технические решения дискретного гидрораспределителя.

Одним из основных направлений технической реализации насосного моноагрегата является создание шестеренных и аксиально-поршневых насосов, оснащенных дискретным гидрораспределителем. Дискретный гидрораспределитель интегрируется в конструкцию насоса.

Математическое моделирование дискретного гидрораспределителя систем приводов оборудования строительных и дорожных машин

Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Применение делителей потока рабочей жидкости насоса в объемном многомоторном гидроприводе рабочих органов технологического оборудования строительных и дорожных машин позволит уменьшить удельный вес механических передач в кинематической цепи привода. Разработан принцип объемного деления и суммирования потоков рабочей жидкости, состоящий в дискретной подаче фиксированных объемов рабочей жидкости последовательно по напорным магистралям потребителей, предложены основные технические решения дискретных гидрораспределителей (ДГ) роторного типа, работающих в режимах деления и суммирования потоков рабочей жидкости.

Эффективность работы ДГ может быть оценена по величине общего КПД аппаратов, учитывающего объемные потери в ДГ и потери мощности при течении рабочей жидкости через ДГ ($\bar{\eta}_{за}$), и рассогласованию перемещения поршней исполнительных гидроцилиндров.

Проведенный анализ работы двухмоторного гидропривода, оснащенного ДГ, работающим в режиме деления и суммирования потоков рабочей жидкости, показал:

– ДГ обеспечивает независимость нагрузочного режима работы контуров потребителей в широком диапазоне изменения нагрузок;

– увеличение параметра дискретизации потока рабочей жидкости приводит к увеличению $\bar{\eta}_{за}$ и параметра рассогласования перемещения поршней исполнительных гидроцилиндров;

– максимальное значение $\bar{\eta}_{за}$ достигается при частотах вращения ротора $n_p = 30 - 50 \text{ с}^{-1}$;

– ДГ обеспечивает снижение параметра рассогласования перемещения поршней исполнительных гидроцилиндров в зоне широкого изменения нагрузок исполнительных гидроцилиндров за счет изменения геометрических параметров;

Основным направлением технической реализации ДГ является создание многопоточных шестеренных и аксиально-поршневых насосов, оснащенных ДГ. ДГ может быть установлен в непосредственной близости насоса и подключен к его ведущему валу либо интегрирован в конструкцию насоса.

Исследование комплекта машин для заготовки древесного топлива

Соколовский Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Важным моментом при заготовке топливной щепы из древесных отходов является взаимодействие рубильной машины с контейнерным топливозовозом, позволяющее успешно осуществить перегрузку щепы из бункера рубильной машин в съемный контейнер топливозова.

Исследование совместной работы двух данных машин (рубильная машина Беларус МР-25 и контейнерный топливозовоз МАЗ- 6501А3) позволило сделать следующие выводы:

1. Использование рубильной машины с бункером-перегрузчиком и контейнерного топливозова требует тщательного выбора площадки под контейнер и перегрузочные работы для обеспечения возможности беспрепятственного маневрирования техники, что позволит сократить затраты времени на погрузочно-разгрузочные работы, облегчить работу машинистов и увеличить производительность комплекта машин.

2. Площадка под установку контейнера должна быть ровной без значительных уклонов. чтобы исключить перекося контейнера при погрузке на контейнерный топливозовоз и облегчить перегрузку щепы из бункера рубильной машины. При больших уклонах в одну или другую сторону в плане может возникнуть опасность опрокидывания рубильной машины (при уклоне в сторону контейнера) или неполного высыпания щепы из бункера (при уклоне в другую сторону) в результате чего придется выполнять несколько повторов операции по перегрузке щепы, что увеличит время перегрузки.

3. Рубильная машина обладает значительной массой и габаритами, что затрудняет ее маневрирование при работе на пересеченной местности и требует наличия дороги.

4. При переработке отходов необходимо осуществлять их складирование в кучи в местах позволяющих осуществлять беспрепятственный доступ к ним манипулятора рубильной машины.

5. Рубильную машину с бункером для щепы следует использовать для подвозки щепы к контейнеру на расстояние до 500 м, транспортировка на большее расстояние является нецелесообразной, так как приводит к значительному снижению производительности рубильной машины.

6. Для увеличения проходимости контейнерного топливозова при работе в лесу в качестве базового следует использовать полноприводное шасси, что является необходимым условием для успешной работы при отсутствии хороших подъездных дорог и вывозке заполненного щепой контейнера.

Исследование рабочего процесса мобильной рубильной машины

Соколовский Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Исследование процесса работы мобильной рубильной машины с бункером-перегрузчиком является одним из основных этапов испытания комплекта машин по заготовке древесного топлива на объектах строительного комплекса.

При исследовании проводились наблюдения за работой рубильной машины Беларус МР-25 с приводом от трактора Беларус 1221 на объекте УП «Минскзеленстрой», велась фотохронометражные измерения времени рабочих циклов рубильной машины, рубильного агрегата, манипулятора, осуществлялось измерение объема полученной щепы. Временные параметры работы рубильной машины фиксировались секундомером, для определения объема произведенной щепы при помощи метражной ленты устанавливались значения объема контейнера и величины его наполнения.

Перерабатываемое сырье - древесные отходы (преимущественно ветви деревьев с диаметром до 100 мм), образовавшиеся в результате ухода за зелеными насаждениями.

Обработка результатов, полученных в ходе наблюдений, производилась при помощи общепринятых методов математической статистики.

Согласно результатам фотохронометражных измерений и статистической обработки выборки экспериментальных данных среднее значение рабочего цикла рубильной машины составило 66 с, при этом значение времени рабочего цикла выборки полученной в результате измерений было подвержено нормальному закону распределения. Среднее значение времени переработки древесного сырья рубильным агрегатом составило - 38 с, среднее значение времени ожидания подачи сырья - 28 с. При работе манипулятора среднее значение время подбора и захвата сырья - 19 с, подачи к рубильной машине - 22 с, простоя манипулятора - 25 с. Присутствовали простои рубильного агрегата из-за неравномерности подачи сырья, заедания и переездов рубильной машины. За время испытаний на устранение заеданий потрачено 15,1% от общего времени работы рубильной машины, на переезды - 6,2%, на подбор остатков и заброс их в рубильную машину - 4,5%. Итого на операции не связанные с переработкой сырья было затрачено 25,9 % от общего времени работы рубильной машины.

Средняя производительность рубильной машины составила около 10 м³/ч насыпных. С учетом затрат времени на перебазировку от места стоянки к объекту, на котором выполнялась работа сменная производительность составила 25,2 м³ плотных (что близко к расчетной).

Опыт ремонта стрелы экскаватора Hyundai Robex 210LC

Гарост М.М., Гарост А.М.

Белорусский национальный технический университет

При работе экскаваторов несмотря на проводимое периодическое техническое обслуживание, неизбежно появление различного рода повреждений. Как правило, повреждение металлоконструкций экскаваторов происходит из-за перегрузки, конструктивных недостатков сварных узлов, нарушений технологии экскавационных работ и по другим причинам. Дефекты стрел носят скрытый характер, поэтому не всегда их можно своевременно обнаружить. Для восстановления несущей способности металлоконструкций, как правило, приходится выполнять сложный ремонт с обязательной разработкой технологии ремонта и сварки. При эксплуатации гидравлического экскаватора Hyundai Robex 210LC были выявлены повторные трещины в стреле в местах ранее заваренных трещин. Анализ повреждений стрелы показал, что причиной появления трещин можно признать одновременное действие весовых и перекосных нагрузок. Повторные трещины возникли из-за плохого качества ремонта. Так, заварка трещины выполнялась без разделки кромок основного металла стрелы, а усиливающая накладка имела низкий запас прочности из-за плохого качества металла и небольших размеров (накладка должна превышать трещину по длине на пять, а по ширине не менее чем на три толщины ремонтируемого элемента). Химический анализ металла накладок показал, что он по свойствам близок к листовой стали Ст 0. Вместе с тем в современных экскаваторах элементы стрелы изготавливаются из стали марки 10ХСНД с высоким запасом прочности.

Технология ремонта трещин предусматривает разделку кромок под шов типа С17 ГОСТ 5264 и непосредственно заварку трещин. Сварка выполнялась электродом типа Э50А по ГОСТ 9466 по технологии и в режимах, обеспечивающих минимальные сварочные напряжения ($I_{св}=80-100$ А). Затем приваривали усиливающие накладки из стали марки 10ХСНД на верхний и вертикальные листы стрелы. Для обеспечения плотного прилегания накладок усиления к вертикальным листам стрелы кромка накладки обрабатывалась на скос, заводские швы в месте приварки накладок к верхнему листу стрелы зачищались. Направление механической обработки (риски от абразивного инструмента) – вдоль сварных швов и вдоль свариваемых кромок.

Приведенный способ ремонта позволил с минимальными материальными затратами восстановить несущую способность стрелы экскаватора.

Совершенствование системы технического обслуживания грузоподъемных кранов

Гарост М.М.

Белорусский национальный технический университет

Надежность грузоподъемных кранов (ГПК) зависит не только от качества их изготовления, но и от качественного ТО и ремонта. В настоящее время в Минском управлении Госпромнадзора зарегистрировано более 5,5 тысяч ГПК. У 81,2 % из них истек нормативный срок службы. Это обуславливает необходимость проведения качественного ремонта и поиска новых направлений организации их ТО. Главной составляющей процесса обеспечения безопасной эксплуатации и продления ресурса ГПК согласно ГОСТ 15.601 является планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта техники (СТОИРТ). Однако, как показывает практика, эта система не обеспечивают в полной мере необходимого результата. Особое внимание следует обратить на предприятия с небольшим количеством кранов (1-2), где практически не ведется их ТО. В соответствии с требованиями ГОСТ 15.601 эффективность СТОИР ГПК может быть повышена путем: совершенствования конструкции изделия как объекта ТО и ремонта и стратегии ТО и ремонта; отработки эксплуатационной и ремонтной документации; совершенствования технологических процессов ТО и ремонта; оптимизации состава исполнителей ТО и ремонта. Как показывает мировая практика ТО машин, с усложнением их конструкций пользователь машин не занимается их обслуживанием. Этим занимаются специализированные предприятия.

Техническая политика передовых промышленных предприятий направлена на разработку и внедрение систем качества. В республике необходимость разработки и внедрения системы управления качеством эксплуатации строительных машин обусловлена требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 25646. Наличие соответствующим образом аттестованной системы менеджмента качества (СМК) в соответствии с СТБ ИСО-9001 - гарант качества его продукции, работ и услуг.

Одним из перспективных путей повышения качества обслуживания и ремонта ГПК является внедрение в процесс эксплуатации средств и методов технической диагностики. В настоящее время с учетом развития информационных технологий целесообразно при диагностировании ГПК выполнять накопительные компьютерные распечатки диагностических параметров, по аналогии с автомобилями - разрабатывать типовые технологии диагностирования и комплексного обслуживания ГПК.

Анализ закономерностей движения конвейерной ленты

Миранович О. Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения с ОП

Разработке методов описания движения конвейерной ленты посвящен ряд исследований.

Изучены колебания тягово-несущего органа магистральных конвейеров. Применительно к пластинчатым, ленточным, ленточно-цепным конвейерам тягово-несущий орган рассмотрен как тяжелая, деформируемая упругая нить, не обладающая ощутимой поперечной жесткостью.

Подчеркивается, что в формировании динамических процессов определяющую роль играет основная форма колебаний, поэтому тягово-несущий орган рассмотрен как система с одной степенью свободы, совершающая колебания основной формы.

В результате исследований определена доля коэффициента сопротивления движению от деформаций ленты и груза.

Изучен анализ динамических процессов, связанных с боковым смещением ленты конвейера.

Исследуется распространение упругих волн и колебаний лент конвейеров, найдены аналитические выражения для скоростей напряжений и смещений произвольного сечения грузовой ветви, когда тяговое усилие аппроксимируется различными выражениями.

Следует отметить, что при исследовании динамических процессов в ленточных конвейерах в упрощенной постановке, когда лента рассматривается как струна или упругая гибкая нить с равномерно распределенной нагрузкой, движение ленты конвейера и ветвей передач с гибкой связью описываются аналогичными выражениями. Динамика передач с гибкой связью изучена Светлицким В.А.

Исследовано движение ленты в поперечном горизонтальном направлении с учетом случайного характера транспортируемого груза. Происходящие процессы описаны одномерным уравнением. Подчеркивается, что при случайном изменении параметров конвейера возможна параметрическая раскачка, сопровождающаяся возрастанием амплитуды колебаний ленты с грузом. Рассмотрено влияние внешнего случайного нагружения ленты конвейера на работу привода без изучения движения ленты.

Таким образом, значительные поперечные вертикальные колебания рабочих и холостой ветвей конвейера могут возникнуть вследствие эксцентриситетов роликов и барабанов. Это приведет к увеличению нагрузок на ролики, оценка которых требует дополнительного исследования.

**Влияние технического состояния лент, роlikоопор и барабанов
на эффективность работы конвейера**

Миранович О. Л.

Солигорский институт проблем ресурсосбережения с ОП

Эффективность работы ленточных конвейеров во многом определяется техническим состоянием лент и, прежде всего, состоянием стыковых соединений. Численность ленточных конвейеров на шахтах и солеотвалах РУП «ПО «Беларуськалий» превышает 800 единиц и ежегодно изготавливается более 300 соединений концов лент.

До 70 % простоев и трудоемкости обслуживания ленточных конвейеров вызваны восстановлением стыковых соединений. Более 50% аварий на ленточных конвейерах происходит из-за разрыва стыковых соединений. Опыт эксплуатации и испытаний различных типов соединений свидетельствует об их недостаточной агрегатной прочности, составляющей около 60 - 70 % от прочности цельной ленты, и малой долговечности.

Конструкции таких элементов ленточных конвейеров как роликоты опоры, роликоты, барабаны определяются также условиями работы конвейера и особенно зависят от физических свойств и гранулометрического состава транспортируемого груза. Так, при перемещении более тяжелых сыпучих грузов, состоящих из крупных кусков, применяются ленты со значительным количеством прокладок и большей толщиной рабочей обкладки, используются роликоты с большим наружным диаметром и диаметром оси и т.д. Однако при транспортировании крупнокусковых грузов имеет место их преждевременный выход из строя.

Для перемещения крупнокусковых грузов создаются специальные конструкции конвейеров, лент, роликотопор и роликотов, но в то же время на практике для тех же целей используются и обычные типы ленточных конвейеров. Например, на шахтах Старобинского месторождения самым распространенным средством транспортирования являются ленточные магистральные конвейеры с жесткой трехроликотой опорой для рабочей ветви и однороликотой или двухроликотой для холостой ветви, хотя результаты статистических исследований свидетельствуют о том, что в условиях подземной доставки большинство ленточных конвейеров транспортируют породу, размеры кусков которой превышают 200 - 300 мм и более. Следовательно, практический интерес представляет рассмотрение возможности транспортирования крупнокусковых грузов ленточными конвейерами с жесткими опорами при условии обеспечения достаточной долговечности роликотов.

**Создание комплекса землеройных машин
для обеспечения скоростного капитального ремонта
магистрального трубопроводного транспорта**

Кузьминец Н.П.

Национальный транспортный университет (г. Киев, Украина)

В нынешних условиях развития экономики многих стран одним из ключевых направлений есть сосредоточение усилий на совершенствовании или создании новых высокоэффективных и экономически выгодных технологий, машин и их комплексов с целью обеспечения надежной эксплуатации промышленного транспорта энергоносителей. Особенно остро сейчас стоит вопрос обеспечения высокоэффективного скоростного ведения земляных работ в условиях действующего трубопровода без его подъема и остановки перекачки продукта.

Создание комплекса высокоэффективных землеройных машин для реализации технологии скоростного и безопасного капитального ремонта действующих магистральных трубопроводов, без подъема трубы и остановки перекачки продукта позволит в короткие сроки с минимальными затратами выполнить необходимые объемы работ по реконструкции стратегически важной нефте-газотранспортной системы, как Украины так и других стран, требующих срочного ее капитального ремонта.

Последнее время нами разрабатывается новое научное направление по созданию комплекса землеройных машин для работы в условиях скоростного капитального ремонта действующего трубопровода с оптимизацией конструктивных и технологических параметров специальных рабочих органов машин на основе определения характеристик напряженно-деформированного состояния среды в зоне рабочего оборудования и магистрального трубопровода (аналитическая задача).

В работе изложено систему знаний, концепцию, в которой приведены научно-обоснованные причинно-следственные связи напряженно-деформированного состояния рабочей среды и действующего магистрального трубопровода, который, будучи под давлением, испытывает дополнительные нагрузки от машин при безостановочном способе капитального ремонта трубопроводов.

Это позволит существенно повысить темпы и безопасность выполнения работ для обеспечения надежного и долговременного срока эксплуатации магистрального транспорта энергоносителей.

Повышение эффективности использования строительно-дорожных машин

Бракоренко Д.Д.

Белорусский национальный технический университет

Улучшение использования машин, оборудования и средств малой механизации дорожно-строительной отрасли является одной из главных задач организаций, эксплуатирующих указанные средства, так как в этом заложены значительные резервы повышения производительности труда. Рабочее время машины за соответствующий период определяется режимом ее работы. Обычно разрабатываются сменные и годовые режимы работы машин.

Сменные режимы разрабатываются для анализа использования машин в течение смены. В результате выявляются производительные затраты и потери рабочего времени.

Кроме полезной работы производительные затраты времени включают регламентированные перерывы, связанные с техническим обслуживанием машин, с процессом работы, а также отдыхом рабочих.

Под потерями рабочего времени подразумеваются простои машин по организационным причинам, из-за нарушения трудовой дисциплины и по метеорологическим условиям.

Простои могут иметь место при выполнении технического обслуживания и ремонта, монтаже, демонтаже, перебазировании и во время работы, из-за перебоев в снабжении эксплуатационными материалами, отсутствия фронта работ и по другим организационным причинам).

Одним из главных условий, обеспечивающих сокращение потерь рабочего времени и повышение производительности машин, является высокий уровень технической готовности парка машин, который обеспечивается соблюдением планов постановки машин на техническое обслуживание, выполнением полного объема установленных работ и контролем за их качеством. В организациях, где техническое обслуживание машин находится на должном уровне, значительно сокращаются простои и затраты на их ремонт, увеличиваются межремонтные циклы и общий срок службы машин.

Улучшению использования машин способствует так же введение диспетчеризация. Решение целого комплекса вопросов повышения эффективности использования машин во многом определяется организационными формами управления парками машин.

**Экономика и
организация
машиностроительного
производства**

Типизация мероприятий технического перевооружения промышленных предприятий

Бабук И.М., Глебка С.М.

Белорусский национальный технический университет

Техническое перевооружение – комплекс мероприятий по повышению эффективности производственной деятельности отдельных производств, цехов и участков на основе внедрения передовой техники и наукоемкой технологии, замены устаревшего и физически изношенного оборудования новым, более производительным, а также по совершенствованию общезаводского хозяйства и вспомогательных служб.

Целью технического перевооружения предприятия в общем случае является интенсификация производства, улучшение качества продукции, экономия материальных и топливно-энергетических ресурсов, улучшение других технико-экономических показателей работающего предприятия без остановки производства.

Разработка Программы технического перевооружения предприятия – результат работы специалистов, представляющих различные структурные подразделения предприятия, содержащий разнообразные предложения по реформированию многогранной деятельности предприятия.

Предлагается все множество мероприятий по техническому перевооружению предприятий классифицировать по следующим признакам:

1. Признак – цель проведения мероприятия: увеличение объема производства традиционной продукции; освоение производства продукции конкретного наименования; увеличение производства экспортной продукции; импортозамещение; снижение расхода ресурсов (в т.ч. материальных, трудовых, энергоносителей); решение проблем, обусловленных нормативными документами и стандартами.

2. Признак – вид результата: экономический; социальный; экологический.

3. Признак – новизна технологии: нормальная; наукоемкая; новая; высокая.

4. Признак – вид затрат: капитальные и текущие; только текущие.

5. По группам оборудования: рабочие машины и оборудование; измерительные приборы; вычислительная техника; транспорт; инструмент.

В условиях ограниченных ресурсов, очередность реализации мероприятий предлагается формировать на основе приоритетов, выбор и обоснование которых будет рассмотрен в дальнейшем.

**Основные предпосылки обновления оборудования
на предприятиях машиностроения**

Королько А.А., Аниканов Е.С.

Белорусский национальный технический университет

Основная цель обновления оборудования – повышение эффективности производства и качества работы посредством приобретения нового и модернизации действующего оборудования предприятий.

Оценкой совершенства нового оборудования является степень его приближения по технико-экономическим показателям к эталону. Но то, какое оборудование следует считать оптимальным, возможны три точки зрения, три подхода: технический, экономический и социальный. Согласно техническому подходу оптимальным является оборудование максимально возможной производительности и мощности, непрерывного действия и надежности, а также полное использование его технологических возможностей. С экономической точки зрения то будет оборудование с небольшими габаритами и весом, доступной ценой и минимальными затратами на единицу производимой продукции. Социальный подход предполагает оптимальным то оборудование, которое требует минимальных затрат на его техническое обслуживание и ремонт и не причиняет вреда окружающей среде и населению.

До полной комплексной автоматизации машиностроительного производства рассмотренные подходы являются обычно несовместимыми, поэтому оптимальным оборудованием является то, которое представляет собой разумный компромисс между техническим, экономическим и социальными подходами.

Поскольку найти оптимальные показатели совершенства оборудования практически не представляется возможным, часто используют технические характеристики уже созданных лучших отечественных или зарубежных образцов оборудования аналогичного назначения. Важную роль здесь призван сыграть подробный экономический анализ, который помогает выявить рациональные пути обновления оборудования. Следует отметить, что машины, как сложные технические системы, являясь объектами разработки, а затем производства и превращаясь в итоге в орудия труда, на всех стадиях жизненного цикла функционируют в системе производственных отношений и испытывают их непосредственное влияние. Машины, являясь элементом производительных сил, находятся в диалектическом единстве с системой производственных отношений, которые влияют на процесс обновления оборудования.

**Особенности планирования обновления оборудования
на предприятиях машиностроения**

Королько А.А., Предко О.С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время обновление оборудования на предприятиях превращается в одно из важнейших средств повышения эффективности производства, что требует усиления внимания к управлению этим процессом и его планированию. В этой связи возрастает роль оптимальных методов перспективного и стратегического планирования, направленное на совершенствование технико-экономического уровня как самого предприятия, так и отдельных его структурных подразделений.

Мероприятия по обновлению оборудования нельзя проводить без четкого уяснения задач, стоящих перед предприятием по выпуску продукции на перспективу, улучшению качества, повышению эффективности технической подготовки производства, а также всестороннего экономического обоснования плановых решений.

Вместе с тем типовой формой планирования обновления оборудования не предусматривается системный подход к проведению данного процесса. Данные в эту форму включаются без проведения технико-экономической оценки состояния парка оборудования. Как правило, в планах обновления оборудования предприятий планируется только один из вариантов обновления – модернизация.

Первым этапом управления планированием обновления оборудования является подготовительный, на котором осуществляется выбор объектов планирования. На втором этапе проводится оценка физического и морального износа оборудования, устанавливается совокупность потерь, вызванных эксплуатацией изношенного оборудования. На завершающем этапе анализируются итоги проведенной работы и разрабатывается подробный бизнес-план с экономическим обоснованием предложенных мероприятий и определяется срок возврата инвестиций. В практике планирования создания новых технологических систем в машиностроении используется классификация изделий по новизне и конструктивной сложности. Кроме того, их классифицируют по сложности элементов конструкции и сборочных единиц. Однако такая классификация основана на качественном описании изделий и является весьма укрупненной. Техника одного назначения нередко попадает в одну группу сложности. При исследовании количества деталей в качестве фактора-аргумента принимается также удельная материалоемкость новой техники и др.

Совершенствование системы управления научными исследованиями в вузах

Демидов В. И., 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 обуславливается 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.

Кластеризация – механизм повышения конкурентоспособности предприятия

Комина Н.В.

Белорусский национальный технический университет

Понятие кластера в западной литературе было введено профессором Гарвардской бизнес-школы Майклом Портером : «Кластер – это сконцентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в соответствующих отраслях, а также связанных с их деятельностью организаций (например, университетов, агентств по стандартизации, а также торговых объединений) в определенных областях, конкурирующих, но вместе с тем ведущих совместную работу» .

Кластерный подход во всем мире признается как политика повышения конкурентоспособности региональных / национальных экономик. Деятельность по реализации кластерного подхода определена как *кластеризация* и представляет собой комплекс организационно-экономических мероприятий, проводимых государственными и общественными поддерживающими институтами с целью ассоциации предприятий в кластеры и установления между ними неформальных взаимоотношений и сетевого сотрудничества.

Кластерная концепция повышения конкурентоспособности экономических систем основана на формировании новых взаимоотношений между субъектами хозяйствования (сетевое сотрудничество), а также между органами управления и бизнесом (государственно-частное партнерство). В результате реализуются конкурентные преимущества кластеров в активизации инноваций, развитии человеческого капитала, совершенствовании маркетинга.

Зарубежный опыт последнего десятилетия дает много примеров образования и функционирования кластеров в самых разных сегментах экономики. Их объединяет главное - в силу синергетических эффектов (прибыль после слияния двух компаний превосходит сумму прибылей этих компаний до объединения) возрастает производительность как в самом кластере, так и в смежных секторах экономики. Таким образом, регионы с эффективно функционирующими кластерами имеют более высокие показатели в динамике развития, а кластеризация является одним из наиболее перспективных направлений их экономического развития.

Кластерную концепцию инновационного развития и повышения конкурентоспособности экономик применяют страны ОЭСР, Европейского союза, США, Китай, Индия и многие другие страны.

Метод структурирования функции качества как инструмент управления конкурентоспособностью

Горская И.В.

Белорусский национальный технический университет

Необходимость завоевания новых рынков сбыта продукции в сочетании с усилением конкуренции на наиболее привлекательных рынках требуют от белорусских хозяйствующих субъектов применения новых подходов, ориентированных, в первую очередь, на учет и максимальное удовлетворение запросов потребителей. Взаимная выгода, как индикатор гармоничной рыночной сделки между покупателем и продавцом, предполагает необходимость преодоления «экономического эгоизма», по-прежнему присущего ряду наших производителей.

На рынках сложно-технической продукции потребителя интересует не только цена реализации товара, предлагаемая продавцом, но цена эксплуатации, которая определяет его оценку ценности приобретения товара. В конечном счете, конкурентоспособность подобной продукции, определяемая соотношением цены и качества, будет зависеть от того, насколько производитель товара способен понять, какие характеристики товара определяют его эксплуатационную ценность, и в максимальной степени обеспечить ее для потребителя.

Эффективным инструментом для решения этой задачи является метод структурирования функции качества (Quality Function Deployment — QFD). Реализуется метод QFD путем построения «домика качества», в котором отображаются связи между фактическими показателями качества (потребительскими свойствами) и вспомогательными показателями (техническими требованиями). В результате производитель получает информацию, позволяющую начинать с этапа НИОКР и заканчивая выходным контролем качества готовой продукции предпринимать все необходимые действия для того, чтобы ценность его продукции в глазах покупателя в расчете на единицу затрат была выше, чем у конкурентов. Параллельно решается также задача формирования у производителя большей добавленной стоимости. Это происходит как за счет прироста прибыли, так и наращивания нематериальных активов в части объектов промышленной и интеллектуальной собственности, повышения качества трудового, научно-технологического и финансового потенциала.

Апробация метода QFD с построением «домиков качества» проведена на примере таких товаров, как микроволновые печи и LCD-телевизоры, производимых ОАО «Горизонт».

Стратегическое управление на предприятии

Плясунков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Управление компанией и планирование деятельности только на основании финансовых показателей является недостаточно эффективным. Во-первых, финансовые индикаторы отражают деятельность компании в прошлом, т. е. они являются «медлительными» индикаторами, которые не в состоянии проиллюстрировать реальную работу менеджеров в современном отчетном периоде и обеспечить адекватное руководство к действию. Во-вторых, излишний акцент при достижении и поддержании краткосрочных финансовых результатов приводит к излишнему инвестированию в решение краткосрочных проблем и недостаточному вниманию к долгосрочному созданию ценностей, которые способствуют росту в будущем (другими словами, существует разрыв между стратегической и оперативной деятельностью). В-третьих, развитие негативных тенденций в бизнесе может отразиться на значении финансовых показателей не сразу, а на той стадии, когда уже невозможно поправить ситуацию незначительными изменениями и необходимо решать глобальную проблему выживания компании. Например, компания может максимизировать краткосрочные финансовые результаты, увеличивая цену на продукцию и снижая затраты на обслуживание клиентов. В краткосрочном периоде эти действия увеличивают отчетную доходность, но недостаточная удовлетворенность и лояльность клиента делают компанию сильно уязвимой к давлению конкурентов.

В условиях жесткой рыночной конкуренции огромное значение имеет долгосрочное развитие, основными факторами которого являются грамотное стратегическое управление, эффективность бизнес-процессов, знания и квалификация сотрудников, способность организации удерживать и привлекать новых клиентов, корпоративная культура, поощряющая инновации и организационные улучшения, инвестиции в информационные технологии. Таким образом, модель финансового учета и планирования должна быть расширена за счет нематериальных и интеллектуальных активов компании. Сбалансированная система индикаторов деятельности - BSC (Balanced Scorecard) - позволяет решить все вышеперечисленные задачи стратегического и тактического управления компанией. Основное назначение системы заключается в усилении стратегии бизнеса, ее формализации, проведении и донесении до каждого сотрудника компании, обеспечении мониторинга и обратной связи.

Подход к определению и оценке 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 одной из формул: $KСП_{2,1} = P_{2СК} / P_{1СК}$ или $KСП_{2,1} = P_{2А} / P_{1А}$,

где $KСП_{2,1}$ - конкурентоспособность оцениваемого предприятия по отношению к предприятию-конкуренту; $P_{2СК}$, $P_{1СК}$ – рентабельность собственного капитала соответственно оцениваемого предприятия и предприятия-конкурента; $P_{2А}$, $P_{1А}$ – рентабельность активов соответственно оцениваемого предприятия и предприятия-конкурента.

Рентабельность собственного капитала и рентабельность активов предлагается определять по следующим формулам:

$$P_{СК} = \Pi_{ч} / СК, \text{ а } P_{А} = \Pi_{ч} / А,$$

где $\Pi_{ч}$ – чистая прибыль предприятия, СК – собственный капитал предприятия, А – 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 собственного капитала и рентабельность активов определяют насколько эффективно используются ресурсы предприятия, а именно ресурсы собственников предприятия или ресурсы всего предприятия. В любом случае то предприятие, которое более эффективно использует свои ресурсы и является более конкурентоспособным. При этом под ресурсами предприятия понимаются все ресурсы предприятия: материальные, трудовые, финансовые, интеллектуальные и другие.

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.

**Роль инновационной активности
в повышении конкурентоспособности предприятия**

Костюкевич Е.Н.

Белорусский национальный технический университет

Инновациями является материализованный результат, полученный от инвестирования в новую технику или технологию, в произведенный на их основе товар, а также, в новые формы организации, труда, и их управление. В условиях рынка активная инновационная деятельность представляет собой наиболее эффективное конкурентное преимущество, так как ведет к созданию новых потребностей, снижению себестоимости продукции, притоку инвестиций, повышению имиджа (рейтинга) производителя новых или улучшенных продуктов, и выходу на новые рынки, в том числе внешние. Инновационная активность, в свою очередь, определяется как возможностями хозяйствующего субъекта, так и поддержкой производителей инновационной продукции со стороны государства.

Повышение конкурентоспособности не может быть достигнуто без высокого уровня организации процесса активизации инновационной деятельности промышленных предприятий. Это требует формирования и мониторинга эффективности использования таких составляющих, как: 1) ресурсная – материально-технические, информационные, финансовые, человеческие и др. виды ресурсов; 2) результативная – целевая характеристика конечного результата реализации имеющихся возможностей (например, в виде рентабельности реализованной продукции); 3) организационная – обеспечивает возможность целенаправленного осуществления инновационной деятельности, способность на принципах коммерческой результативности привлекать ресурсы для инициирования, создания и распространения различного рода новшеств.

В качестве организационной составляющей, например, предприятие может пойти по пути создания в своем составе специализированных инновационных подразделений (по аналогии с отделами R&D — Research & Development). Новое подразделение, в зависимости от отраслевой принадлежности предприятия, можно создать посредством реорганизации службы главного технолога или конструкторского отдела. Такой подход позволяет, во-первых, приблизить научно-исследовательский поиск к возможностям исходного производства и нуждам конечного потребителя, во-вторых, привлечь высококвалифицированные научные кадры, и в целом повысить конкурентоспособность предприятия.

Понятие надёжности логистической системы

Бутор Л.В., Похабов В.И.

Белорусский национальный технический университет

В сложившихся рыночных условиях главным направлением развития и совершенствования обслуживания, распределения и потребления продукции на транспортных предприятиях является логистика.

При рассмотрении логистической системы уровень надёжности связывают с резервами в виде запасов ресурсов (помимо точности, своевременности, безотказности, минимизации затрат). Для оценки надёжности логистической системы применяются такие показатели, как вероятность безотказной работы или наработка на отказ (среднее время безотказной работы). Для решения проблем надёжности логистической системы могут применяться инструменты теории надёжности.

Надёжность логистической системы зависит от числа соединений в ней, поэтому данный показатель можно увеличить за счет сокращения последовательно соединенных в ней элементов и за счет повышения надёжности каждого из них в отдельности. В подобных случаях применяются такие формы резервирования, как введение резерва различных элементов, обеспечение запасными частями. особенно популярным средством обеспечения надёжности логистической системы является использование модельных конструкций, позволяющих восстанавливать работу системы путем замены отдельных вышедших из строя модулей. ключевые показатели надёжности необходимо рассматривать в комплексе. Поэтому комплексным показателем надёжности можно считать основной логистический принцип - постоянное обеспечение потребителей нужными им товарами в необходимом количестве с необходимым качеством в нужном месте в нужное время с наименьшими затратами.

Для общей оценки необходим интегрированный показатель надёжности, как участка системы, так и всей системы в целом. Такой показатель можно рассчитать как среднее всех показателей для участка системы и как среднее показателей участков системы для всей системы в целом. Такой показатель должен быть максимально приближен к 1, в этом случае можно считать, что участок системы или вся система функционирует максимально надёжно. Основное назначение ключевых показателей надёжности состоит в снижении рисков возникновения неблагоприятных для предприятия событий. После оценки ключевых показателей надёжности могут быть приняты кардинальные решения по снижению уровня указанного риска.

**Внешнеэкономическая деятельность предприятий
машиностроительной отрасли**

Сахнович Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Различные формы организации внешнеэкономической деятельности (см. табл. 1) открывают для предприятий целый ряд дополнительных конкурентных преимуществ, вызванных международной производственной, научно-технической кооперацией, увеличением степени свободы в выборе наиболее эффективных путей решения производственных задач.

Таблица 1 – Формы организации внешнеэкономической деятельности предприятий машиностроительной отрасли

Форма организации ВЭД	Предмет ВЭД
Внешняя торговля	Товары – услуги – интеллектуальная собственность – информация
Научно-производственное сотрудничество	Совместное проведение НИОКР Патентно-лицензионная деятельность Освоение современных информационных технологий Совместные предприятия, подрядная кооперация и др.
Инвестиционное сотрудничество	Инвестиции в ценные бумаги, недвижимость, предпринимательство, лизинг Приобретение прав собственности и др.
Валютные финансово-кредитные операции	Иностранные кредиты, кредитные векселя Депозитные сертификаты Еврокредитные и еврооблигационные заимствования Ноты правительственных агентств и др.
Специализация и кооперирование	Лицензионное производство Подрядное производство (производство по контракту) Управление по контракту и др.
Перемещение трудовых ресурсов	Иностранные рабочие, Иностранные специалисты и др.
Военно-техническое сотрудничество	Совместная разработка продукции военного назначения Производство продукции военного назначения Системы связи и управления Средства защиты от оружия массового поражения Обучение военных и др.

Оценка экономической эффективности внедрения корпоративных информационных систем

Гребенников И.Р.

Белорусский национальный технический университет

Для того, чтобы предприятие могло быть успешным в современных условиях его сотрудникам необходимо обладать актуальной и достоверной информацией как обо всех аспектах его деятельности, так и о деятельности покупателей, подрядчиков и конкурентов. Т.е. предприятие сталкивается с необходимостью хранения и обработки больших объемов информации. Инструментом, позволяющим решать поставленные задачи, являются корпоративные информационные системы (КИС). Поэтому деятельность, связанная с внедрением и использованием КИС, в значительной степени влияет на процесс достижения предприятием высокого уровня конкурентоспособности. Это обуславливает необходимость обоснованного подхода к процессу оценки эффективности внедрения КИС.

КИС может быть либо разработана самим предприятием (или иной организацией по его заказу) специально для него в единственном экземпляре, либо может быть приобретена имеющаяся на рынке система и доработана под нужды предприятия.

Предлагается при оценке эффективности внедрения КИС использовать методику оценки инвестиционных проектов, учитывающую приведенную стоимость денежных потоков.

При этом в состав инвестиционных вложений включаются затраты предприятия связанные с приобретением или разработкой информационной системы, а также затраты, связанные с ее внедрением.

Для определения доходов от осуществления инвестиционной деятельности необходимо составить прогноз развития организации при внедрении КИС, а также без ее использования и сопоставить их.

Следует заметить, что процессе внедрения КИС предприятие не может моментально получить экономическую выгоду, выражающуюся в существенном росте прибыли. Более того, можно утверждать, что основные эффекты от внедрения КИС не имеют очевидного стоимостного выражения и чаще всего возникают не сразу после внедрения. Однако часто именно эти эффекты и делают внедрение КИС обоснованным.

Следовательно, при оценке эффективности внедрения КИС организация четко должна представлять себе, каких конкретных результатов она желает достичь и в чем для нее выражается эффективность внедряемой системы.

Применение технологий доставки новостного контента

Лавренова О.А., Курилович Д.И.

Белорусский национальный технический университет

Развитие интернет-технологий предоставляет современному специалисту практически безграничные возможности оперативного получения и анализа информации для принятия эффективных маркетинговых, управленческих и производственных решений. Специфика сети Интернет позволяет организовывать регулярное и актуальное информационное вещание на широкую аудиторию без специального развёртывания особой технической инфраструктуры.

Многие поисковые порталы имеют новостные разделы, однако использование традиционных поисковых инструментов Интернет для поиска новостной информации в настоящее время недостаточно эффективно, в связи с тем, что ежедневно растёт не только число новостных сообщений, но и число их источников.

Одним из вариантов решения этой проблемы в настоящее время являются информационные службы нового типа - системы синдикации новостей. Такие службы обеспечивают как публикацию информационных блоков на различных ресурсах, так и доставку информации по запросам пользователей. Технология синдикации интернет-новостей включает такие процессы как: оценка структуры информационных источников, сканирование и преобразование информации к выбранному формату (XML, RSS), классификация и доставка информации пользователям различными каналами (WWW, e-mail, Wap, SMS и др.).

Наиболее популярными технологиями доставки новостного контента, являются: RSS-каналы или новостные ленты, подкастинг, e-mail рассылка. Важное преимущество RSS-ленты - это возможность получения информации без непосредственного доступа к сайту, что обеспечивает существенную экономию трафика и времени. Подкастинг позволяет пользователю автоматически получать аудио-новости, как только они становятся доступными на веб-ресурсе, на который оформлена подписка. E-mail рассылка применяется в качестве маркетингового инструмента при решении специализированных задач, например, для ознакомления клиентов с новыми коммерческими предложениями.

Следует отметить, что системы синдикации интернет-новостей помогают существенно ускорить процесс поиска информации, однако для обобщения и аналитической обработки новостного контента требуется применение содержательных методов контент-мониторинга и Text Mining.

Особенности оценки сайтов предприятий-экспортеров

Лавренова О.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных экономических условиях сайт для большинства предприятий, и, в первую очередь, экспортно-ориентированных, становится недорогим и достаточно эффективным инструментом ведения бизнеса. С помощью сайта могут успешно решаться маркетинговые задачи, проводиться рекламные кампании, поддерживаться коммуникации с отечественными и зарубежными партнерами и клиентами. Тем более важным является ответ на вопрос, в какой степени сайт решает поставленные перед ним задачи. От ответа на этот вопрос зачастую зависит решение о его дальнейшем финансировании и развитии.

Изучение существующих подходов к оценке сайтов позволяет выявить различные критерии: юзабилити, технологические решения, информационное наполнение, экономическая эффективность.

С точки зрения юзабилити, в первую очередь, необходимо оценить простоту и практичность использования сайта, наличие, удобство и полноту инструментов навигации (панель ссылок, глубина меню, карта сайта). Как правило, удачные дизайнерские решения повышают юзабилити сайта. Следует отметить, что такая оценка может быть выполнена опытным путем в результате неоднократного тестирования сайта.

К технологическим критериям оценки традиционно относят качество верстки веб-страниц, эффективность программных решений, стабильность и работоспособность сайта, анализ оптимизации под поисковые системы.

С точки зрения информационного наполнения сайта необходимо оценить текстовый и графический контент на его способность привлекать клиентов и его качество для поисковых систем. Для повышения оценки информационной составляющей для предприятия-экспортера важно наличие на сайте элементов обратной связи (формы сообщения, корзины или формы заказа, списки контактов на иностранных языках и др.)

Оценка экономической эффективности сайта, как правило, начинается с определения затрат на создание, продвижение и поддержку сайта в течение его жизненного цикла, с целью сопоставления с результатами. Изыскать резервы повышения эффективности работы сайта поможет оценка аудитории сайта (посещаемость, источники трафика, социодемографический портрет пользователей).

Повышению объективности оценки сайта способствует исследование сайтов конкурентов на предмет сравнения качества сайта, посещаемости и выявления дополнительных инструментов привлечения клиентов.

На основе информации New York University проведен анализ динамики основных показателей европейских автомобильных компаний (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели работы европейских автомобильных компаний

Название компании	Год	Показатели					
		Firm Value (FV) (стоимость компании), млн. USD	Revenues (R), (выручка), млн. USD	EBITDA (доход), млн. USD	ROE (рентабельность собственного капитала)%	NPM (рентабельность продаж), %	PE (мультипликатор «цена/прибыль»)
AUDI AG	2006	23 820	26 591	3 382	13,50%	3,10%	28,68
	2009	30 611	47 783	5 044	16,80%	6,20%	11,24
	2010	36 561	42 766	3 625	13,17%	4,89%	18,53
DAIMLER AG	2006	128 905	149 776	15 453	7,81%	1,90%	16,86
	2009	142 369	133 966	11 038	-12,00%	-4,79%	
	2010	145 473	113 112	4 692	9,46%	3,34%	16,99
PSA PEUGEOT CITROEN	2006	39 393	56 267	4 946	7,42%	1,83%	12,45
	2009	50 701	75 953	4 073	-12,41%	-4,26%	
	2010	49 081	69 390	3 422	3,39%	0,90%	14,63
VOLKSWAGEN AG	2006	92 218	95 268	11 859	4,75%	1,18%	26,98
	2009	155 647	159 028	11 569	4,91%	1,60%	17,71
	2010	147 495	150 752	7 014	10,57%	3,33%	12,59

Основные выводы:

1) Экономический кризис существенно не повлиял на экономическое положение европейских автомобильных компаний (если судить по динамике выручки и дохода).

2) Но прибыль в 2009 году у большинства компаний была отрицательна. Исключение составляют лишь компании Audi и Volkswagen.

3) В большей мере от кризиса пострадала компания Daimler. в 2009 году все показатели, кроме стоимости компании, ухудшились.

4) В 2010 году компании и по объемным показателям и по показателям эффективности вышли на докризисный уровень.

Разработка коммуникационной политики промышленного предприятия

Попова Н.Д.

Белорусский национальный технический университет

Коммуникационная политика является неотъемлемым компонентом управленческой деятельности, формирующим и обеспечивающим рыночную конкурентоспособность предприятия. Эффективная деятельность на рынке невозможна без придания должного соответствия всем элементам коммуникационной деятельности в рамках общей программы маркетинговых коммуникаций. Коммуникационная политика предприятия – это совокупность способов продвижения товара на рынок, которые определяются исходя из хозяйственных целей, и зависят от общей политики предприятия. Цели коммуникации должны быть четко определены, как по содержанию, так и во времени и пространстве. Необходимо выделить целевую аудиторию, а также средства, с помощью которых промышленное предприятие планирует достичь намеченных целей. Для того чтобы добиться скоординированных шагов в области коммуникационной маркетинговой деятельности, необходимо придерживаться следующей последовательности:

1. выработать концепцию использования в различных пропорциях методов коммуникаций и продвижения товаров, ориентированных на определенные целевые аудитории.
2. создать и развивать статистическую базу данных о продвижении, содержащую информацию о затратах на продвижение по разным направлениям с выделением степени влияния всех факторов, а также о результатах применения этих методов коммуникаций.
3. после завершения коммуникационной программы оценивать ее эффективность.

Коммуникационная политика должна быть организована с учетом коммуникационных принципов: принцип последовательности, принцип взвешенного подхода, принцип экономичности, принцип прогрессивности. Для повышения эффективности коммуникаций, необходимо применять интегрированный подход к их планированию и осуществлению. Основой данного подхода является обеспечение согласованности действий всех средств коммуникаций в рамках единой стратегии для достижения поставленных целей. Все инструменты коммуникаций должны реализовываться с единой точки зрения и потребитель должен получать все сообщения, выдержанные в рамках одной концепции.

Содержание

Технические и прикладные науки

Электроэнергетика	3
Теплоэнергетика	66
Энергетическое строительство	109
Энергоэффективные технологии	135
Информационные технологии и автоматизация	156
Информационные системы и технологии	229
Разработка месторождений полезных ископаемых	250
Литейное производство чёрных и цветных металлов	262
Порошковая металлургия, сварка и технология материалов	273
Обработка материалов давлением	298
Материаловедение в машиностроении	315
Теория механизмов и машин	353
Горные машины	362
Строительные и дорожные машины	400
Экономика и организация машиностроительного производства	421

Научное издание

НАУКА –
ОБРАЗОВАНИЮ,
ПРОИЗВОДСТВУ,
ЭКОНОМИКЕ

Материалы Девятой международной научно-технической
конференции
В 4 томах

Том 1

Ответственный за выпуск Л.Э. Ляшенко

Подписано в печать 19.10.2011.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 25,52. Уч.-изд. л. 19,95. Тираж 150. Заказ 1125.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.